

Десятая ежегодная конференция

Физика плазмы в Солнечной системе

16-20 февраля 2015, ИКИ РАН

Научные программы Президиума РАН №22 и ОФН РАН №15

**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

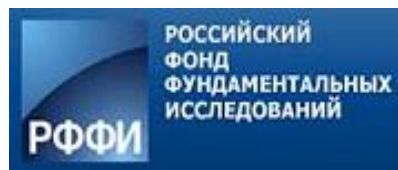
Десятая ежегодная конференция

«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»

16–20 февраля 2015г., ИКИ РАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

При поддержке:



г. Москва, 2015г.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ*

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Теория и наблюдения Солнца», устные доклады.....	3
Секция «Теория и наблюдения Солнца», стендовые доклады.....	21
Секция «Солнечный ветер и гелиосфера», устные доклады.....	45
Секция «Солнечный ветер и гелиосфера», стендовые доклады..	57
Секция «Ионосфера», устные доклады.....	70
Секция «Ионосфера», стендовые доклады.....	85
Секция «Магнитосфера», устные доклады.....	107
Секция «Магнитосфера», стендовые доклады.....	118
Секция «Теория космической плазмы», устные доклады.....	138
Секция «Теория космической плазмы», стендовые доклады.....	148
Секция «Теория и наблюдение токовых слоев», устные доклады.....	155
Секция «Теория и наблюдение токовых слоев», стендовые доклады.....	160
Секция «Турбулентность и хаос», устные доклады.....	162
Секция «Турбулентность и хаос», стендовые доклады.....	165
Секция «Низкочастотные волновые процессы в космической плазме», устные доклады.....	166
Секция «Низкочастотные волновые процессы в космической плазме», стендовые доклады.....	178

*Тексты приводятся в редакции авторов.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА»

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

НЕЗАТУХАЮЩИЕ ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ – ПОВСЕМЕСТНОЕ ЯВЛЕНИЕ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

С.А. Анфиногентов, В.М. Накаряков, G. Nisticò

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

В докладе рассматривается незатухающий режим поперечных колебаний корональных петель, недавно обнаруженный в наблюдательных данных SDO/AIA. Ранее наблюдались в основном затухающие колебания корональных петель, вызванные внешним импульсным воздействием (ударная волна, КВМ итд). Такие колебания быстро затухают в течение 2-3 периодов. Незатухающий же режим колебаний отличаются сравнительно малой амплитудой пространственных смещений (~ 0.2 Мм) и отсутствием заметного затухания. Установлено, что период этих колебаний зависит от длины колеблющихся петель и лежит в пределах от 2 до 10 минут, а пространственное распределение фазы соответствует стоячей волне. В докладе представлены результаты исследования распространённости незатухающего режима изгибных колебаний корональных петель. Для этого была проанализирована 21 активная область (NOAA 11637-11656). Для каждой области взято по 6 часов непрерывных наблюдений на длине волны 171 Å. В каждой серии наблюдений было проверено наличие характерных паттернов поперечных колебаний на пространственно-временных диаграммах. Для каждого обнаруженного случая были измерены период и амплитуда колебаний, проведена оценка длин колеблющихся петель. В результате удалось обнаружить около 70 колеблющихся петель в 19 активных областях из 21 рассмотренной. Такой результат позволяет сделать вывод, что незатухающий режим колебаний корональных петель постоянно реализуются почти в любой активной области. Поэтому эти колебания являются многообещающим инструментом для сейсмологии солнечной короны и могут быть использованы для непрерывной диагностики большинства активных областей.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА 24

Е.Е. Беневоленская^{1,2}, Ю.Д. Понявин¹

¹ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

²Санкт-Петербургский ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.

В данной работе представлены результаты детального исследования солнечного цикла 24 (по цюрихской нумерации) по данным Solar Dynamics Observatory (SDO) за период с мая 2010 по декабрь 2014 года. Для нашего исследования были использованы магнитные данные “Helioseismic & Magnetic Imager (HMI)” в виде компоненты магнитного поля по-лучу-зрения (временное разрешение 720 секунд) и изображения в крайнем ультрафиолете (171Å, 193Å, 211Å, 304Å и 335Å (Atmospheric Imaging Assembly, SDO/AIA)). Нами проанализированы магнитные потоки в области пятнообразования (средних широтах) и их роль в формировании корональных структур, видимых в крайнем ультрафиолете. В процессе смены знака полярных магнитных полей Солнца отмечается существенная асимметрия между северным и южным полюсами. Рассмотрены основные закономерности активности в фотосфере,

хромосфере и короне, присущие данному, относительно невысокому и широко обсуждаемому, циклу.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СОЛНЕЧНЫМИ КОРОНАЛЬНЫМИ ВЫБРОСАМИ МАССЫ, ВСПЫШКАМИ И РАДИОВСПЛЕСКАМИ II ТИПА

И.А. Биленко

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

Корональные выбросы массы (КВМ) играют важнейшую роль в определении состояния межпланетной среды и формировании космической погоды на орбите Земли. КВМ являются триггером мощных геомагнитных бурь и источником солнечных энергичных частиц. Известно и активно изучается влияние КВМ на техно и биосферу. Однако прогнозирование КВМ, до настоящего времени, остается не решенной проблемой, поскольку точно не известны ни закономерности их формирования, ни физическая взаимосвязь их с другими явлениями солнечной активности. В данной работе представлены результаты исследования событий КВМ сопровождающихся вспышками и радиовсплесками II типа на основе данных SOHO/LASCO, GOES/SXR, WIND/WAVES и STEREO на протяжении 23 и 24 циклов солнечной активности. Исследованы изменения параметров КВМ, вспышек и радиовсплесков II типа и их взаимозависимости на различных фазах солнечной активности. Проведен анализ влияния солнечных магнитных полей различных масштабов на параметры и частотность рассматриваемых эруптивных событий. Выявлено влияние структурных изменений глобального магнитного поля Солнца, как на параметры отдельных эруптивных событий, так и на общий ход КВМ-активности в цикле. Поскольку радиовсплески II типа позволяют исследовать параметры плазмы в атмосфере Солнца и межпланетной среде, и они также являются индикаторами ударных волн, то были получены параметры плазмы солнечной атмосферы для отдельных событий при различных структурных конфигурациях глобального магнитного поля Солнца.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ФОТОСФЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЯТЕН С МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ В РАДИОАСТРОНОМИИ

В.М. Богод¹, А.Г. Тлатов²

¹*САФО РАН, г. Архыз – г. Санкт-Петербург, Россия, vbog@sao.ru.*

²*ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия.*

Цель работы в получении статистического материала о структуре магнитного поля от уровня фотосферы до уровней нижней короны. В соответствии с работой [1] корональные магнитные поля могут быть измерены на высотах выхода магнитного потока в область высоких корональных температур. При этом, информация может быть получена по анализу соответствующего циклотронного излучения на разных высотах в зависимости от излучаемого типа моды. Проведен анализ сопоставления оптических и радиоастрономических измерений магнитного поля над пятнами в широком диапазоне их величин. Сопоставление с данными фотосферных магнитных измерений дает возможность построения корректной модели магнитосферы над пятном.

[1]. V.M. Bogod, C.E. Alissandrakis, T.I. Kaltman, S.K. Tokhchukova RATAN-600 Observations of Small-Scale Structures with High Spectral Resolution, Solar Physics January 2015, Volume 290, Issue 1, pp. 7-20, Date: 18 Apr 2014.

О ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГРУПП ПЯТЕН: ВСПЛЫВАНИЕ ТРУБКИ ИЛИ МГД-КОНВЕКЦИЯ?

А.В. Гетлинг¹, Р. Ишикава², А.А. Бучнев³

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, A.Getling@mail.ru.

²НЦ Хиноде, НАО Японии, Токио, Япония, ryoko.ishikawa@nao.ac.jp.

³ИВМ и МГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, baa@ooi.sccc.ru.

На основе данных наблюдений по программе, специально разработанной для солнечного оптического телескопа орбитальной обсерватории Хиноде, построены карты лучевых и тангенциальных скоростей и магнитных полей в развивающейся биполярной подобласти в пределах АО 11313 (октябрь 2011). Разработана процедура совмещения карт по реперным точкам. Показано, что распределения лучевых и тангенциальных магнитных полей хорошо скоррелированы, причем области наибольших значений тангенциальных полей окаймляют локальные максимумы лучевых. В то же время не наблюдается сильных тангенциальных полей между максимумами лучевых полей, в отличие от того, чего следовало бы ожидать при всплывании петель сильного поля. Кроме того, в картине тангенциальных скоростей не выявлено признаков энергичного растекания вещества от места ожидаемого всплывания трубки в масштабе всей растущей активной области. Результаты, таким образом, противоречат идее всплывания Ω -образной трубки сильного магнитного поля, что свидетельствует в пользу механизма усиления и структурирования магнитного поля *in situ* благодаря конвекции.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ОЧЕНЬ СЛАБЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

В.И. Выборнов, И.Ю. Григорьева, М.А. Лившиц, Е.Ф. Иванов

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, irina.2014.irina@mail.ru.

Рассмотрены наблюдения вспышек широкополосным монитором всего неба (WAM) с эффективной площадью $\sim 800\text{см}^2$ в диапазоне 30-500 кэВ, установленным на спутнике *Suzaku*. Из 105 событий выбраны 25 вспышек В и С баллов с надежно измеряемыми потоками фотонов при энергиях 30-100 кэВ, где доминирует уже излучение ускоренных электронов. По данным RHESSI и WAM/*Suzaku* изучены характеристики рентгеновского излучения. Отмечается, что жесткое излучение слабых вспышек лучше наблюдается для источников близ лимба, а также на заключительной фазе спада больших вспышек. Локализация источников на диске внутри соответствующих активных областей, проведенная по микроволновым данным (ПАТАН-600, ССРТ и NoRH), картам магнитных полей и изображениям в различных диапазонах, свидетельствует об ускорении электронов вблизи нейтральной линии поля в тех местах, где источник располагается близ холмов с большой напряженностью, в большинстве случаев – солнечных пятен. В ряде случаев обнаруженные источники жесткого рентгеновского излучения совпадают с местами формирования нового поляризованного источника на микроволнах, существующего затем гораздо дольше длительности всплеска. Кроме того, прослеживается связь возникновения этих источников с местами всплывания нового магнитного поля. Таким образом, редкие случаи наблюдений жестких всплесков в слабых вспышках демонстрируют те же основные особенности, как и в мощных событиях, а именно, реализацию эффективного ускорения частиц вблизи пятен,

связь с областью протекания мощных токов над нейтральной линией в местах, примыкающих к сильным магнитным полям.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ НОВОГО ВСПЛЫВАЮЩЕГО МАГНИТНОГО ПОТОКА В ГЕНЕРАЦИИ КВМ, СВЯЗАННЫХ С ЭРУПЦИЕЙ ПРОТУБЕРАНЦА

В.Г. Файнштейн, Я.И. Егоров, Г.В. Руденко

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

Для нескольких КВМ, с источниками на видимом диске Солнца в пределах 30° относительно лимба, и которые были связаны с эрупцией протуберанца, с использованием данных SDO/AIA и SDO/HMI обнаружено возникновение нового магнитного потока (НМП) в источнике КВМ или в его окрестности до возникновения анализируемого события. В докладе приводятся анализ свойств и динамики новых магнитных структур, исследуется характер взаимодействия этих структур с окружающим их магнитным полем и выясняется роль такого взаимодействия в эрупции протуберанца, в генерации КВМ и возникновении связанной вспышки. Выясняется, в частности, выполняются ли условия для магнитного пересоединения НМП с окружающим магнитным полем. Для оценки трехмерной магнитной структуры в окружающих НМП участках нижней короны используются расчеты магнитного поля в потенциальном приближении по данным магнитографа SOLIS и качественные оценки по данным векторно-магнитографических измерений поля инструментом SDO/HMI.

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ ТОНКОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ ГАРМОНИК РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ II –ГО ТИПА

В.Г. Еселевича, М.В. Еселевич, И. В. Зимовец, В. В. Садыков

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

По данным инструмента AIA/SDO (канал 193A) проведен анализ коронального выброса массы, произошедшего 13 июня 2010г. В этом событии удалось одновременно зарегистрировать и измерить фронты поршневой и взрывной ударных волн, вызванных формированием и распространением коронального выброса массы. Их появление и движение сопровождалось всплеском радиоизлучения II-го типа на фундаментальной частоте F и гармонике H, которые имели узкие полосы частотного расщепления $\Delta f \ll F, H$. Распространения этих ударных волн, хотя и происходило вдоль пояса стримеров, но в направлениях, которые несколько отличались по своим позиционным углам (примерно, на 5 градусов). Вследствие этого, из-за сильной неоднородности распределения концентрации N плазмы в поясе стримеров по долготе (и широте), ее значения $N_p(R)$ на пути поршневой и взрывной волн $N_b(R)$ (на любом заданном R) могли отличаться, как минимум, в $\approx 1.5 - 2.0$ раза. Согласно современным представлениям, F частоты радиоизлучения, связанные с поршневой и взрывной ударными волнами должны составлять, соответственно, $F_p \approx \omega_p(N_p)$ и $F_b \approx \omega_p(N_b)$, (ω_p – электронная плазменная частота), т.е. зависеть от N_p и N_b . Отсюда предполагаемая величина $\Delta f \approx |F_p - F_b| \approx (0.22 - 0.41) F_b$. Это согласуется с наблюдаемой частотой расщепления $\Delta f \approx 0.33 F_b$. На этой основе был сделан вывод о том, что наблюдаемое частотное расщепления Δf частот F и H радиоизлучения II-го типа есть результат одновременного распространения поршневой и взрывной ударных волн в направлениях, которые отличаются концентрациями корональной плазмы, примерно в 1.5 – 2.0 раза.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ТЕНИ МАГНИТНО-СВЯЗАННЫХ И ОДИНОЧНЫХ ПЯТЕН В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ В ОТСУТСТВИИ В НИХ МОЩНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ И ЭРУПТИВНЫХ СОБЫТИЙ

Ю.С. Загайнова, В.Г. Файнштейн, В.Н. Обридко

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

Эта работа является первой из планируемой в серии работ авторов, посвященных исследованию вариаций магнитных свойств тени магнитно-связанных (т.е. соединенных полученными из расчетов поля в потенциальном приближении силовыми линиями) ведущих и замыкающих пятен, а также одиночных пятен. Предполагается изучение вариаций магнитных свойств таких пятен на различных масштабах времени. В данной работе анализируются суточные изменения магнитных свойств тени пятен в активных областях, в которых не происходили мощные вспышечные и эруптивные события, за время их прохождения по диску Солнца. Обнаружено, что для некоторых магнитно-связанных пятен эволюция магнитных свойств их тени носит сложный характер. Например, для активной области (АО) NOAA 11330 ведущее пятно оказалось также магнитно-связанным не только с замыкающим пятном в этой же АО, но и с замыкающими пятнами соседней АО NOAA 11325. Показано, что характер магнитной связи между пятнами двух групп заметно меняется со временем и на некотором этапе эволюции активных областей исчезает. Одновременно по мере движения АО по диску Солнца заметно и достаточно синхронно меняются такие свойства магнитного поля, как максимальное и среднее значение магнитной индукции в тени магнитно-связанных ведущего и замыкающего пятен, а также минимальный угол между силовой линией поля и положительной нормалью к поверхности Солнца в месте измерения магнитного поля в тени пятна. И, наконец, отметим, что выявленные особенности изменений свойств магнитного поля в рассмотренной АО NOAA 11330 сопровождалась исчезновением замыкающего пятна на последнем этапе движения АО по диску Солнца. Изменение указанных выше параметров магнитного поля в тени одиночных пятен различной площади имеет свои особенности, но для всех рассмотренных одиночных пятен существует промежуток времени, когда магнитные свойства пятен меняются слабо.

МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ

И.В. Зимовец, В.М. Накаряков

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivanzim@iki.rssi.ru.

Исследовано 58 событий в солнечной короне, в которых по данным AIA/SDO в 2010 – 2014 гг. наблюдалось возбуждение затухающих изгибных колебаний магнитных петель. Установлено, что основным (55 случаев) механизмом возбуждения колебаний петель является их отклонение от положения равновесия при взаимодействии с эруптивными магнитоплазменными структурами (жгутами). В трех оставшихся событиях не удалось однозначно установить механизм возбуждения колебаний петель в силу ограниченности наблюдательных данных.

ВЕТВЬ РОСТА ТЕКУЩЕГО 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ПРОГНОЗ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

В.Н. Ишков

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

Ветвь роста текущего 24 солнечного цикла (СЦ) – первого цикла второй эпохи «пониженной» солнечной активности (СА) достоверного ряда относительных чисел солнечных пятен, позволила выявить его характеристики, оценить его первые сюрпризы развития и дать предварительный прогноз его развития. Начавшийся в январе 2009 г., текущий СЦ развивался как цикл низкой величины. Достигнув первого пика уже в феврале 2012 года, после небольшого, но продолжительного (15 мес.) спада в числах Вольфа с апреля 2013 г. стал уверенно расти и к апрелю 2014 г. достиг своего максимума ($W^*=81.9$). Продолжительность ветви роста таким образом составила 54 мес., что стало рекордом для циклов достоверного ряда. Напомню, что первая эпоха «пониженной» СА началась с цикла 12, продолжительность ветви роста которого составила 50 месяцев. Это может говорить о том, что общий сюжет развития циклов эпох СА является правилом, во всяком случае, на данной статистике. Темп развития вспышечной активности и её величина существенно ниже чем в предыдущих 5 солнечных циклах, входивших в эпоху "повышенной" СА и переходного периода. Увеличение средств космических наблюдений Солнца, и значимый рост их разрешающих возможностей позволил выявить солнечные нейтроны не только от больших, но и от вспышек средних баллов, что позволяет начать изучать условия их выхода из активных областей. Текущий 24 цикл развивается по сценарию типичному для (СЦ), составляющих эпохи СА, т.е. будут выполняться все наблюдательные правила. Отсюда наиболее мощные вспышечные события будут происходить на ветви спада цикла. Непременно будет работать и правило Гневашева-Оля и следующий 25 цикл будет выше текущего ($W^*\sim 100 - 120$), но ни в коей мере не большим. По этому сценарию наиболее мощные вспышечные события обычно происходят на фазе спада цикла и иногда на фазе роста. Геоэффективность солнечных вспышечных явлений и корональных дыр остаётся аномально низкой: за 6 лет зарегистрировано две больших магнитных бурь ($A_p \geq 70$) и лишь три солнечных протонных событий ($E_{pr} > 10$ MeV) с потоком протонов больше 1000 p.f.u. На конец 2014 г. на Солнце осуществилось не менее 548 вспышек балла М, 40 вспышек балла X 106 больших. Наиболее значительным событием конца 2014 г. стало прохождение по видимому диску Солнца гигантской группы пятен ($S_p \max = 2750$ мдп), которая, несмотря на высокую вспышечную активность в благоприятном для воздействия на околоземное космическое пространство, практически не дала возмущений ни в корпускулярном излучении, ни в геомагнитном поле.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ ПЯТЕН ПО РАДИОНАБЛЮДЕНИЯМ

В.М. Богод, Т.И. Кальтман, А.Н. Коржавин, С.Х. Тохчукова

СПб ф САО, г. Санкт-Петербург, Россия, arles@mail.ru.

В работе проведено исследование наблюдательных характеристик радиоизлучения солнечных активных областей с большой площадью пятен на фотосфере. Цель работы состояла в том, чтобы диагностировать физические параметры плазмы связанных с ними микроволновых источников для лучшего понимания природы их достаточно уникальных характеристик, а также уточнить некоторые общие свойства пятенных источников, используя преимущества наблюдений пятен с большими размерами. Такие активные области

чаще образуются вблизи максимума цикла и на фазе начала ветви спада солнечной активности, для них характерны сложность магнитной структуры (гамма и дельта конфигурации), большие потоки в радиоизлучении и высокая вспышечная активность. На основе спектрально-поляризационных наблюдений РАТАН-600 в диапазоне от 17.5 до 3 ГГц проанализированы спектры потоков нескольких наиболее характерных активных областей с большой площадью пятен, оценены яркостные температуры и размеры источников в радиодиапазоне. Структура АО сопоставлена с изображениями в ультрафиолетовом диапазоне. Для АО 12192 и ее продолжения АО 12209, наблюдавшихся в октябре-ноябре 2014 года, результаты измерений в микроволновом диапазоне приведены более подробно. Проанализирована эволюция спектров от вспышечно-активной фазы к спокойному состоянию, при этом отмечен сдвиг максимума потока к более длинным волнам и снижение потока в несколько раз на коротковолновом участке спектра, что может быть связано с реструктуризацией магнитного поля, высвобождением энергии и перераспределением популяций электронов в плазме активной области на соответствующих высотах. Размер источника соответствовал диаметру тени пятна 40 -50 угловых секунд, что превышало размер диаграммы направленности антенны на коротких волнах и позволило подробней исследовать пространственную структуру источника, в частности, провал в центральной части для обыкновенной моды. Известно, что циклотронное излучение пятенного источника с сильным магнитным полем на фотосфере генерируется в гирорезонансных уровнях, расположенных в хромосфере и переходной области. Для данной области циклотронное излучение зарегистрировано вплоть до самых коротких волн наблюдаемого диапазона со степенью поляризации менее 50 %, то есть из более глубоких слоев переходной зоны, чем для обычных активных областей с менее широкими пятенными источниками и меньшей величиной магнитного поля. На основе сопоставления с модельными расчетами измерен рост температуры с высотой в переходной области. В длинноволновой части диапазона, благодаря большому диаметру пятенного источника, непосредственно по яркостной температуре радиоисточника получены оценки кинетической температуры электронов в нижней короне с большей точностью, чем это обычно удается измерить в ежедневных рутинных наблюдениях. Характеристики радиоизлучения области АО 12192, произведшей 8 вспышек класса X и более 25 класса M в период с 18 по 30 октября 2014 г., при отсутствии значительных протонных событий, сравнивается с характеристиками подобных областей с большой площадью пятен на фазе начала ветви спада предыдущего солнечного цикла.

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН СРЕДНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СОЛНЦЕ ИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

**К.М. Кузанын^{1,2}, Д.Д. Соколов^{1,3}, ГАО Юй (Yu GAO)²,
ЧЖАН Хунци (Hongqi ZHANG)²**

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

²НАО АН КНР, г. Пекин, Китай.

³МГУ, ФФ, г. Москва, Россия.

Информация о наблюдательных проявлениях среднего магнитного поля крайне важна для теории динамо. Мы использовали базу систематических наблюдений векторных магнитограмм активных областей, исправленных за проекцию относительно плоскости изображения на плоскость, касательную к поверхности Солнца. Мы вычислили значения средних азимутальной, меридиональной и радиальной компонент магнитного поля, усредненных по пространственно-временным интервалам (7 градусов по широте и 2 года по времени). Азимутальная компонента имеет смысл тороидальной компоненты поля, а меридиональная - полоидальной. Таким образом, за период двух солнечных циклов 1988-

2005 гг. получено 88 статистически значимых выборок данных, каждая из которых содержит более чем 30 отдельных магнитограмм. Мы особо исследовали те выборки, для которых средние значения превышают 90% доверительный интервал по критерию Стьюдента. Мы получили, что закон полярности Хэйла довольно хорошо согласуется с наблюдательными данными. Тем не менее, есть некоторое количество (10 из 88) пространственно-временных интервалов, преимущественно сосредоточенных вблизи краев крыльев "маундеровских бабочек", для которых существует статистически значимое обращение закона Хэйла. Мы можем приписать это явление обращению закона Хэйла:

(а) проявлениям механизма образования солнечных пятен, альтернативному паркеровскому;
(б) сдвигу фазы в эволюции тороидальной и полоидальной компонент среднего магнитного поля. Работа поддержана совместными грантами РФФИ и ГФЕН Китая, а также Китайской Академии Наук.

СРЕДНИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДВЕ ПОПУЛЯЦИИ ГРУПП СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

**Ю.А. Наговицын, А.А. Певцов, А.А.Осипова, А.Г. Тлатов,
Е.Ю. Наговицына**

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

В последние несколько лет возрос интерес к длительным изменениям физических характеристик солнечных пятен, связи между их различными характеристиками, исследованию однородности пятен как физического объекта [1-5]. В докладе на основе данных 7 обсерваторий Службы Солнца СССР и обсерватории Маунт-Вилсон (США) мы рассматриваем зависимость напряженности вертикального магнитного поля пятна от его площади. Показано, что эта зависимость не постоянна во времени и теснота ее также изменяется. В двухпараметрическом виде «магнитное поле – площадь пятна» подтверждено существование двух популяций пятен, что может свидетельствовать о пространственно-распределенном динамо на Солнце. Обсуждена «проблема Ливингстона-Пенна» в свете последних данных о развитии 24 цикла солнечной активности.

[1] Pevtsov A.A., Nagovitsyn Y.A., Tlatov A.G., and Rybak A.L., Long-term trends in sunspot magnetic fields. // *Astrophysical Journal Letters*, 742: L36, 2011.

[2] Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; Livingston, William C. On a Possible Explanation of the Long-term Decrease in Sunspot Field Strength // *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 758: L20, 5 pp., 2012.

[3] Georgieva K., Kirov B., Nagovitsyn Yu. A. Long-Term Variations of Solar Magnetic Fields Derived from Geomagnetic Data. // *Geomagnetism and Aeronomy*, V.53, 852-856, 2013.

[4] Pevtsov Alexei A., Bertello Luca, Tlatov Andrey G., Kilcik Ali, Nagovitsyn Yury A., Cliver Edward W. Cyclic and Long-term Variation of Sunspot Magnetic Fields // *Solar Physics*. V.289, No 2, pp.593-602, 2014.

[5] Munoz-Jaramillo Andres, Senkpeil Ryan R., Windmueller John C., Amouzou Ernest C., Longcope Dana W., Tlatov Andrey G., Nagovitsyn Yury A., Pevtsov Alexei A., Chapman Gary A., Cookson Angela M., Yeates Anthony R., Watson Fraser T., Balmaceda Laura A., DeLuca Edward E., Martens Petrus C. H. Small-Scale and Global Dynamos and the Area and Flux Distributions of Active Regions, Sunspot Groups, and Sunspots: A Multi-Database Study. // *Astrophysical Journal*, принято к печати (eprint arXiv: 1410.6281).

ПАКЕТЫ БМЗ ВОЛН В КОРОНЕ СОЛНЦА

В.М. Накаряков

*ГАО РАН, г. Санкт Петербург, Россия, University of Warwick, UK,
V.Nakariakov@warwick.ac.uk.*

Анализ прецизионных наблюдений короны Солнца выполненных с помощью инструмента AIA на космическом аппарате SDO показал наличие квазипериодических волновых пакетов вариаций интенсивности КУФ излучения с характерными периодами короче одной минуты, распространяющихся со скоростью около 1000 км/с. Показано, что волновые пакеты наблюдаются непосредственно после актов импульсного энерговыделения, характеризующихся всплесками радио-излучения. Обнаружено, что наблюдаемые волновые пакеты являются результатом эволюции широкополосных быстрых магнитоакустических (БМЗ) импульсов в плазменных неоднородностях короны. Установлено, что формирование квазипериодических БМЗ пакетов происходит как в БМЗ волноводах (например, в плазменной петле или в веерообразной структуре), так и в антиволноводах (например, в корональной дыре), и что в обоих случаях БМЗ пакеты имеют характерную структуру вейвлет-спектра. Сравнение наблюдаемых свойств БМЗ волновых пакетов с результатами прямого численного моделирования данных процессов позволяют установить параметры волноводных плазменных неоднородностей. Полученные результаты открывают интересные возможности для установления структуры плазмы над активными областями и определения каналов выхода энергии и вещества.

ГЛОБАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АКТИВНОСТИ И СООТНОШЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАСШТАБОВ

В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушков, г. Москва, Россия, obridko@izmiran.ru.

Предлагается дальнейшее развитие концепции Глобального комплекса активности (ГКА). Введенное нами ранее понятие ГКА опиралось в основном на близость и сходную эволюцию областей открытых магнитных полей (OFR) и активных областей. В новой расширенной концепции учитывается гораздо более широкий круг объектов на Солнце, в частности структура и напряженность фонового поля, тонкоструктурных элементов, локальных полей, фотометрическая структура корональных дыр в различных диапазонах длин волн. Корональные дыры располагаются в основном в униполярной области, но не заполняют ее всю. В ту же униполярную область внедрены и активные области, составляя необходимую часть комплекса. Обсуждается проблема выделения фоновых полей, их соотношение с тонкоструктурными элементами.

УСКОРЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

И.М. Подгорный¹, А.И. Подгорный²

¹*ИНАСАН, г. Москва, Россия.*

²*ФГБУН ФИ РАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия.*

Выполненные ранее совместно с Э. В. Вашенюком и Ю. Балабиным исследования релятивистских протонов, приходящих к Земле после вспышки, показали, что ускорение протонов, сопровождающих солнечную вспышку, происходит во вспышечном токовом слое вдоль особой линии магнитного поля. Ускоренные в токовом слое протоны обладают экспоненциальным спектром. Из анализа многолетних измерений потоков протонов с энергией 10–100 МэВ на космических аппаратах GOES следует, что характеристики потока ускоренных протонов, достигающих орбиты Земли, зависят от положения вспышки на солнечном диске. Так называемая быстрая компонента приходит к Земле с резким (~5 мин) фронтом. Она регистрируется от вспышек, возникших на западной части солнечного диска, с задержкой, определяемой временем пролета частиц без столкновений. Ларморовский радиус протонов в межпланетном пространстве много меньше расстояния от Земли до Солнца. Это значит, что частицы быстрой компоненты приходят к Земле вдоль линий магнитного поля. Для западных вспышек такими линиями являются линии спирали Архимеда. Протоны, не попавшие сразу на линии поля, которые идут к Земле, переносятся поперек поля со скоростью солнечного ветра и диффундируют за счет рассеяния на неоднородностях магнитного поля. Запаздывающий поток протонов длится 2–3 суток, что соответствует средней скорости переноса $\sim 5 \times 10^8$ см/с. Фронт прихода протонов от вспышек на восточной части диска пологий. Его длительность более 10 часов. Поток протонов от таких вспышек начинает регистрироваться с запаздыванием более трех часов. Быстрая компонента, которая приходит от западных вспышек с крутым фронтом и запаздыванием менее 20 минут, не регистрируется аппаратами GOES от вспышек, произошедших на восточной части солнечного диска. Частицы от вспышек, произошедших на восточной части солнечного диска, не могут попасть на линию магнитного поля, связывающую вспышку с Землей. Эти частицы достигают Земли, перемещаясь поперек межпланетного магнитного поля. Захваченные магнитным полем частицы переносятся солнечным ветром, благодаря вмерзности межпланетного магнитного поля в плазму и диффузии частиц поперек поля. В отдельных очень редких случаях быстрая компонента от западных вспышек не регистрировалась аппаратом GOES. Это происходило, если перед регистрируемым протонным событием наблюдались мощные вспышки и корональные выбросы массы, которые могли исказить конфигурацию поля, и распространяющийся вдоль линий поля поток протонов не мог достичь магнитосферы Земли. Если часть быстрых протонов приходит к Земле вдоль линий магнитного поля и образует быструю компоненту, а другая часть распространяется поперек поля, то нет необходимости для объяснения быстрой и запаздывающей компонент привлекать два различных механизма ускорения протонов (ускорение во вспышке и ускорение в ударной волне). Наблюдаемые факты объясняются действием единого механизма ускорения протонов в токовом слое.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ 12.06.2014 ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ С КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА IRIS И ТЕЛЕСКОПА NST

В.М. Садыков^{1,2}, А.Г. Косовичев³⁻⁵, И.Н. Шарыкин¹, С. Варгас Домингез⁶

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, viacheslav.sadykov@gmail.com.*

²*МФТИ, г. Долгопрудный, МО, Россия.*

³*BBSO NJIT, Нью-Джерси, США.*

⁴*Стэнфорд, Калифорния, США.*

⁵*ИЦ NASA Ames, Калифорния, США.*

⁶*Национальный колумбийский университет, Богота, Колумбия.*

Представлены результаты анализа вспышки класса M1.0, произошедшей 12 июня 2014 года (SOL2014-06-12T21:12) по данным наблюдений с космического аппарата IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph) и наземного телескопа NST (New Solar Telescope) обсерватории BBSO (Big Bear Solar Observatory). IRIS получал изображения и УФ-спектры высокого разрешения для почти всей вспышечной области, в то время как NST наблюдал данное событие в оптическом и инфракрасном диапазонах. В результате анализа наблюдений IRIS в различных спектральных линиях обнаружен хромосферный поток плазмы с большим красным смещением непосредственно перед вспышкой. Также найдено, что хромосферные линии и линии переходной области испытывают преимущественно красное смещение во время вспышки. По инфракрасным изображениям, полученным прибором BFI (Broadband Filter Imager) с использованием TiO-фильтра на телескопе NST, обнаружено расширение фотосферного магнитного жгута после рентгеновского пика вспышки. В УФ диапазоне, эмиссия горячей (20 МК) корональной плазмы в линии Fe XXI зафиксирована примерно через 400 секунд после пика эмиссии в холодных линиях. Также обнаружено, что линия Fe XXI испытывает голубое смещение по периметру вспышечной области, соответствующее скоростям «испарения» хромосферной плазмы, разогретой до высоких температур, порядка 50 км/с. Результаты спектрального анализа качественно соответствуют предсказаниям гидродинамических моделей вспышек, однако, поднимают новые вопросы об источниках вспышечного нагрева хромосферной плазмы.

МЕЛКОМАСШТАБНОЕ ДИНАМО И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СОЛНЦА

Д.Д. Соколов, А.И. Хлыстова, В.И. Абраменко

МГУ, г. Москва, Россия, sokoloff.dd@gmail.com.

Известны два пути генерации магнитных полей в рамках общего механизма динамо. Один из них – динамо средних полей – связан с зеркальной асимметрией течений и создает крупномасштабные магнитные поля, однако наряду с ними он создает и мелкомасштабные магнитные поля. Другой – мелкомасштабное (или турбулентное, или флуктуационное) динамо – создает лишь мелкомасштабное поле и не требует зеркальной асимметрии течений. Итак, есть два пути создания мелкомасштабных магнитных полей в космических средах, в том числе и на Солнце. Долгое время не было видно ни наблюдательных, ни теоретических идей о том, как разделить эти вклады, поэтому вопрос об их разделении считался представляющим чисто академический интерес. Недавно Стенфло привел убедительные аргументы о том, что на поверхности Солнца мы видим непосредственно лишь вклад первого механизма в образование мелкомасштабных магнитных полей. Тем не менее, остается вполне возможным, что в глубине конвективной зоны Солнца работают оба

механизма, но мелкомасштабные магнитные поля, созданные вторым механизмом вне связи с крупномасштабными полями, плохо проникают на солнечную поверхность. Анализируя статистику групп солнечных пятен, нарушающих правило полярности Хейла, мы приводим аргументы в пользу этой точки зрения.

МНОГОЯЧЕИСТАЯ СТРУКТУРА МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА СОЛНЦЕ

А.А. Соловьев

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

Предлагается новая модель меридиональной циркуляции на Солнце, в которой, в согласии с данными гелиосейсмологии, допускается множественная радиальная структура медленных стационарных течений. Рассмотрены течения с одной, двумя и тремя ячейками в каждом полушарии Солнца. Во всех случаях течения сильно сконцентрированы вблизи дна конвективной зоны, меридиональная скорость здесь близка к скорости поверхностного течения, но в случае двух ячеек, течения у дна конвективной зоны совпадают по направлению с поверхностными. Такой тип течений не соответствуют условиям циклической генерации магнитных полей на Солнце. Высказывается идея о том, что переход солнечной конвективной зоны от одного режима циркуляции к другому (от одно-трех ячеистой к двух ячеистой структуре течений) может объяснить существование длительных минимумов солнечной активности типа минимума Маундера.

НОВЫЕ ЗАДАЧИ ФИЗИКИ БОЛЬШИХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, somov.boris@gmail.com.

Современные космические наблюдения солнца обладают высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Это позволяет наблюдать и исследовать эффект магнитного пересоединения в так называемой сверх-горячей (электронная температура больше 10 кэВ) замагниченной плазме в солнечных вспышках, в короне и солнечном ветре. Доступны самому всестороннему изучению вторичные эффекты, вызываемые вытекающими из пересоединяющего токового слоя потоками энергии в виде быстрых гидродинамических течений, мощных тепловых волн и ускоренных до высоких энергии заряженных частиц. Именно эти вторичные эффекты составляют наблюдаемую картину вспышки. Дан обзор новых задач, связанных с наблюдаемыми проявлениями потоков энергии в атмосфере солнца во время больших вспышек.

Somov B.V., physical processes in solar flares, kluwer academic publ., dordrecht, 1992.

Somov B.V., plasma astrophysics, part ii, reconnection and flares, springer sbm, llc, new york, 2013.

УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ И НАГРЕВ ПЛАЗМЫ В ХРОМОСФЕРЕ СОЛНЦА: РОЛЬ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РЭЛЕЯ-ТЕЙЛОРА

А.В. Степанов¹, В.В. Зайцев²

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

²ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, za130@appl.sci-nnov.ru.

"Стандартная" модель солнечной вспышки предполагает, что нагрев хромосферы вызван энергичными частицами, ускоренными в короне в области "каспа". Однако часто вспышка происходит без образования "каспа". Наблюдаются случаи, когда "касп" образуется после импульсной фазы вспышки, т.е. проявляется как продукт вспышки. Наблюдения на новом солнечном телескопе обсерватории Big Bear свидетельствуют о нагреве хромосферных оснований тонких корональных магнитных арок в активных областях до корональной температуры и о выбросах плотной нагретой хромосферной плазмы в корону. Нами предложен новый механизм ускорения электронов и нагрева хромосферы *in situ*. Основную роль в ускорении и нагреве играет неустойчивость Рэля-Тейлора. Неустойчивость баллонной моды имеет пороговый характер по скорости фотосферной конвекции. При развитии неустойчивости внешняя плазма хромосферы проникает внутрь магнитной трубки, что приводит к деформации магнитного поля токнесущей арки и генерации индукционного электрического поля. Электроны ускоряются электрическим полем до энергий порядка 1 МэВ и термализуются в плотной хромосфере, нагревая хромосферу до температуры в нескольких миллионов градусов и вызывая "хромосферную вспышку". Концентрация ускоренных электронов может превышать порог по столкновительному затуханию плазменных волн. Это означает, что наряду с нагревом происходит возбуждение плазменной турбулентности в хромосферных основаниях корональных магнитных арок.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО ДАННЫМ ОБРАБОТКИ АРХИВА ФОТОПЛАСТИНОК ГРИНВИЧСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ 1920-1972

А.Г. Тлатов, Н.Н. Скорбеж, С.Н. Коломиец

ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, tlatov@mail.ru.

В данной работе представлены результаты выделения солнечных пятен на фотопластинках архива наблюдений солнца в "белом" свете в период с 1920 по 1972 гг. Целью проведения такой работы было создание каталога не только групп, но отдельных солнечных пятен и промер их различных геометрических характеристик. Разработаны методики, реализованные в компьютерной программе для анализа изображений автоматического выделения солнечных пятен и пор. Объем оцифрованных и обработанных пластинок составил около 156000 тыс. пластинок, количество выделенных пятен и пор ~280 тыс. После автоматического выделения проводилась выверка результатов в полуавтоматическом режиме. Сравнение площади пятен с данными ручной обработки (www.ngdc.edu) показало высокий коэффициент корреляции ($R \sim 0.98$) и абсолютных величин среднемесячных значений. Установлены новые факты о характеристиках солнечных пятен в циклах активности: распределения по площади в 16-20 циклах активности, особенности взаимного положения пятен в группах, связи интенсивности и площади и другие.

МАГНИТНЫЕ ЖГУТЫ В СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

Б.П. Филиппов

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, bfilip@izmiran.ru.

В начале 1990-х было обнаружено, что самые сильные возмущения космической погоды связаны с огромными выбросами плазмы из солнечной короны, превращающимися межпланетные магнитные облака, быстро удаляющиеся от Солнца. Именно столкновение этих облаков с земной магнитосферой приводит к сильным иногда катастрофическим изменениям космической погоды. Корональные выбросы происходят внезапно и пока не найдено надежных предвестников этих событий. Наиболее вероятной магнитной конфигурацией, в которой зарождаются выбросы, считается магнитный жгут, находящийся в равновесии во внешнем корональном магнитном поле. Жгут может находиться в устойчивом равновесии длительное время, но внезапно может перейти в неустойчивое состояние. Одним из важнейших факторов, контролирующих устойчивость, является вертикальный градиент коронального поля, представляемый часто индексом убывания поля. Иногда магнитные жгуты различимы на изображениях Солнца в корональных спектральных линиях, но чаще их присутствие выдают плазменные структуры, внешне не похожие на скрученные трубки, но тесно связанные со жгутами: корональные полости, волокна, протуберанцы. Наблюдения за этими структурами в различные фазы их существования дают возможность определить некоторые характеристики магнитных жгутов и даже оценить их устойчивость. Это дает надежду на возможности прогнозирования выбросов.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК НЕТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Ю.Т. Цап, А.В. Степанов, Л.К. Кашапова, И.Н. Мягкова,
А.В. Богомолов, Ю.Г. Копылова

*НИИ «КРАО», Крым, нгт Научный.
ГАО РАН, С-Петербург, Россия, yur_crao@mail.ru.*

На основе наблюдений серии вспышек в рентгеновском и микроволновом диапазоне с 14-го по 24 августа 2002 г. в активной области 0069, выполненных с помощью орбитальных станций GOES, КОРОНАС-Ф и наземной службы Солнца RSTN, проведен анализ временных задержек между пиками микроволнового и жесткого рентгеновского излучения. Установлено, что временные задержки излучения варьируются в широких пределах. Рассмотрены возможные механизмы их происхождения, а также влияние хромосферного испарения на кулоновскую диффузию ускоренных в короне электронов. Сделан вывод в пользу важной роли диамагнитных сил, ответственных за накопление энергичных частиц в корональной части магнитной петли.

АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ ВСПЫШЕЧНЫХ ПРОЦЕССОВ И ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Г.П. Чернов¹, В.В. Фомичев¹, Р.А. Сыч², Tan Baolin³, Yan Yihua³

¹*ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, gchernov@izmiran.ru.*

²*ИСЗФ, г. Иркутск, Россия.*

³*Key Laboratory of Solar activity, NAOC, Beijing, China.*

Знание моды волны и структуры радиоисточника являются определяющими факторами при выборе механизма радиоизлучения тонкой структуры. Дискуссия о природе самой интригующей тонкой структуры в виде полос в излучении и поглощении типа зебры на динамических спектрах континуальных радиовсплесков IV типа продолжается более 40 лет. Было предложено более десятка механизмов. Здесь на примере нескольких событий показана важность комплексных наблюдений. В явлении 11 апреля 2013 г. тонкая структура впервые наблюдалась одновременно в 4 обсерваториях: на китайском солнечном широкополосном радиоспектрометре в Хуайроу, чешском спектрометре в Онджейов, микроволновом спектрографе в Бадарах (Иркутск) и спектрографе ИЗМИРАН в метровом диапазоне. Зебра структура (ЗС) появлялась как граница обрезания радиоизлучения на высокочастотном краю быстрых пульсаций. Эти моменты совпадали с последовательными вспышечными уярчениями во вспышечных лентах (во вспышке балла М6.5 почти в центре диска) и на вершинах аркады петель, как показывают кадры фильма в линиях крайнего ультрафиолета телескопа на борту спутника NASA Solar Dynamics Observatory (SDO). Поляризация радиоизлучения заметно менялась с каждым новым появлением ЗС, даже со сменой знака. Динамика поляризации была связана с движением вспышечных узлов в EUV линиях 171 Å и 131 Å (SDO Atmospheric Imaging Assembly (AIA)). Сопоставление с магнитограммами SDO/HMI показывает, что во всех доступных случаях радиоизлучение ЗС связано с обыкновенной волной, если полагать, что радиоисточник располагается над соответствующим вспышечным уярчением. Во вспышке 21 июня 2013 г. на восточном краю диска быстрые пульсации также имели ВЧ границу обрезания, но без ЗС, которая все же наблюдалась несколько минут позднее. Данные SDO показывают, что пульсации наблюдались в ходе выбросов вдоль открытых силовых линий. В лимбовом явлении 24 февраля 2011 г. радиоисточник ЗС в микроволновом диапазоне располагался в основаниях петель под X-точкой магнитного пересоединения. Эти новые результаты показывают прежде всего, что не нужно изобретать новые модели ЗС, для каждого необычного явления. Позиционные наблюдения радиоисточников должны оказаться определяющими при выборе механизма радиоизлучения. Новый китайский радиогелиограф в дециметровом и микроволновом диапазонах волн позволит получить решающие параметры радиоисточника одной полосы ЗС: движущийся источник должен отвечать модели ЗС на вистлерах, а стационарный больше соответствует модели на двойном плазменном резонансе.

ПРОСТОЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ РЕНТГЕНОВСКОГО КЛАССА СОЛНЕЧНЫХ ЗАЛИМБОВЫХ ВСПЫШЕК, НАБЛЮДАЕМЫХ НА STEREO

И.М. Черток¹, А.В. Белов¹, В.В. Гречнев²

¹*ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, ichertok@izmiran.ru.*

²*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Представлен пример того, как паразитный эффект может быть использован для получения полезной информации. При солнечных вспышках рентгеновских классов С и выше на изображениях телескопа STEREO/EUVI в канале 195 Å возникает эффект перегрузки – полоска насыщения, ориентированная под небольшим углом к направлению восток-запад. Этот эффект (блуминг) вызван растеканием избыточного заряда из ячейки фотоприёмника с зарядовой связью, соответствующей наиболее яркому месту вспышки. Максимальная длина этой артефактной полоски (L), измеренная в долях солнечного радиуса (R_s) на том же изображении, может быть использована для решения актуальной проблемы – оценок потока мягкого рентгеновского излучения и соответствующего балла вспышек, невидимых с Земли, но наблюдаемых с аппаратов STEREO. С этой целью по данным о почти 400 вспышках классов С1 и выше, наблюдавшихся на ИСЗ GOES и КА STEREO с января 2007 г. по июль 2014 г., установлена статистическая зависимость между пиковым рентгеновским потоком в диапазоне 1–8 Å и максимальной относительной длиной полоски блуминга L/R_s . Обнаружено, что в кратковременных компактных вспышках обычно наблюдается тонкая, одиночная, удлинённая полоска насыщения, а для вспышек большой длительности (LDE) характерно наличие нескольких утолщенных и укороченных полосок блуминга. Установленная зависимость позволила за тот же период выделить около 80 крупных залимбовых вспышек с $L/R_s > 0,2$ (т.е. с баллом $>M3.0$), наблюдавшихся только на STEREO, и оценить их рентгеновский класс. Согласно этим оценкам, наиболее мощной в 24-ом цикле была вспышка, произошедшая 20 сентября 2012 г. в активной области с координатами S15E156 и имевшая самую длинную полоску насыщения $L/R_s \approx 2,38$. Её оценочный рентгеновский класс достиг уровня примерно X10. Предложенный простой способ даёт результаты, близкие к оценкам Nitta et al. (Solar Phys., **288**, 241, 2013), основанным на непосредственном подсчёте суммы инструментальных отсчётов на изображениях телескопа EUVI.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

А.Н. Шабалин, Ю.Е. Чариков

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, ShabalinAN@mail.ioffe.ru.

Наблюдения локальных, пространственно-разнесенных источников микроволнового и жесткого рентгеновского излучений во время солнечных вспышек позволяют продвинуться в направлении численного моделирования процессов переноса ускоренных электронов и их тормозного излучения. В работе исследуется пространственное распределение жесткого рентгеновского излучения и степени поляризации, полученных на базе решения кинетического уравнения Фоккера-Планка, которое учитывает влияние кулоновских столкновений, магнитного отражения, обратного тока. Особое внимание уделено нами влиянию магнитной турбулентности на эволюцию функции распределения электронов и характеристики рентгеновского излучения. Согласование результатов моделирования с

наблюдениями позволит получить ограничения на функцию распределения ускоренных электронов, на их угловое и энергетическое распределение, что является чрезвычайно важным в теории ускорения и переноса частиц в плазме. В настоящей работе относительно турбулентности сделаны некоторые предположения, упрощающие задачу, - спектр магнитной турбулентности остается стационарным, его уровень может меняться от 10^{-3} и ниже. Турбулентность может возникать как во всей петле в целом, так и в отдельных ее частях. В случае магнитной турбулентности с $\delta B/B=10^{-3}$ происходит увеличение числа захваченных в верхней части петли электронов, особенно проявляющееся в анизотропном случае, вследствие более эффективной изотропизации электронов. При уровне 10^{-5} и ниже влияние турбулентного рассеяния не имеет места. Показано, что для стационарного спектра магнитной турбулентности с $\delta B/B = 10^{-3}$ магнитная турбулентность оказывает существенное влияние на рентгеновскую яркость в основаниях петли, что является результатом изотропизации электронов в этой области, и существенно уменьшает величину степени поляризации жесткого рентгеновского излучения.

НАГРЕВ ПЛАЗМЫ ДО СВЕРХВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР (>30 МК) В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ 9 АВГУСТА 2011 ГОДА

И.Н. Шарькин, А.Б. Струминский, И.В. Зимовец

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivan.sharykin@phystech.edu.

В работе исследуется солнечная вспышка 9 августа 2011 г. рентгеновского класса X6.9. Данное событие уникально тем, что является самой «горячей» вспышкой с 2000 по 2012 гг., температура плазмы которой по данным GOES оценивается в ≈ 33 МК. Целью работы является определение причины такой аномально высокой температуры плазмы, а также исследование энергетического баланса во вспышечной области с учетом наличия сверхгорячей плазмы (>30 МК). Мы анализируем данные RHESSI, GOES, AIA/SDO и EVE/SDO, обсуждаем пространственную структуру вспышечной области и результаты спектрального анализа ее рентгеновского излучения. Анализ рентгеновских спектров по данным RHESSI производится в рамках однотемпературного и двухтемпературного приближения с учетом излучения горячей (~ 20 МК) и сверхгорячей (~ 45 МК) плазмы. Спектр жесткого рентгеновского излучения в обеих моделях аппроксимируется степенными функциями. Показано, что наблюдаемые особенности вспышки объясняются с помощью двухтемпературной модели, в которой сверхгорячая плазма располагается в вершинах вспышечных петель. Формирование сверхгорячей плазмы может быть связано с ее нагревом за счет первоначального энерговыделения при наличии аномальной теплопроводности. Аномально высокая температура (33 МК по GOES), скорее всего, является артефактом метода расчета температуры по двухканальным измерениям GOES в рамках однотемпературного приближения, примененного к излучению многотемпературной вспышечной плазмы со слабовыраженной низкотемпературной частью.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДИНАМИКИ СПЕКТРА УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ С ИЗМЕНЕНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВСПЫШЕЧНОЙ ОБЛАСТИ В ИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЕ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

В.Г. Курт¹, Б.Ю. Юшков¹, В.И. Галкин¹, К. Кудела²,
Л.К. Кашапова³, Н.С. Мешалкина³

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, clef@srd.sinp.msu.ru.

²ИЭФ Словацкой АН, г. Кошице, Словакия.

³ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

На основе измерений гамма-излучения солнечных вспышек в интервале энергий 0.1-300 МэВ, выполненных в эксперименте СОНГ на ИСЗ «КОРОНАС-Ф», в импульсной фазе нескольких вспышек надежно выделен компонент гамма-излучения, вызванный распадом нейтральных и заряженных пионов, возникающих при взаимодействии высокоэнергичных протонов (свыше 300 МэВ) с веществом солнечной атмосферы. В этих же событиях был выделен компонент, обусловленный излучением в узких гамма-линиях, возбуждаемых при взаимодействии протонов с энергиями в интервале 10-50 МэВ. Отношение интенсивностей этих компонентов позволяет оценить спектр ускоренных протонов. Сопоставление динамики спектра с изменением во времени пространственной структуры вспышечной области, наблюдаемой в различных диапазонах вспышечных излучений, позволило заключить, что наиболее эффективное ускорение протонов до высоких энергий совпадает по времени с моментом радикальной перестройки магнитного поля во вспышечной области.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА»

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АПЕКСНЫХ ЧАСТЕЙ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ ВЕРХНЕЙ ХРОМОСФЕРЫ (ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

Л.М. Алексеева, С.П. Кшевецкий

*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, l.m.alekseeva@yandexi.ru.
БФУ им. Им. Канта, г. Калининград, Россия.*

В работе непосредственно, без каких-либо априорных предположений, решается задача с начальными условиями для полностью самосогласованной стандартной 2D системы нелинейных уравнений столкновительной магнитной гидродинамики с учетом конечной электро- и теплопроводности для условий верхней хромосферы; считая линии магнитного поля горизонтальными прямыми, вдоль которых нет изменений физических величин. Моделирование выполняется для области 300 км (по высоте) на 1400 км (по горизонтали), что соответствует разрешению современных средств наблюдения типа TRACE, IRIS, Hi-C. Плазма в начальный момент неподвижна, ее характерное газовое давление несколько превосходит характерное магнитное, а $T=50000\text{K}$. Программа обчисляет возникающие волны и неустойчивости, при появлении резких фронтов автоматически привлекая вычисления с помощью обобщенных функций. В случае контакта разнополярных магнитных областей вдоль границы раздела развивались неоднородности в виде протяженных нитей с поперечными ответвлениями, внешне похожие на так называемый *мох (moss)*, наблюдаемый аппаратами высокого разрешения. Физически это явление соответствует лабораторному Z-пинчу: поле скоростей имеет тот же вид, происходит нагрев плазмы, взрывообразно возникают узкие скоростные потоки, которые допускают сопоставление с пучками ионов. Отметим, что двумерность решаемой задачи исключает развитие процессов пересоединения, так что полученный результат указывает на возможность существования в столкновительной плазме дополнительного или альтернативного способа тепловой и кинетической энергетизации плазмы за счет магнитного поля. Проводимое моделирование изменений в плазме, непосредственное и подробное, хотя и требует вычислительных затрат (что заставляет рассматривать области небольшой протяженности), приводит к прозрачным выводам, поскольку не использует лишних априорных идеализаций (например, о типе процесса, о характере возникающих неоднородностей и пр.). Оно интересно также с гносеологической стороны, т.к. волны и неустойчивости, самопроизвольно возникающие в плазме, должны создавать в ней эффективные соударения, т.е. реальная диссипация в конкретном процессе, вообще говоря, будет отличаться от той, что представлена коэффициентами, полученными из рассмотрения движения отдельных частиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ АТМОСФЕРЫ ТЕНИ СОЛНЕЧНОГО ПЯТНА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ТРЕХМИНУТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

С.А. Анфиногентов, А.С. Дерес

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

Работа посвящена исследованию высотной структуры атмосферы солнечных пятен по данным многоволновых наблюдений трёхминутных колебаний. Целью данного исследования является измерение высот формирования излучения фиксируемого в каналах SDO/AIA (1700, 1600, 304, 171 и 193 Å) над тенью солнечных пятен по многоволновым наблюдениям трёхминутных колебаний, а также согласование полученных результатов с моделями солнечной атмосферы. По общепринятым представлениям трёхминутные колебания являются проявлением магнитоакустогравитационных волн, распространяющихся вдоль силовых линий магнитного поля в атмосфере солнечных пятен. Современные астрономические инструменты позволяют наблюдать эти волновые процессы на всех уровнях солнечной атмосферы от фотосферы до короны. В данной работе используются наблюдения международной космической обсерватории SDO/AIA на 5 длинах волн ультрафиолетового и крайнего ультрафиолетового диапазонов. Наблюдения волн на разных уровнях, позволяет отследить их распространение в атмосфере Солнца из температурного минимума в корону. Наблюдаемые задержки между колебаниями на разных уровнях определяются высотой этих уровней и скоростью распространения волн. Таким образом, измерения задержек могут быть использованы либо для измерения скорости распространения волн при известных высотах формирования излучения, либо для определения высот при заданной скорости распространения. В данной работе мы исходим из того, что скорость распространения волны известна и равна локальной скорости звука в соответствующих слоях солнечной атмосферы. Для определения времени распространения волны были измерены задержки между колебаниями, наблюдаемыми в каналах SDO/AIA (1700, 1600, 304, 171 и 193 Å). При этом учитывалось возможное влияние проекционных эффектов и неполного совмещения изображений в разных каналах, также были определены доверительные интервалы измеренных задержек. Полученные оценки высот находятся в согласии с одной из рассмотренных моделей атмосферы тени пятна.

СЕВЕРО-ЮЖНАЯ АСИММЕТРИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА

О.Г. Бадалян

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, badalyan@izmiran.ru.

Скорость вращения Солнца рассматривается отдельно в северном и южном полушариях по данным о яркости зеленой корональной линии 530.3 нм Fe XIV и суммарным суточным площадям солнечных пятен за 18-23 циклы активности. Данные о яркости зеленой линии усреднены для широтной зоны 15-35°. Для нахождения периода вращения Солнца использовался спектрально-временной анализ (СВАН), в котором в скользящем временном окне проводится разложение в ряд Фурье с последующим выделением периода, имеющего максимальную амплитуду. Для обоих индексов активности, выявлено изменение со временем скорости вращения в рассматриваемой “королевской” широтной зоне. Обнаруживается, что эти изменения в двух полушариях Солнца происходят как бы в противофазе – если скорость вращения в одном из полушарий увеличивается, в другом уменьшается. Получено, что в

интервалах 1945-1955 и 1964-1975 быстрее вращалось северное полушарие, а в 1985-1995 южное. Существенно, что изменения скорости вращения, найденные по двум индексам активности, один из которых относится к фотосфере, а другой к короне, происходят в целом идентично. За последние годы выявлен ряд свидетельств несинхронной работы двух полушарий Солнца. Мерой этой несинхронности может служить северо-южная асимметрия солнечной активности. Дифференциальное вращение в моделях динамо рассматривается как механизм преобразования полоидального поля в торoidalное в цикле активности. Северо-южная асимметрия дифференциального вращения Солнца может, таким образом, приводить к значительным изменениям в процессах генерации магнитных полей на Солнце.

ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ МЕЖПЯТЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

**И.А. Бакунина, В.Е. Абрамов-Максимов, А.А. Соловьев,
В.В. Смирнова**

НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия, rinbak@mail.ru

Исследованы долгопериодические колебания (периоды в несколько десятков минут) в нескольких активных областях (АО) 23 цикла солнечной активности в микроволновом диапазоне по данным радиогелиографа Нобейма на частотах 17 и 34 ГГц. Колебания радиоизлучения различных типов источников (пятенных, компактных и протяженных межпятенных (МПИ)) сопоставлены с колебаниями магнитных полей пятен соответствующих АО по данным космической обсерватории SOHO/MDI. Выявлены как общие периоды, так и различия в колебаниях различных компонент радиоизлучения АО. Более значимая корреляция между колебаниями радиоизлучения и магнитного поля наблюдается для пятенных источников и компактных МПИ. Обсуждается возможная интерпретация колебаний МПИ.

МИКРОВОЛНОВЫЕ И МАГНИТОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ ПЕРЕД БОЛЬШИМИ ВСПЫШКАМИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАТАН-600 И SDO В 2014 г.

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

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, vnborovik@mail.ru.

Приводятся результаты исследования эволюции трех активных областей (АО) (NOAA 11944, 12017 и 12192), в которых в январе, марте и октябре 2014 г. соответственно произошли большие вспышки (класса X по классификации GOES). Целью работы было выявление характерных изменений в микроволновом излучении и магнитографических характеристиках активных областей, свидетельствующих о подготовке сильных вспышек, которые можно использовать для разработки методов прогноза геоэффективных событий на Солнце. Анализ проводился на основе ежедневных многоволновых спектрально-поляризационных многоазимутальных наблюдений Солнца на РАТАН-600 в диапазоне 1.6–6.0 см и данных наблюдений космической обсерватории SDO, а также результатов наблюдений Солнца в наземных обсерваториях. Полученные результаты сопоставлены с ранее проведенными исследованиями на РАТАН-600 активных областей, в которых происходили большие вспышки, в частности, в 2011-2013 гг. (Abramov-Maximov *et al.*, Solar Phys., v.290, 53, 2015).

ГЕЛИОШИРОТНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФОТОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В 21-23 ЦИКЛАХ СОЛНЦА

Е.С. Вернова¹, М.И. Тясто¹, Д.Г. Баранов²

¹СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, Россия, helena@EV13934.spb.edu.

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия.

Гелиоширотное распределение фотосферных магнитных полей было рассмотрено на основе синоптических карт обсерватории Китт Пик (1976-2003 гг.). Проведено суммирование синоптических карт за весь исследуемый период для различных групп магнитных полей, отличающихся по напряженности (B). На основе суммарных синоптических карт были рассмотрены особенности широтного распределения фотосферного магнитного поля. Анализ суммарных синоптических карт позволил выделить четыре характерные группы магнитных полей: $B = 0 - 5$ Гс; $B = 5 - 15$ Гс; $B = 15 - 50$ Гс и $B > 50$ Гс. В пределах одной группы магнитные поля имеют общие черты широтного распределения, в то время как для разных групп характер широтного распределения заметно отличается. Каждая из рассмотренных групп полей связана с определенным проявлением солнечной активности. Проведенный анализ показал существование четкой связи величины магнитного поля и его широтной локализации: (а) от экватора до 10° – самые слабые поля ($0 - 5$ Гс); (б) в интервале $10^\circ - 40^\circ$ – самые сильные поля (больше 15 Гс – солнечные пятна и активные области); (в) в интервале $40^\circ - 60^\circ$ – самые слабые поля ($0 - 5$ Гс); (г) в узкой полосе широт $70^\circ - 80^\circ$ – магнитные поля от 15 до 50 Гс – полярные факелы; (д) высокоширотные области выше 60° – магнитные поля $5-15$ Гс – полярные корональные дыры. Определена широта, на которой достигается максимум в широтных профилях и построены временные изменения магнитного потока на данной широте для разных групп магнитных полей. Показано соответствие временных изменений магнитного потока каждой из перечисленных групп полей и циклических изменений солнечной активности. Рассмотрен вопрос о роли полей того или иного знака в структуре широтного распределения и определен дисбаланс положительного и отрицательного потоков разных групп полей.

(а) Слабые поля $B < 50$ Гс: для высоких широт (выше 40°) доминирующими полями в каждом полушарии являются те, знак которых совпадает со знаком полярного поля в этом полушарии. Для всей области высоких широт (от $+40^\circ$ до $+90^\circ$ и от -40° до -90°) знак дисбаланса совпадает со знаком полярного поля в южном полушарии.

(б) Сильные поля $B > 50$ Гс: для каждого из полушарий отдельно дисбаланс приэкваториальных широт (от 0° до $+40^\circ$ и от 0° до -40°) меняется с 22-летним циклом. Знак дисбаланса совпадает со знаком ведущих пятен в данной полусфере. Для всей зоны пятнообразования (от $+40^\circ$ до -40°) знак дисбаланса магнитных потоков в изменяется с 22-летним циклом также как и знак полярного поля в северном полушарии и определяется как фазой цикла (до или после инверсии), так и четностью солнечного цикла.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫХОДА НОВОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО СЕГМЕНТИРОВАНИЯ

А.А. Головки, И.И. Салахутдинова

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

Идентификация новых магнитных потоков методом мультифрактального сегментирования применена для изучения закономерностей эволюции активных областей и комплексов активности. Используются магнитограммы SOLIS, MDI SOHO и SOT Hinode. По наблюдениям активной области №10488 по NOAA 26-28 октября 2003 г., обнаружена значительная вариабельность участков нового магнитного потока с характерным временем 1-2 час. Уширение мультифрактального спектра в участках магнитограмм, соответствующих новому магнитному потоку, обуславливает его визуализацию в бинарной цифровой форме на сегментированных мультифрактальных изображениях, соответствующих минимальным фрактальным размерностям. По данным за 2010 – 2014 гг., исследованы некоторые закономерности выхода новых магнитных потоков в 24-м солнечном цикле. На всех этапах развития цикла, преобладает положительная корреляция временных вариаций площади новых магнитных потоков N- и S-полярности. Постепенное убывание коэффициента корреляции от 2010 к 2014 году можно объяснить прогрессирующим усложнением связей между активными областями, приводящим к кластеризации их в комплексы активности.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ НОВЫХ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВСПЫШЕЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

А.А. Головки

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

С учетом возрастания свидетельств в пользу большой роли, которую играет новый магнитный поток (НМП) в процессах генерации вспышек и других нестационарных явлений, развиваются методы его оперативной диагностики. В течение длительного времени основным методом обнаружения НМП был визуальный метод. В этом случае сопоставляются временные последовательности изображений фотосферы и хромосферы, а также серии магнитограмм, с целью обнаружения новых пятен и флоккулов, входящих в структуру НМП. Этот метод используется в проекте ЕКА и НАСА "Helioviewer", где в числе прочих параметров отображается обнаруженный НМП ("EF" – emerging flux) с привязкой по координатам к солнечному диску в картинной плоскости. В работе (Головки А.А., Салахутдиновой И.И., *Астрономический журнал*, 2012, Т. 89, С. 458) предложен новый метод идентификации НМП по его скейлинговым свойствам. Выполнено сравнение карт с расположением НМП по данным Helioviewer и по результатам автора, полученным методом мультифрактальной сегментации. В то время, как данные Helioviewer хорошо демонстрируют места зарождения НМП, данные автора хорошо отображают развитие НМП в центрах сложных вспышечно-продуктивных активных областей.

УЧЕТ ЭФФЕКТА ОБРАТНОГО ТОКА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО И МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

П.А. Грицык, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, pgritsyk@gmail.com.

Согласно современным представлениям энергия солнечной вспышки накапливается в виде магнитных полей в короне и выделяется в пересоединяющем высокотемпературном токовом слое. Электроны и протоны, ускоренные в токовом слое до энергий, намного превышающих тепловые энергии частиц в короне и хромосфере, порождают большие всплески излучения в микроволновом и жестком рентгеновском диапазоне. С целью объяснить результаты современных космических наблюдений солнечных вспышек предложена аккуратная аналитическая модель толстой мишени с обратным током. Современные кинетические модели, описывающие процесс распространения потоков ускоренных электронов в плазме короны и хромосферы Солнца, должны учитывать не только столкновения с тепловыми электронами и протонами плазмы, но и электрическое поле обратного тока. Их принципиальной особенностью, в отличие от одномерной классической модели толстой мишени, является двумерность в пространстве скоростей. В настоящей работе приведен расчет характеристик тормозного жесткого рентгеновского излучения, а также микроволнового гиротронного излучения солнечных вспышек. В модели учтены кулоновские столкновения, эффект обратного тока, захват высокоэнергичных электронов в магнитную ловушку. Проведено сравнение полученных результатов с данными космических наблюдений.

ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ СОБЫТИЙ ОТ МАГНИТНОЙ КОНФИГУРАЦИИ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

В.Н. Ишков

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

В третьей декаде октября 2014 г. на видимом диске Солнца проходила гигантская группа пятен ($S_p \max=2750$ мдп), в которой осуществились два периода реализации больших солнечных вспышек. Несмотря на значительное количество больших солнечных вспышек, достаточно мощных, они практически не дали корональных выбросов вещества и, как следствие, не дали возмущений в околоземном космическом пространстве ни в корпускулярном излучении, ни в геомагнитном поле. Это показывает, что магнитная конфигурация АО была достаточно простой и закрытой. Новые магнитные потоки всплывали внутри собственного магнитного поля АО, не раскрывая его. Проведённое сравнение с магнитной конфигурацией АО и комплексами АО, вспышечные события в которых были существенно геоэффективными, даёт основание вывести некоторые условия возможности выхода солнечных заряженных частиц больших энергий и межпланетных возмущений, ответственных за значимый рост геомагнитной возмущённости. Это открывает возможность раннего прогноза степени геоэффективности солнечных вспышечных событий по магнитным характеристикам АО.

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ МИКРОВОЛНОВОГО ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВСПЫШЕЧНО-АКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ОБЛАСТЯХ

Т.И. Кальтман, С.Х. Тохчукова

СПб ф САО, г. Санкт-Петербург, Россия, arles@mail.ru.

Высокое спектральное разрешение солнечного приемного комплекса РАТАН-600 в диапазоне 1.7-10 см, с пространственным разрешением 15 угл. сек. на 1.7 см, с одновременной регистрацией правой и левой круговой поляризации, позволяет диагностировать пространственные и поляризационные особенности излучения плазмы в солнечных активных областях на уровне верхней хромосферы и нижней короны. В последние годы появилось немало работ, показывающих, что во вспышечно-активных областях наблюдается инверсия знака поляризованного излучения, а также другие изменения структуры излучения, в предвспышечной и вспышечной фазах. Однако статистическая база таких работ, как правило, ограничивается 1-3 случаями, так как подробный анализ многоволновых данных это трудоемкая работа, так же как и ручной поиск каких-то особенностей в данных на достаточно длинных временных интервалах. Мы реализовали возможность автоматического поиска случаев инверсии поляризации через веб-интерфейс базы данных солнечных наблюдений РАТАН-600. В данной работе приведены результаты статистического анализа записей регистрации микроволнового излучения вспышечных активных областей за 2014 год. В статистику включены области, в которых происходили вспышки X и M классов вблизи моментов ежедневной записи регистрации излучения на РАТАН-600. Найденные в автоматическом режиме случаи инверсии были проанализированы вручную. Показаны некоторые примеры наблюдений изменения структуры поляризованного излучения. Обсуждается, как эти изменения могут быть связаны с физическими процессами нагрева плазмы солнечной короны, всплытия нового магнитного потока, перестроения структуры магнитного поля вспышечных активных областей и др.

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ РЕЖИМЫ ЭНЕРГИЗАЦИИ ПЛАЗМЫ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

В.А. Ковалев

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, vic.kov@yandex.ru.

Обсуждаются результаты исследований рентгеновского и радио излучения солнечных вспышек с использованием дифференциального метода. Обнаружено, что минимум временного масштаба разделяет быстрый и медленный (по сравнению с экспоненциальным законом) режимы энергизации (ускорения заряженных частиц и/или нагрева плазмы). Экспоненциальное поведение на фазе роста $u(t)$ отсутствует, источник степенного вида: $\propto u^\beta$ нелинейный: $\beta \neq 1$. При $\beta > 1$ возникает быстрый режим с обострением, когда $u(t)$ возрастает по гиперболическому закону. Минимум масштаба на фазе роста температуры совпадает с началом быстрого увеличения меры эмиссии, обусловленного взрывным «испарением» хромосферы, вызванным ускоренными частицами, высыпавшимися из ловушки после их задержки. В результате возрастающего радиационного охлаждения нагрев плазмы становится медленным. Предполагается, что наблюдаемый на ранней фазе вспышки эффект «уменьшения меры эмиссии» в быстром режиме обусловлен развитием температурной турбулентности. В результате локализации тепла в виде структур с уменьшающейся полушириной в режиме с обострением фактор заполнения вспышечного объема также уменьшается. Двухступенчатый режим ускорения электронов является

причиной наблюдаемого в микроволновом диапазоне двухступенчатого возрастания радиопотока. В рамках модели магнитотормозного оптически тонкого радиоисточника нерелятивистских электронов со степенным спектром быстрое возрастание радиопотока связывается с возрастанием в быстром режиме общего числа ускоренных электронов и/или ужесточением спектра. Из наблюдений радиовсплесков III типа в метровом диапазоне волн следует двухступенчатый механизм возбуждения плазменной турбулентности. Показано, что быстрый режим энергизации плазмы может быть обеспечен механизмом Ферми в магнитной ловушке, образованной перетяжками магнитной трубки.

ПРОЙДЕН ЛИ МАКСИМУМ 24 ЦИКЛА И ЕСЛИ ПРОЙДЕН ТО КОГДА?

В.И. Козлов, В.В. Козлов

ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, cosmoprognoz@mail.ru.

По прогнозам большинства исследователей Солнца, как отечественных, так и зарубежных, начало 24 цикла ожидалось в 2008 г. с последующим максимумом в 2011 г. Тем не менее, до сих пор нет однозначного ответа на вопрос: пройден ли максимум текущего цикла, и если пройден, то когда? Прохождение максимума нового цикла многими связывалось с ожиданиями регистрации «второго максимума» в числах Вольфа. Но в относительно «слабых» циклах возможна регистрация и более чем одного «провала Гневышего», т.е. регистрация более чем двух пиков в числах Вольфа. Не является исключением и текущий 24 цикл, «сбойный» или аномальный характер которого, прогнозировался нами по анализу динамики флуктуаций космических лучей в 2006 г. Действительно, по изучению динамики флуктуаций космических лучей в новом 24 цикле была выявлена *годовая* «волна переполусовки», которую можно считать признаком «слабого» цикла. Подобно тому, как это было выявлено нами в 20 цикле (для «обычных» циклов 21-23, характерна *полугодовая* волна). По нашим представлениям, именно наличие «волны переполусовки» определяет тонкую структуру 11-летнего цикла: его «двухвершинность» или «провал(ы) Гневышева» и известные «квазидвухлетние» вариации, а также резкое и глубокое понижение интенсивности космических лучей на завершающей стадии смены знака общего магнитного поля Солнца (1972, 1982, 1991 и 2001-2003 гг.). В текущем цикле, пики годовой «волны переполусовки» зарегистрированы по параметру флуктуаций космических лучей в 2010, 2011, 2012 и 2013 гг., что подтверждается данными прямых измерений параметров солнечного ветра. В таком случае, *с каким пиком годовой вариации* стоит соотнести прохождение максимума текущего цикла? Есть ли более надежный, в подобной ситуации, способ идентификации максимума такого цикла? Показано, что отождествление максимума текущего 24 цикла может быть уверенно сделано по регистрации *низких*, т.е. *диагностических* значений параметра флуктуаций космических лучей. Так, как это делалось нами и ранее для всех 4-х предыдущих циклов 20-23. В таком случае, фаза максимальной *спорадической* активности приходится на весну-лето 2012 г., когда были зарегистрированы низкие (диагностические) значения параметра флуктуаций космических лучей (<http://www.forshock.ru/predlong.html>). Наибольшее количество значительных потоков низкоэнергичных частиц и последующих мощных ударных волн в марте–июле 2012 г. подтверждают этот вывод. Точно также, по низким значениям параметра флуктуаций космических лучей определяется и «геоэффективная» ветвь спада текущего 11-летнего цикла, которая началась в 2013 и продолжается сейчас, в 2014 г.

ГИЛЬБЕРТ-ХУАНГ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ В ДВУХ ПОСЛЕДНИХ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

Д.Ю. Колотков, А.-М. Broomhall, В.М. Накаряков

University of Warwick, UK, D.Kolotkov@warwick.ac.uk.

В работе представлен спектральный анализ периодичностей в двух последних солнечных циклах магнитной активности с помощью преобразования Гильберта-Хуанга (ННТ). Исходные наблюдаемые сигналы пяти различных прокси солнечной активности: интенсивность излучения в радио диапазоне на длине волны 10.7 см, гелиосейсмический сдвиг частоты и сигналы площади солнечных пятен, записанные с полного солнечного диска и с северной и южной полусферы в отдельности, были разложены на внутренние эмпирические моды с помощью метода EEMD (Ensemble Empirical Mode Decomposition). Средний период каждой полученной моды был оценен из построенного для нее Гильберт-спектра. Найденные моды показывают хорошее физическое соответствие: в частности, моды с одним средним периодом, присутствующие одновременно в сигналах площади солнечных пятен с полного солнца и с одной из полусфер, осциллируют в фазе. Все оцененные таким образом периодичности можно условно разделить на три группы: короткие периодичности (с характерными периодами меньше 0.5 года), квази-двухлетние осцилляции (с периодами от 0.5 до 3.9 лет) и более длинные периодичности, например 11-летний цикл.

РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ФОРМИРОВАНИИ СПЕКТРА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОТОСФЕРЕ СОЛНЦА

А.В. Костров

ИПФРАН, г. Нижний Новгород, Россия, kstr@appl.sci-nnov.ru.

Проведено сравнение спектра распространенности химических элементов в атмосфере спокойного Солнца с величиной отношения массы этих элементов к их заряду (M/Z). Корреляция этих двух кривых позволяет предположить, что подфотосферные движения полностью ионизованной плазмы к поверхности звезды определяются электрическими полями. Электрически тяжелые элементы (большое M/Z), такие как Li, Be, B, F, Sc, Ti, V, Cr, Mn, не достигают поверхности Солнца и находятся под фотосферой. Спектр распространенности химических элементов в космических лучах, которые возникают из плазмы взорвавшихся оболочек сверхновых, показывает, что существенных аномалий в спектре ядер химических элементов внутри звезд не наблюдается.

СТРУКТУРА МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В ФАЗЕ МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.Г. Костюченко¹, Е.Е. Беневоленская^{2,3}

¹*НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Москва, Россия, irkost@itep.ru.*

²*ГАО РАН, СПГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.*

В работе использован каталог солнечных пятен обсерватории Гринвич, (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>), продолженный научным центром Маршалла, который содержит информацию о площадях пятен и об их Кэррингтоновских координатах, для выявления закономерностей динамики пространственно-временного распределения магнитных потоков солнечных пятен в фазе минимумов солнечной активности (СА). Данный каталог позволяет проанализировать 13 минимумов СА (начиная с 11 цикла), а содержащиеся в нем ежедневные данные дают возможность проследить не только динамику долгоживущих пятен, но и тех пятен, которые, как правило, появляются всего на несколько дней. В результате анализа данных оказалось, что во всех рассмотренных минимумах СА основное количество пятен появляется не на произвольных кэррингтоновских долготах (КД), а формируют одну или несколько «полос», наблюдаемых на протяжении всей фазы минимума. Средняя долгота этих полос смещается со временем в сторону больших значений. Предполагая, что такая структура магнитных потоков пятен формируется локальным источником под фотосферой (одним или несколькими), а долгота всплывания пятен соответствует текущей КД каждого источника, можно оценить скорость вращения источника. Она во всех рассмотренных случаях оказалась примерно равной скорости вращения экваториальной поверхности Солнца. Кроме того, анализ динамики площадей пятен в каждой из выделенных КД позволил рассмотреть свойства предполагаемых источников магнитных потоков пятен: их эффективную мощность, взаимное расположение, асимметрию между долготными полушариями с наибольшей и наименьшей суммарной площадью пятен, ее зависимость от уровня средней активности в минимуме, вклад каждого из солнечных полушарий. Оценка долготной асимметрии магнитных потоков пятен показывает, что генерация механизмом солнечного динамо (наряду с дипольной) неосесимметричной компоненты общего магнитного поля Солнца является характерной чертой фазы минимума СА. Мы обсуждаем также широтную динамику пятен, отождествляемых со «старым» циклом, перед появлением пятен, соответствующих «новому» циклу. Проводится сравнение с результатами, полученными ранее на основе магнитографических синоптических карт обсерватории Вилкокса.

МИНУТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ В МИКРОВОЛНОВОМ И РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ 06.05.2005

Е.Г. Куприянова, Х. Ратклиф

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, elenku@bk.ru.

Исследуются особенности микроволнового и рентгеновского излучений солнечной вспышки 06.05.2005. Используются данные Радиогелиографа (NoRH) и Радиополяриметров (NoRP) Нобеяма и данные спутника RHESSI по рентгеновскому излучению. Источник микроволнового излучения ассоциируется с корональной петлей с более сильным магнитным полем в южном основании и с более слабым – в северном. В течение импульсной фазы вспышки источники микроволнового излучения располагаются ближе к южному основанию петли. Источник на 17 ГГц появляется на 15 с раньше источника на 34 ГГц. При

этом, импульсные пики излучения на 17 ГГц и на 34 ГГц происходят одновременно. Отметим, что источники на 17 ГГц и на 34 ГГц разделены в пространстве на $5''-7''$. На заключительной фазе вспышки максимумы микроволнового излучения перемещаются на запад на $15''$. Сначала перемещается максимум на 34 ГГц, а затем – на 17 ГГц. В течение 23 минут заключительной фазы вспышки максимумы радиояркости на 17 ГГц и на 34 ГГц постепенно, без всплесков радиояркости, дрейфуют на север на $20''$. Методами вейвлет, корреляционного и Фурье анализа во временных профилях найдены квазипериодические пульсации (КПП) с периодами 30 с, 50–55 с, 80–90 с, 120–140 с. Спектральные компоненты с периодами 30 с, 50–55 с и 80–90 с присутствуют в интегральном сигнале NoRH на 17 ГГц в интенсивности и поляризации и в интенсивности на 34 ГГц, в потоках, зарегистрированных NoRP на частотах 9.4 ГГц, 17 ГГц и 34 ГГц, а также в рентгеновском излучении в диапазоне энергий 25–50 кЭв. КПП на импульсной фазе всплеска характеризуются большой амплитудой $\Delta F \approx 30\%$. КПП на фазе спада видны только в излучении на 17 ГГц, как в интенсивности, так и в поляризации. Они имеют на порядок меньшую амплитуду $\Delta F \approx 3\%$. Анализ пространственной структуры показал, что найденные КПП присутствуют только в источниках вблизи южного основания петли. Обсуждаются возможные причины найденных особенностей пространственной структуры КПП и динамики источника.

МИНУТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

Е.Г. Куприянова, В.Ф. Мельников, К. Шибата, А. Асаи, К. Шибасаки

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, elenku@bk.ru.

Исследуется квазипериодические пульсации (КПП) излучения вспышки 14 мая 2013 года. Анализируются данные радиогелиографа и радиополяриметров Нобеяма на частотах 17 ГГц и 34 ГГц. Используются методы корреляционного, Фурье и вейвлет анализа. Фурье анализ интегрального (пространственно неразрешённого) потока в течение всего интервала вспышки позволил выделить КПП с периодами порядка 50 с, 60 с, 80 с и 110 с. КПП с периодом 50 с обладают интересными особенностями. На фазе максимума всплеска видны две петли: компактная яркая и протяжённая более тёмная. Временные профили потоков излучения каждой из этих петель имеют характер затухающих синусоидальных осцилляций с характерным периодом 50 с. Более того, КПП в этих двух петлях происходят в противофазе. Найденные значения характерных периодов КПП согласуются с периодами медленных магнитозвуковых волн в наблюдаемых магнитных петлях. Обсуждаются другие возможные физические механизмы осцилляций микроволнового излучения.

ВАРИАЦИИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

В.С. Махмутов, Г.А. Базилевская, Ю.И. Стожков

ФИАН, г. Москва, Россия, makhmutv@sci.lebedev.ru.

В работе представлен краткий обзор результатов, полученных в последние годы в исследовании субмиллиметрового излучения Солнца. Основное внимание уделено следующим направлениям:

- (а) характеристикам излучения от активных областей и от солнечных вспышек;
- (б) особенностям временных вариаций солнечного излучения

(в) вариации солнечного субмиллиметрового излучения в 11-летнем цикле солнечной активности.

Дано краткое описание эксперимента по измерению солнечного терагерцового (субмиллиметрового) излучения, который планируется провести

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ТОРОИДАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА В ПЕРИОД СПАДА АКТИВНОСТИ

В.Л. Мерзляков, Л.И. Старкова

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, mvl@izmiran.ru.

Исследовались особенности изменения мощности генерации магнитного поля Солнца в течение 2007 года, когда солнечная активность уменьшалась от низкой (фаза цикла ≈ 0.25) до почти минимальной (фаза цикла ≈ 0.1). Искомые изменения определялись на основе расчетных оценок магнитных моментов источников крупномасштабного магнитного поля Солнца, величины которых зависят от напряженности тороидального магнитного поля в области его генерации. Величины магнитных моментов получали из сопоставления модельных построений корональной шлемовидной структуры с наблюдаемыми данными коронографа космического аппарата SOHO. В результате проведенных сопоставлений было установлено, что основные изменения среднемесячных величин магнитных моментов состояли в квазиполугодовой вариации с амплитудой около 40%. Выявлена также северо-южная асимметрия средних величин магнитных моментов с превышением в южной полусфере, которое доходило до 2-х кратного. Найденные изменения по величинам источников носят явно неслучайный характер, и это означает, что они вызваны вариацией генерации магнитного поля. Таким образом, в течение изучаемого годового периода мощность генерации значительно различалась по полусферам, а её изменения имели преимущественно квазипериодический характер.

СОЛНЕЧНОЕ ПЯТНО КАК ИНДИКАТОР ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

В.Л. Мерзляков

ИЗМИРАН РАН, г. Троицк, МО, Россия, mvl@izmiran.ru.

Проведен поиск уровня под солнечной фотосферой, где может располагаться источник магнитного поля активной области. Поиск осуществлялся на основе анализа модельных построений конфигурации магнитного поля на фотосфере. Для сопоставления расчетных конфигураций использовалась область тени солнечного пятна. Сопоставление проводилось по условию соответствия наблюдаемой зависимости между максимальной напряженностью магнитного поля в пятне B_{\max} и площадью S его тени. Оказалось возможным получить соответствие наблюдаемой зависимости $B_{\max} \propto S^{1/2}$ при расположении магнитного источника под активной областью на глубине 15–20 тыс.км, которую следует рассматривать как возможный интервал его местоположения.

ИЗМЕНЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ Fe/O В ПЕРИОДЫ ВОЗМУЩЕННОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПОТОКОВ СКЛ. ПРОЯВЛЕНИЯ FIR-ЭФФЕКТА В СОСТАВЕ СКЛ

Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц, В.М. Томозов

АФИФ РК НАН, г. Алматы, Казахстан, gennadii_minasya@mail.ru.

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

Для целого ряда мощных вспышечных событий (1997-2006 г.г.) с появлением солнечных космических лучей (СКЛ) на основе обработки данных с КА ACE, WIND были построены энергетические спектры ускоренных частиц в различных интервалах энергий (от 0.06 МэВ/нуклон до 75.69 МэВ/нуклон). Как правило, вспышки сопровождались корональными выбросами массы. В процессе развития событий были выявлены различные особенности поведения спектров частиц, возможно, связанные с проявлением разных механизмов ускорения. Получены количественные оценки относительного содержания Fe/O в различных интервалах энергий событий СКЛ на возмущенной стадии развития вспышечных потоков. Установлено, что по характеру изменений Fe/O потоки СКЛ представляют отдельный подкласс в постепенных событиях. Качественно описаны проявления FIR-эффекта в составе СКЛ в процессе их распространения.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ВДОЛЬ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ В СОБЫТИИ 19 ИЮЛЯ 2012 ГОДА

С.А. Кузнецов^{1,2}, А.С. Моргачев^{1,2}, В.Ф. Мельников²

¹*ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, a.s.morgachev@mail.ru.*

²*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gao.spb.ru.*

Проанализировано распределение степени круговой поляризации вдоль солнечной вспышечной петли в событии 19 июля 2012 года, используя данные радиогелиографа Нобеяма (NoRH). Обнаружены две одновременно наблюдаемых вспышечных петли, расположенных одна над другой. Установлено, что знак степени поляризации в области оснований петель остается постоянным ($R-L < 0$) на протяжении всего всплеска. В верхней части каждой из петель знак поляризации обратный по отношению к основаниям ($R-L > 0$) и также не меняется со временем. В двух противоположных ногах петель динамика поляризации – противоположна. От фазы роста до фазы спада радиовсплеска степень поляризации меняется с отрицательной на положительную в северной ноге петли и с положительной на отрицательную в южной. На основе моделирования кинетики нетепловых электронов и расчета их гиротронного излучения для петли изогнутой формы и произвольной ориентации предложено объяснение подобного поведения поляризации.

РАЗДЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМО СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

П.Г. Плеханов, Э. Н. Воробьева, С. С. Данилов

ГБОУ СПО СМК, г. Самара, Россия, skb.smk@yandex.ru.

В динамо Беккока, Лейтона и других моделях динамо солнечной активности принято, что в северном и южном полушариях Солнца наблюдаемые явления солнечной активности формирует единое динамо. Аналитический обзор наблюдаемых явлений показал, что явления южного полушария отличаются от явлений северного полушария как по времени зарождения, так и по продолжительности и полярности солнечных пятен. Наблюдается единая широта зарождения солнечных пятен и их смещение к экватору Солнца при ходе солнечной активности. В полушариях наблюдается отличие по времени явлений: преобразования полоидального магнитного поля (V_p - поле) в тороидальные поля (V_t - поле) и обращения солнечного магнитного диполя во время инверсии магнитного поля Солнца. В докладе обосновывается предположение о существовании отдельного динамо солнечной активности и о формировании наблюдаемых явлений в северном и южном полюсах Солнца [2]. Рассматривается механизм генерации слабого полоидального магнитного поля (V_p - поля) и формирования двух малых потоков плазмы в замороженной в магнитные силовые линии противоположной полярности в конвективной зоне северного и южного полушарий Солнца. Периодичность формирования и эволюции потоков плазмы определяет 11-и летние циклы солнечной активности. В период максимума солнечной активности наблюдается смена диполя Солнца, которая свидетельствует о зарождении в его полюсах малых потоков плазмы следующего 11-и летнего цикла солнечной активности противоположной полярности. Приводится схема зарождения малых потоков плазмы в конвективной зоне северного и южного полушарий Солнца, увеличения их до глобальных размеров и преобразования полоидального магнитного поля (V_p - поле), в тороидальное поле (V_t - поле). Показано смещение глобальных потоков к экватору за время их эволюции в ходе солнечной активности. Около экватора потоки плазмы уменьшаются, активность падает, а силовые магнитные линии потоков плазмы северного и южного полушарий Солнца противоположной полярности нейтрализуются. Наступает период минимума солнечной активности, и диполь прошедшего цикла обращается в нуль. В течении минимума развивается малый поток плазмы, который зародился в момент прошедшего цикла максимума солнечной активности и является диполем следующего цикла солнечной активности. Раздельное динамо объясняет: физику законов Швабе-Вольфа, Шперера и Дж. Хейла [1], смену 11-и и 22х летних циклов Солнечной активности; и приводит к новому представлению о строении конвективной зоны Солнца. Открытие гигантских струйных течений на раскаленной поверхности Солнца является подтверждением существования глобальных потоков плазмы в конвективной зоне [3].

[1] Витинский Ю.И. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ. М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1983.-192с.

[2] Плеханов П.Г. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ (раздельная динамо-модель смены 11 и 22-х летних циклов). Монография, Издательство Инкома-пресс, г. Самара, 2011-52с.

[3] Сообщение геофизики, Интернет от 18. 12. 2013г.

МЕТОД ПОИСКА ВСПЫШКЧНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В РАСЧЕТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ НАД АКТИВНОЙ ОБЛАСТЬЮ

А.И. Подгорный

ФИАН, г. Москва, Россия.

Численное магнитогиродинамическое моделирование над реальной активной областью показало образование токовых слоев в короне, в магнитном поле которого запасается энергия для вспышки. Распад токового слоя должен приводить к взрывному выделению энергии. Наблюдаемый в короне источник теплового излучения с выделением энергии $\sim 10^{31}$ эрг согласно электродинамической модели вспышки должен располагаться в токовом слое. Нагревание плазмы в слое должно происходить в результате диссипации магнитного поля слоя. Данные аппарата RHESSI показывают быстрый нагрев плазмы с концентрацией плазмы $\sim 10^{11}$ см⁻³ до температуры более тридцати миллионов градусов. При численном моделировании образования токового никаких предположений о механизме вспышки не делалось, все условия брались из наблюдений. Для задания граничных условий на солнечной поверхности использовались карты магнитного поля, получаемые прибором MDI аппарата SOHO. Расчеты начинались за несколько дней до вспышки, когда сильных возмущений в короне не было, и поэтому рассчитанное в короне потенциальное магнитное поле можно использовать для задания начального условия. Из-за сложности конфигурации магнитного поля над активной областью, не позволяющей отыскать токовый слой более простыми средствами, необходима разработка специального метода оперативного обнаружения вспышечных токовых слоев в магнитном поле в короне, которое находится численным моделированием. Метод поиска основан на свойстве токового слоя, согласно которому максимум абсолютной величины плотности тока располагается в его центре. В любой выбранной плоскости, которая как угодно может располагаться в пространстве в расчетной области, строятся линии уровня абсолютной величины плотности тока. На плоскость наносятся все положения локальных максимумов плотности тока в этой плоскости, а также проекции положений всех локальных максимумов плотности тока в пространстве на эту плоскость. Отмеченные точки располагаются в местах пересечения токовых слоев с выбранной плоскостью или соответствуют центрам токовых слоев. Для того, чтобы представить распределение плотности тока в пространстве, выбранная плоскость может перемещаться в перпендикулярном ей направлении с автоматической перестройкой линий уровней и положений максимумов плотности тока. Программа позволяет легко вывести подробную информацию о любой отмеченной точке максимума: значения координат в этой точке в любой выбранной системе координат и значения всех вычисляемых величин (вектора магнитного поля, плотности и температуры плазмы и т. д.) в этой точке. Для того чтобы выяснить, соответствует ли данная точка токовому слою или просто соответствует повышению плотности тока вследствие какого-либо возмущения, программа располагает возможностью построения конфигурации магнитного поля в окрестности выбранной точки в любой как угодно повернутой системе координат. Как правило, в первую очередь строится конфигурация магнитного поля в плоскости, содержащей выбранную точку максимума плотности тока и расположенной перпендикулярно вектору магнитного поля. В такой плоскости токовый слой должен быть выражен наиболее отчетливо. Разработанный вариант системы поиска в настоящее время используется для исследования физики вспышек.

АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ТЕОРИЕЙ ДИНАМО

П.А. Откидычев¹, Е.П. Попова²

¹ГАС ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, otkid@list.ru.

²МГУ, г. Москва, Россия, popovaelp@mail.ru.

В работе исследованы различные параметры "бабочек Маундера" и найдены зависимости между наблюдательными индексами активности солнечных циклов. На основе анализа наблюдательных данных для 12–23 солнечных циклов (Royal Observatory, Greenwich – USAF/NOAA Sunspot Data) было показано, что среднее арифметическое тангенсов углов наклона "бабочек" по северу и югу прямо пропорционально мощности цикла (коэффициент корреляции $R=0.66$). Для ядер в циклах 12–20 подобное соотношение выполняется с коэффициентом корреляции $R=0.69$. Средняя широта расположения "бабочки" в южном полушарии практически совпадает со средней широтой "бабочки" в северном полушарии для каждого цикла ($R=0.89$). В целом циклы с меньшей продолжительностью имеют больший угол наклона. Отношение площади ядер к площади пятен прямо пропорционально мощности цикла, при этом для групп в 12–17 циклах рост отношения площадей с ростом мощности больше, чем для групп в 18–20 циклах. Для 16–23 циклов мы нашли, что величины BT/L и S находятся в линейной зависимости друг от друга, где B – среднее магнитное поле, T – продолжительность цикла, S – мощность цикла, L – средняя широта солнечных пятен за цикл (среднее арифметическое от абсолютных величин средних широт по северу и югу). Эта зависимость может быть описана следующим уравнением: $S = 2539 - 0.89BT/L$. Мощность цикла имеет тенденцию уменьшаться с возрастанием амплитуды среднего магнитного поля в цикле. В целом получается, что большее число пятен в цикле соответствует меньшему магнитному полю. При прочих равных условиях большая мощность цикла S соответствует либо меньшему значению магнитного поля B , либо меньшей продолжительности цикла T , либо большей широте L . Это позволяет предположить, что на каждый цикл расходуется примерно одинаковая магнитная энергия, однако пути реализации магнитной энергии в каждом цикле могут быть различны. Так, повышенная пятнообразовательная активность в общем случае ведет к тому, что пятна будут генерироваться на более высоких широтах, но напряженность полей в пятнах будет невелика, а сам цикл будет скоротечным. Было получено, что нет никакой зависимости между любой парой отдельно взятых величин S , B , T и L . Таким образом, все четыре величины изменяются комбинированно. Мы рассматривали нелинейную модель динамо с меридиональной циркуляцией при типичных значениях параметров для Солнца: динамо-число $D \approx -10000$, амплитуда меридиональной циркуляции ≈ 0.5 модельных единиц (≈ 2 м/с) и коэффициент турбулентной диффузии $\beta \approx 1$. Численное исследование показало, что наблюдаемое отклонение от среднего значения широты может быть достигнуто при изменении амплитуды меридиональной циркуляции на $\Delta v \approx 0.1$ модельных единиц (отклонение от среднего значения 20%) или $\Delta \beta \approx 0.25$ (отклонение от среднего значения 25%). Наблюдаемое отклонение от среднего значения длительности цикла может быть достигнуто при изменении амплитуды меридиональной циркуляции на $\Delta v \approx 1.5$ модельных единиц (отклонение от среднего значения 300%) или $\Delta \beta \approx 0.05$ (отклонение от среднего значения 5%). Для получения наблюдаемого отклонения от среднего значения амплитуды тороидального магнитного поля должно меняться динамо-число D ($\Delta D \approx 2000$, или 20%), или меридиональная циркуляция v ($\Delta v \approx 2.5$, или 500%) или коэффициент турбулентной диффузии β ($\Delta \beta \approx 0.01$, или 1%).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И УФ ЛИНИЙ С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ ПО ДАННЫМ ТЕЛЕСКОПОВ IRIS И NST

В.М. Садыков^{1,2}, А.Г. Косовичев³⁻⁵, И.Н. Китиашвили^{4,5}

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, viacheslav.sadykov@gmail.com.

²МФТИ, г. Долгопрудный, МО, Россия.

³BBSO NJIT, Нью-Джерси, США.

⁴Стэнфорд, Калифорния, США.

⁵ИЦ NASA Ames, Калифорния, США.

В работе представлены результаты моделирования линии Н-альфа (6563А) и линий магния Mg II k (2796 А) и Mg II h (2083А) для динамических моделей солнечной атмосферы в условиях отклонения от локального термодинамического равновесия (NLTE). Данное моделирование важно для интерпретации совместных наблюдений космического орбитального телескопа IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph, NASA) и телескопа NST (New Solar Telescope) на обсерватории BBSO (Big Bear Solar Observatory). Среди доступных программ для расчетов переноса излучения в условиях NLTE мы выбрали численный код RH, в котором реализуется метод Rybicki-Hummer, как наиболее подходящий для моделирования профилей перечисленных выше линий. По итогам тестовых расчетов были определены наиболее подходящие модели атомов магния и водорода, а также рассмотрено влияние ионизации на профили линии. Результаты трехмерного численного моделирования радиационных МГД процессов в солнечной атмосфере, полученные с помощью программ Bifrost и SolarBox, использованы в качестве входных данных для программы RH. По результатам спектрального моделирования рассматривается проявление атмосферных процессов, в частности, распространение МГД-волн и высокоскоростных плазменных струй в верхней хромосфере, в динамических спектрах линий магния и водорода, и обсуждается диагностика этих процессов по наблюдательным данным.

УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ В СКИН-СЛОЕ ЭРУПТИВНОГО МАГНИТНОГО ЖГУТА НА СОЛНЦЕ И НАБЛЮДАЕМЫЕ ВОСХОДЯЩИЕ ПОТОКИ ПЛАЗМЫ

Г.Н. Кичигин, Л.И. Мирошниченко, В.И. Сидоров, С.А. Язев

ИГУ, г. Иркутск, Россия, yamantaka@yandex.ru.

Основания крупномасштабных эруптивных магнитных жгутов, наблюдаемые в хромосферных линиях и ультрафиолете в ряде крупных вспышек, соотносятся с восходящими потоками плазмы. Теоретически рассматривается ускорение затравочных частиц электрическим полем, $\sim 0.01-0,1$ В/см, до энергий ~ 100 МэВ в скин-слое эруптивного жгута в короне, приводящее к высыпанию частиц в основания жгута с интенсивным испарением хромосферной плазмы. Магнитное пересоединение между быстрорастущим жгутом и нижележащей корональной аркадой приводит к смещению скин-слоя поперек магнитного поля в короне. Этот эффект фиксируется на хромосфере по расширяющимся характерным эмиссионным структурам. Область высыпания ускоренных частиц в хромосферные основания магнитного жгута расширяется изнутри наружу, что обеспечивает потоки испаряющейся хромосферной плазмы в корону вдоль силовых магнитных линий эруптивного жгута в течение импульсной фазы вспышки. В предположении, что Бомовский коэффициент определяет диффузию магнитного поля, получена оценка толщины скин-слоя, $\sim 5 \times 10^6$ см, в котором существует ускоряющее электрическое поле. Ускоренные частицы,

поглощенные плотными слоями атмосферы, вызывают излучение в оптическом, жестком рентгеновском диапазоне и линии захвата нейтрона. В случае отражения некоторой доли частиц от магнитного барьера (пятна) они уходят в межпланетное пространство и могут быть зарегистрированы на орбите Земли.

РАДИАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СОЛНЕЧНОМ ПЯТНЕ ПО ДАННЫМ SDO/HMI

И. Живанович, А.А. Соловьев, В.В. Смирнова

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, vvsvid.smirnova@yandex.ru.

Пространственное распределение вертикального (по отношению к поверхности фотосферы) магнитного поля в солнечном пятне играет очень важную роль при моделировании температурно-плотностных характеристик пятна, при расчете его общей энергетики, при исследовании колебаний магнитного поля пятен и в целом ряде других задач. В литературе обсуждается ряд типичных распределений, типа формулы Броксона, но общепризнанного, «канонического» профиля продольного поля в пятне на сегодня не существует. Магнитограммы, получаемые прибором HMI космической обсерватории SDO, благодаря их высокому пространственному разрешению, дают хорошую возможность приблизиться к решению этой задачи. Нами было рассмотрено 17 правильных (круглой формы) униполярных солнечных пятен, находившихся вблизи центра солнечного диска и не показывавших в течение одного–двух дней каких-либо изменений своей конфигурации или напряженности магнитного поля. На магнитограммах каждого из этих пятен было построено по шесть радиальных разрезов. Напряженность поля всякий раз нормировалась на максимальное значение поля в пятне, все расстояния измерялись в единицах радиуса тени пятна. Показано, что усредненный по всем пятнам радиальный профиль продольного поля в тени пятна хорошо описывается формулой для магнитного монополя, глубина погружения которого близка к радиусу тени пятна.

ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В 11-ТИ ЛЕТНЕМ И ВЕКОВОМ ЦИКЛАХ АКТИВНОСТИ

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

ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, k.tlatova@mail.ru.

Выполнен анализ долговременных измерений магнитного поля солнечных пятен по данным обсерватории Маунт Вилсон, на основе оцифровки напряженности магнитных полей B и площади ядер солнечных пятен и пор в период 1918-2014 гг. Проведено сопоставление с данными наблюдений магнитных полей Крымской астрофизической обсерватории в период 1957-2014 гг. и данными магнитографов SOHO/MDI и HMI/SDO. Показано, что на масштабе времени 100 лет, для больших пятен ($S > 20$ мдп) существенные долговременные изменения напряженности магнитных полей отсутствуют. Для малых пятен и пор в измерениях существуют артефакты, связанные с инструментальными эффектами. Анализ изменений напряженности магнитных полей пятен в цикле активности для пятен одинаковой площади не выявил изменений с фазой солнечного цикла.

ОБ ЭВОЛЮЦИИ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ И ПРЕИМУЩЕСТВЕННОМ УСКОРЕНИИ ИОНОВ ^3He

Е.В. Троицкая, И.В. Архангельская, А.И. Архангельский

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, troi@srd.sinp.msu.ru.

Предложенный нами ранее метод исследования солнечных вспышек посредством анализа генерированного ими γ -излучения в нейтронной линии 2.223 МэВ, был применен к исследованию гамма-излучения от мощной солнечной вспышки 20.01.2005 (КОРОНАС-Ф/АВС-Ф/СОНГ-Д). Выявлена эволюция ряда параметров вспышки за время гамма-излучения: (а) спектр ускоренных во вспышке частиц изменяется от более мягкого в период роста и максимума потока гамма-излучения в линии 2.223 МэВ к более жёсткому в период спада; (б) найден характер динамики уплотнения подвспышечной области; (в) обнаружены не только повышенное отношение концентраций изотопа ^3He к водороду $n(^3\text{He})/n(^1\text{H})$ в области генерации гамма-линии 2.223 МэВ (1.4×10^{-4} , в отличие от обычного $(2 \div 4) \times 10^{-5}$), но и эволюция величины этого отношения от 2×10^{-5} в период начальной фазы, роста его до 1.4×10^{-4} в период максимума и до 2.0×10^{-4} на спаде. Известно, что область, в которой происходит излучение в линии 2.223 МэВ, располагается в нижней хромосфере, где концентрация вещества составляет от $\sim 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и более, а также и глубже, в фотосфере при плотностях $\geq 1.5 \times 10^{16}$. Далее основное внимание мы уделяем изучению потоков ^3He в процессе вспышки, исходя из предположения о возможном преимущественном ускорении ионов гелия-3 в области ускорения частиц (корона или верхняя хромосфера). Для доказательства этого предположения выполнены расчёты кулоновских потерь энергии ускоренными ионами ^3He при прохождении их от области ускорения до областей потери частицами энергии вплоть до тепловой, поскольку именно при тепловых энергиях сечения реакции безрадиационного захвата нейтронов гелием-3, как реакции, конкурирующей с радиационным захватом нейтронов водородом, становятся достаточными для заметного деформирования временных профилей потоков гамма-квантов в линии 2.223 МэВ (что и наблюдается по данным прибора СОНГ). Расчёты показали, что ионы ^3He с начальными энергиями 5 МэВ и 10 МэВ теряют энергию до тепловой над фотосферой, в области $\sim 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а 30- и 50-МэВ-ные ионы гелия-3 – во внутрифотосферных слоях. То есть, ионы ^3He , действительно, достигают при тепловых энергиях тех уровней в атмосфере Солнца, от которых могут уже наблюдаться заметные изменения временного профиля излучения в рассматриваемой гамма-линии. Для подтверждения вывода об области ускорения, как первоначальном источнике ионов ^3He , рассчитаны также скорости нарастания потоков ^3He со временем в первой и второй половинах вспышки. Соответственно, средние скорости возрастания потоков составляют 0.046 отсчётов/с² и 0.018 отсчётов/с². Резкое возрастание потока в первой временной части вспышки и не столь резкое в последующей свидетельствует о характере проникновения ионов в область формирования линии и, возможно, об импульсном ускорении ионов, в частности, гелия-3, в процессе этой вспышки. Рассмотрены и другие данные, подтверждающие преимущественное ускорение ионов ^3He в рассматриваемом событии, в частности, это регистрация широкой слабой линии с нижней границей 20.58 МэВ, а также данные по прямым измерениям содержания He-3 в солнечном ветре и в составе энергичных солнечных частиц при помощи КА ACE, SAMPEX и GOES-11. Итак, в настоящей работе показано, что ионы гелия-3, первоначально ускоренные в процессе того или иного, возможного в случае преимущественного ускорения ^3He механизма ускорения на турбулентности, затем распространяются и накапливаются в области фотосферы и нижней хромосферы. В перспективе, уточнение критериев возможных плазменных резонансных процессов ускорения во вспышках, обогащённых изотопом ^3He , может способствовать выбору механизма ускорения в конкретной вспышке.

ЭФФЕКТ РАДИАЛЬНЫХ БМЗ КОЛЕБАНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИРОСИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

Д.В. Филатов¹, В.Ф. Мельников²

¹ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия.

²ГАО (Пулковская) РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

При анализе влияния быстрых магнито-звуковых (БМЗ) волн на характеристики радиоизлучения вспышечных петель обычно ограничиваются рассмотрением модуляции эффективности гиросинхротронного (ГС) излучения нетепловых электронов, возникающей из-за колебаний магнитного поля в петле по величине и направлению. В петлях с плотной плазмой учитывают влияние колебаний плотности плазмы, обусловленное эффектом Разина. В настоящей работе учтен новый эффект, связанный с модуляцией БМЗ волнами концентрации нетепловых электронов в каждой точке магнитной ловушки. Модуляция обусловлена перераспределением вдоль петли захваченных в ловушку энергичных электронов, вызванным изменением положения точек отражения этих электронов из-за локального увеличения/уменьшения магнитного поля. Анализ влияния этого эффекта на характеристики ГС радиоизлучения проведен в общем виде, на основе решения нестационарного кинетического уравнения Фоккера-Планка с переменной во времени функцией источника и неоднородным вдоль петли и переменным во времени магнитным полем. Показана важная роль бетатронного ускорения и ускорения Ферми 1-го рода.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ НА ИОНОСФЕРУ

Шейнер О.А., Выборнов Ф.И., Першин А.В., Фридман В.М., Рахлин А.В.

ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, rjj@nirfi.sci-nnov.ru

Ранее авторы предложили процедуру обнаружения влияния КВМ на дифференциальные параметры верхней ионосферы Δf_0F_2 , как более чувствительный по сравнению с традиционными метод. Для проверки обнаруженного соотношения мы использовали в предлагаемом исследовании данные критических частот f_0F_2 , определяемые из единообразных ионограмм, полученных с современного цифрового ионозонда CADI. Это ионозонд установлен на загородном полигоне ФГБНУ НИРФИ "Васильсурск" (под Нижним Новгородом), программа регулярных наблюдений позволяет получать ионограммы хотя бы раз в 1 мин. Точность определения критической частоты меньше ± 50 кГц. Подтверждено обнаруженное ранее влияние корональных выбросов массы (КВМ) на дифференциальные параметры верхней ионосферы Δf_0F_2 по данным критических частот f_0F_2 за сентябрь-октябрь 2013г., определяемых из единообразных ионограмм, полученных с современного цифрового ионозонда CADI. Существует отрицательная производная во временном поведении отклонения f_0F_2 после возникновения КВМ типа петля. Приведенные результаты расширяют перспективы использования ионосферных данных, полученных в ходе мониторинга, для рассмотрения физических процессов в ионосфере и верхних слоях атмосферы, распространения электромагнитных волн в различных диапазонах в ионосфере и верхних слоях атмосферы.

О ЧАСТОТЕ ОТСЕЧКИ ИЗГИБНЫХ ВОЛН ТОНКОЙ МАГНИТНОЙ ТРУБКИ

Ю.Т. Цап, А.В. Степанов, Ю.Г. Копылова

НИИ «КРАО», Крым, нгт Научный.

ГАО РАН, С-Петербург, yur_crao@mail.ru.

В приближении тонкой изолированной магнитной трубки рассмотрено распространение изгибных мод в условиях солнечной адиабатической атмосферы. Проведен критический анализ теоретических подходов, предложенных Рютовым и Рютовой (1976), Спруитом (1981), Мусиелаком и Ульмшнейдером (2001), а также Лопиным и Нагорным (2013). Обсуждается необходимость учета радиальной компоненты магнитного поля тонких магнитных трубок и частоты отсечки для изгибных волн, которые могут играть важную роль в нагреве верхней атмосферы Солнца.

ВАРИАЦИИ ФОНОВОГО КОРОТКОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА И ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 2010-2014ГГ.

Г.С. Иванов-Холодный, В.Е. Чертопруд

ИЗМИРАН, Россия, vechert@list.ru.

По данным SDO/AIA за 2010-2014гг анализируются *одновременные* вариации фонового коротковолнового излучения (ФКИ) Солнца j_λ ($\lambda=94, 131, 171, 193, 211, 304, 335, 1600$ и 1700\AA) и индексов солнечной активности: радиоизлучения $F_{10.7}$ и чисел солнечных пятен по полушариям. Используются “синоптические” карты AIA [1], величины $F_{10.7\text{Adj}}$ [2], R'_N и R'_S [3], взятые с шагом 1° . Для выявления асимметрии север-юг в ФКИ вычисляются средние значения излучения J_λ отдельно для северной и для южной частей карты ($J_{\lambda N}$ и $J_{\lambda S}$), используя смежные квадратные окна со сторонами 200 пк ($\sim 30^\circ$). Как и в [4], реализовано несколько вариантов оценок средних J_λ , при разных ограничениях, накладываемых на минимальное и максимальное значения величин j_λ . Поскольку изменения ограничений принципиально не сказались на последующих результатах, приводятся результаты лишь для одного из вариантов. В дальнейшем вместо ежедневных оценок анализировались ряды их 27^d скользящих средних. Длина анализируемых рядов $J_{\lambda N}$, $J_{\lambda S}$, R'_N , R'_S и $F_{10.7}$ превысила 1600^d . Для 2х групп величин $\{J_{\lambda F}=J_{\lambda S} + J_{\lambda N}, R'_F=R'_S + R'_N, F_{10.7}\}$ и $\{J_{\lambda A}=J_{\lambda S} - J_{\lambda N}, R'_A=R'_S - R'_N\}$ проведен корреляционный анализ. Первая группа (исключая $F_{10.7}$) описывает излучение или пятнообразование в королевской зоне Солнца, а вторая – асимметрию север-юг. Как следует из рассмотрения графиков и корреляционного анализа, вариации индексов солнечной активности $F_{10.7}$ и R'_F и излучения активной короны $J_{\lambda F}$ ($\lambda=94, 131, 193, 211\text{\AA}$) тесно связаны. Все 15 коэффициентов парной корреляции для шести величин $I_6=\{F_{10.7}, R'_F, J_{94F}, J_{131F}, J_{193F}, J_{211F}\}$ превосходят 0.82, а их среднее значение равно 0.90. Связь ослабевает при переходе к излучению активных областей короны (335\AA): средний коэффициент парной корреляции между J_{335F} и I_6 составляет 0.58. Вариации спокойной короны (J_{171F}) и индексов солнечной активности практически независимы: средний коэффициент корреляции между J_{171F} и I_6 не превышает 0.15. Наконец, между вариациями солнечной активности и вариациями излучения хромосферы (304\AA) и фотосферы (1600 и 1700\AA) наблюдается антикорреляция: среднее значение 6 коэффициентов парной корреляции между $\{J_{304F}, J_{1600F}, J_{1700F}\}$ и $\{R'_F, F_{10.7}\}$ составляет -0.57 . Так выглядит иерархия связей ФКИ и солнечной активности. Анализ второй группы величин указывает на тесную связь величин $I_9=\{J_{94A}, J_{131A}, J_{171A}, J_{193A}, J_{211A}, J_{304A}, J_{335A}, J_{1600A}, J_{1700A}\}$, описывающих асимметрию север-юг. Все 36 коэффициентов парной корреляции для I_9 превышают 0.35, а их среднее значение составляет 0.74. Среднее

значение 9 коэффициентов корреляции между R'_A и I_9 равно 0.54. Итак, вариации ФКИ Солнца тесно связаны с вариациями индексов солнечной активности. Наблюдаемая в пятнообразовании Солнца асимметрия север-юг проявляется и в ФКИ Солнца. Изменения асимметрии на разных длинах волн связаны между собой и с изменениями асимметрии пятнообразования. В разных диапазонах ФКИ прослеживается сходная временная и пространственная структура, детали которых возможно уточнятся после увеличения рядов наблюдений SDO/AIA в несколько раз. Авторы признательны коллективу сотрудников SDO/AIA за предоставленные данные. Работа поддержана грантами РФФИ 13-02-01183-а и 14-02-00308-а.

[1] <http://jsoc.stanford.edu/data/aia/synoptic/>

[2] <http://celestrak.com/SpaceData/SpaceWx-format.asp>

[3] <http://sidc.oma.be/sunspots/bulletins/monthly/>

[4] Г.С. Иванов-Холодный, В.Е. Чертопруд. Вариации фонового излучения Солнца в рентгеновском (94Å) и дециметровом (10.7 см) диапазонах в 2010-2013гг. Сборник тезисов 9й конференции «Физика плазмы в солнечной системе», 2014г, ИКИ РАН, с.26.

ПРОГНОЗ 2009 ГОДА 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА 2014 ГОД

О.В. Чумак

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, chuo@yandex.ru.

В 2007 году нами был предложен новый метод прогноза циклов солнечной активности, и сделан прогноз (в 2009г. опубликован в Res. Astrn&Astroph, 2010) на текущий 24 солнечный цикл. Метод прогноза основан на обнаруженной эмпирической закономерности в положениях изображающих точек в координатах: высота максимума предыдущего цикла - энтропия последующего. Зная высоту максимума текущего цикла, и воспользовавшись этой закономерностью, можно оценить энтропию будущего цикла. Показано, также, что энтропия циклов хорошо коррелирует с высотой их максимумов, что дает возможность получить оценку высоты максимума будущего цикла. В свою очередь, известная корреляция между высотой максимума и продолжительностью ветви роста (правило Вальдмайера), позволяет сделать оценку эпохи максимума, если известен момент минимума. Кроме того, найденная закономерность позволяет обнаружить циклы-аналоги, ближайšie к прогнозируемому циклу, и, таким образом, получить синоптический прогноз всех основных особенностей будущего цикла. Эпигнозы показали оправдываемость этого метода прогноза на уровне 86%. В докладе представлен метод прогноза и показан выполненный 2009 году прогноз на 24 солнечный цикл ряда чисел Вольфа и сравнение его с данными наблюдений на ноябрь 2014г. Оценить качество прогноза можно, только сравнив этот прогноз с прогнозами других авторов. В литературе фигурируют десятки прогнозов. Большинство авторов в основном ограничиваются лишь оценками значений двух параметров - высотой максимума и датой его наступления. В этих работах высота максимума в числах Вольфа разными авторами оценивалась в пределах от 185 до 42 и ниже. Наш прогноз дал практически точное значение высоты максимума и, с точностью до одного месяца дату его наступления (май-июнь 2014г). Кроме того, наш метод позволяет дать прогноз значений чисел Вольфа не только в максимуме, но и на всех фазах, то есть оценить все основные особенности прогнозируемого цикла.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОВ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ЗВЁЗД В ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДЕ С УЧЁТОМ ЕЁ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Н.А. Юхина, Е.П. Попова

МГУ, ФФ, г. Москва, Россия, na.jukhina@physics.msu.ru.

основан на учете совместного действия альфа - эффекта и дифференциального вращения. Применение таких представлений позволяет получить осциллирующее решение в виде волны тороидального поля, распространяющегося от средних широт к экватору. На основании такого подхода были построены динамические системы для однослойной среды с учетом меридиональных потоков и толщины конвективной зоны звезды. В предположении, что в конвективной оболочке звезды присутствуют две динамо волны, одна из которых сонаправлена, а другая – противоположно направленная меридиональному потоку, были построены динамические системы для двухслойной среды с учетом меридиональных потоков и толщины конвективной зоны звезды. Показано, как в таких моделях возможно воспроизведение двойного цикла (квазидвухлетнего на фоне 22-летнего), а также наличие режима, аналогичного одновременному присутствию квазидвухлетнего, 22-летнего и 100-летнего циклов. В работе исследовано поведение динамо-волн в рамках нелинейного динамо с учетом толщины конвективной зоны, коэффициента турбулентной диффузии, меридиональной циркуляции и амплитуд альфа-эффекта и дифференциального вращения. Численное исследование данной модели показало, что существуют режимы, такие как осцилляции, васцилляции, динамо-всплески, аналогичные двойному и тройному циклам, наблюдаемым на солнце. Если источники динамо находятся на разной глубине конвективной зоны и действуют с разной интенсивностью, то это приводит к появлению смешанного цикла за счёт того, что в верхнем слое конвективной зоны движение динамо-волны противоположно меридиональным потокам. Это ведет к торможению распространения тороидального поля и генерации медленных осцилляций. В более глубоких слоях направления распространения динамо-волны и меридиональных потоков совпадают, в результате чего возникают быстрые осцилляции магнитного поля. За счет этого суммарный вклад двух осцилляций с разными частотами соответствует появлению квазидвухлетних циклов на фоне 22-летних. Были построены и проанализированы баттерфляй - диаграммы для полоидальной и тороидальной компонент магнитного поля и спиральности для всех этих режимов.

АНАЛИЗ ПРОФИЛЕЙ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ КОРОНЫ

Г.А. Порфирьева, Г.В. Якунина

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

Анализы профилей корональных линий могут дать ценную информацию для таких нерешенных проблем, как нагрев короны и ускорение солнечного ветра. В качестве причин, вызывающих асимметрию профилей рассматриваются движения в петельных структурах, солнечный ветер, начинающийся в основании короны, волны, а также спикюлы II типа. Но до сих пор вопрос нагрева короны и понимание асимметрии линий остаются открытыми. Начиная с 1970 г. в EUV- линиях переходной области спокойного Солнца систематически наблюдали красное смещение (Brekke, 1999), значение средней скорости $\sim 5-10 \text{ км с}^{-1}$. Было установлено, что величина красного смещения, увеличивается с повышением температуры, а затем резко уменьшается. Недавние измерения солнечного УФ- излучения (SOHO)

показывают, что в переходной области и нижней короне линии имеют синие смещения, скорости до 105 км с^{-1} . В УФ-линии (CIV) наблюдаются турбулентные движения со скоростями до 450 км с^{-1} . На спектрограммах SOHO (линия 1402 \AA Si IV) выделены элементы со скоростями до 120 км с^{-1} и таких элементов, наблюдаемых на всем Солнце ~ 560 . Вопрос о существовании заметных скоростей в солнечной короне до сих пор является спорным. Наш метод исследования интерферометрический. Установка с эталоном Фабри-Перо была разработана и создана в ГАИШ и впервые использована при наблюдении затмения 1965 г. Интерферограмма – это аналог спектрограммы с очень близким наложением порядков интерференции. Были получены интерферограммы в зеленой ($\lambda 5303$) и красной корональных линиях ($\lambda 6374$). Наблюдения показали, что профили корональных линий часто широкие и асимметричные. Отдельные узелки и детали профилей интерпретировались нами как доплеровские смещения, связанные с небольшими структурами в короне, скорости которых достигали 100 км/с . Поле скоростей в короне оказалось достаточно сложным. Наблюдалась как синяя так и красная асимметрия линий. Синяя асимметрия зеленой корональной линии также была обнаружена по наблюдениям с эталоном Фабри-Перо во время затмения (Raju, 2010, 20011) и на Большом Внезатменном Коронографе Саянской обсерватории (БВК) (Тягун, 2009, 2010). Но в работе (Тягун, 2012) получен результат прямо противоположный – преимущественная красная асимметрия линии FeX 6374 во внутренней короне над активными областями.

СЕКЦИЯ «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ГЕЛИОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТРЕХМЕТРОВАЯ КОЛОНКА ЛУННОГО ГРУНТА (Mission Apollo 17), ПОТЕРЯВШАЯ ГЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ОТБОРА ГРУНТА

Г.С. Ануфриев

ФТИ им. А.Ф.Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, anufriev.mass1@mail.ioffe.ru.

Мы рассмотрим информацию, полученную при исследовании колонки лунного грунта, доставленной американской экспедицией «Аполлон 17» в 1972 г. на предмет возможности проведения датировки колонки и реставрации древних солнечных корпускулярных потоков. Одной из целей последней лунной американской экспедиции «Аполлон 17» являлось получение длинной (трехметровой) колонки лунного грунта. Главным условием при получении колонки явилось стремление сохранить ненарушенность колонки грунта, то есть ненарушенность стратиграфии пластов (слоев) грунта, а также преодоление механической трудности бурения в космосе. На Луну был доставлен буровой агрегат с электрическим приводом, который питался от аккумуляторной батареи. Вес установки составлял ~ 14кг. Применен был шнеко-колонковый метод бурения, который позволяет очищать скважину от измельченной породы. Грунтонос (труба), изготовленная из титанового сплава, имела внешний диаметр 2,5 см и собиралась на Луне из отрезков трубок длиной около 40 см. Мотор электробур (мощность 430 вт) позволял вращать трубу (грунтозаборник) и шнековое устройство со скоростью 280 оборотов в минуту. При этом труба испытывает также 2270 ударов в минуту, что сообщает грунтоносу вибрацию и способствует его погружению в толщу грунта. Грунтонос с трехметровой колонкой грунта по своим габаритам не помещался в возвращаемый модуль, поэтому был разобран на Луне на три секции. Заметим, что в процессе бурения и наращивания грунтоноса отобранные первоначальные порции поверхностного и приповерхностного слоя грунта проталкиваются от начала трубы до её трехметрового конца нижерасположенными порциями забираемого грунта. Этот процесс, как и вибрация колонки, должен приводить к частичному перемешиванию слоев грунта. Таким образом, главное условие ненарушенности стратиграфии слоев грунта при отборе колонки выполнить не удалось. Вторым недостатком отбора пробы явился не учет влияния повышения температуры металлического грунтоноса буровой установки на формируемый керн. Повышение температуры керна происходит в результате трения грунтоноса, приводимого в движение электромотором (430 вт). Нагрев неизбежно приводит к потере грунтом летучих компонентов, в первую очередь гелия [1]. Явление потерь гелия, которое проявилось при анализе опубликованных изотопных данных [2], делает невозможным реставрацию древних потоков солнечного ветра [3]. Отмеченные особенности отбора колонки грунта «Аполлон 17» затрудняют также определение возраста колонки. Расчеты показывают, что лунный грунт этого лунного региона существенно моложе исследованного нами грунта «Луна-24» и возраст американской колонки составляет по нашим предварительным расчетам (других нет) ~ $500 \cdot 10^6$ лет. Скорость накопления реголита a около $0,5 \cdot 10^{-6}$ см/год значительно выше скорости накопления лунного грунта из места посадки автоматической станции «Луна-24».

[1]. Ануфриев Г.С. Эффект скачковой диффузии изотопов гелия из образцов лунного грунта//ФТТ. 2010. Т.52. № 10. С. 1921-1924.

[2]. Pepin R.O., Dragon J.C., Johnson N.L. et al. Rare gases and Ca, Sr, Ba in Apollo 17 drill-core fines//Proc. Lunar Sci. Conf. 6th. Houston. 1975. pp. 2027-2055.

[3]. Ануфриев Г.С. Поток и изотопный состав гелия древнего солнечного ветра//КИ. 2010. Т.48. № 1. С.102-108.

СВЯЗЬ МЕЖДУ КВАЗИ-ДВУХЛЕТНИМИ ОСЦИЛЛЯЦИЯМИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

**Г.А. Базилевская, М.С. Калинин, М.Б. Крайнев, В.С. Махмутов,
А.К. Свиржевская, Н.С. Свиржевский, Ю.И. Стожков**

ФИАН, г. Москва, Россия, gbaz@rambler.ru.

Наблюдаемые вариации галактических космических лучей (ГКЛ) более чем на 90 % обусловлены 11-летней (доминирующей) и квази-двухлетней модуляцией солнечной активностью. Квази-двухлетние осцилляции (КДО) солнечной активности являются важной характеристикой солнечного динамо и обладают рядом наблюдаемых свойств, которые влияют на состояние гелиосферы и на интенсивность ГКЛ. К их числу относятся практически постоянное присутствие КДО, нестабильность периода и амплитуды, модуляция 11-летним циклом. Однако, прямая корреляция между КДО в солнечной активности и в ГКЛ невысока, т.к. на интенсивность ГКЛ действует открытый магнитный поток Солнца, который также демонстрирует КДО, но не когерентные с другими индексами солнечной активности. В работе рассмотрены КДО в ГКЛ на орбите Земли, которые хорошо коррелируют с КДО в индукции гелиосферного магнитного поля (ГМП). Показано, что периоды КДО в ГКЛ не являются устойчивыми, аналогично периодам КДО в солнечной активности. Рассмотрена связь между ступенчатой модуляцией ГКЛ и КДО, а также между КДО и эффектом Гневышева. Наилучший (отрицательный) коэффициент корреляции между КДО в ГКЛ и КДО в ГМП наблюдается при запаздывании КДО в ГКЛ по отношению КДО в ГМП от 0 до 2 месяцев. Запаздывание не зависит от знака гелиосферного магнитного поля, но имеется тенденция к улучшению корреляции в периоды $A > 0$ (коэффициент корреляции $R \approx -0.8$) по сравнению с периодами $A < 0$ ($R \approx -0.7$).

ВЫСОКОШИРОТНАЯ ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ И ТУРБУЛЕНТНЫМИ ОБЛАСТЯМИ, СОПРОВОЖДАЮЩИМИ МАГНИТНЫЕ ОБЛАКА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Н.А. Бархатов¹, Е.А. Ревунова², А.Б. Виноградов¹

¹*ННГПУ, г. Нижний Новгород, Россия, nbarkhatov@inbox.ru.*

²*ННГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия.*

Исследуется связь высокоширотной геомагнитной активности с ударными волнами и турбулентными областями, сопровождающими магнитные облака солнечного ветра. Для этого сопоставляется динамика параметров межпланетной среды в магнитных облаках с динамикой аврорального AL-индекса и Dst-индекса, характеризующего глобальную геомагнитную возмущенность. Изучение быстропротекающих суббуревых процессов выполняется с помощью минутных данных о компонентах межпланетного магнитного поля, векторе электрического поля, концентрации, скорости, температуре солнечного ветра, а также полярного AL-индекса и Dst-индекса (часовые данные). Обращено внимание на необходимость учета существования оболочки у магнитного облака для более точной оценки интенсивности геомагнитной бури по методике краткосрочного прогноза [Бархатов и др., 2011]. В работе рассмотрено 13 выбросов солнечной плазмы, определенных в литературе и

по каталогам как магнитные облака, имевшие оболочки [Ермолаев и др., 2009; Barkhatov et al., 2014]. Сопоставление параметров межпланетной среды в магнитных облаках с динамикой геомагнитных индексов, проводилось с учетом времени переноса выброса от спутника до границы магнитосферы. Время задержки рассчитывалось отдельно для каждого события, как среднее значение на интервале, содержащем ударную волну и оболочку облака. В результате проведенного исследования установлено, что первоначальным источником как высокоширотной, так и глобальной геомагнитной активности, обычно является оболочка магнитного облака. Суббуревая активность непосредственно на ударной волне отмечена только для двух облаков, имевших особенно высокую скорость переноса: 707 и 984 км/с. Оболочки магнитных облаков всегда становятся источниками как минимум двух суббурь. Суббури продолжают появляться и далее в теле магнитных облаков. Для глобальной геомагнитной активности оболочка облака, сама по себе, редко становится источником сильных возмущений. Классические интенсивные и интенсивные двух-трех шаговые глобальные геомагнитные бури наиболее часто вызываются комбинацией оболочки и тела облака. Слабые бури могут вызываться оболочками облаков. Таким образом установлено, что изменения параметров околоземной среды на ударной волне и в следующей за ней оболочке магнитного облака становятся источником суббуревой активности и дают старт глобальной магнитной буре, развитие которой обеспечивается уже параметрами тела магнитного облака.

Бархатов Н.А., Ревунова Е.А., Левитин А.Е. Краткосрочный прогноз интенсивности геомагнитных бурь, ожидаемых при воздействии магнитных облаков на магнитосферу Земли // Сб. Солнечно-земная физика. 2011. вып. 19. С. 40-45.

Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина, И.Г., Ермолаев М.Ю. Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976 – 2000 г. // Космические исследования. 2009. Т.47. № 2. С. 99.

N. A. Barkhatov, A. E. Levitin, and E. A. Revunova. Geomagnetic Storm Intensity Forecast Caused by Magnetic Clouds of Solar Wind // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2014.V.54. N.6. P. 718–726.

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

Л.З. Бикташ

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, lilia_biktash@mail.ru.

Проведены исследования годовых вариаций глобальной температуры воздуха, геомагнитных вариаций и параметров солнечного ветра в связи с вариациями космических лучей в 18-23 циклах солнечной активности (СА). Поскольку измерения солнечного ветра на 1 АЕ в некоторых циклах СА проводились с большими перерывами или полностью отсутствовали в 18 цикле СА, геомагнитные индексы, которые коррелируют с параметрами солнечного ветра, имеют неоспоримое преимущество для восполнения пробелов в измерениях солнечного ветра. В этих целях мы использовали Dst индекс. Годовые вариации космических лучей со станций Moscow-IZMIRAN, Haleakala и Climax сравнивались с изменениями глобальной температуры воздуха. Важный вывод этих исследований заключается в том, что глобальная температура воздуха, как и космические лучи, модулируется солнечной активностью, проявления которой наблюдаются в солнечном ветре, ММП и геомагнитных вариациях. В работе впервые показано, что в годы максимумов СА глобальная температура воздуха повышается, а в годы минимумов СА понижается и составляет $\pm 0.1^{\circ}$ С. Этот вывод подтверждает предложенный Пудовкиным и Распоповым механизм воздействия галактических и солнечных космических лучей на прозрачность атмосферы, включая стимулирование усиления облачного покрова.

ИСТОЧНИКИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

И.С. Веселовский^{1,2}, А.Т. Лукашенко¹

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия, veselov@decl.sinp.msu.ru.

Приводится классификация физически различных и однотипных источников солнечного ветра по относительной величине больших и малых безразмерных масштабных параметров в них. Таких независимых параметров может быть несколько и даже порядка десятка в зависимости от способов МГД и кинетического описания, а число комбинаций значительно больше. Некоторые из источников хорошо известны и изучены, но большинство из них пока еще даже качественно не описано в литературе, так что их предстоит исследовать. Важными недостающими звеньями в описании и понимании физических процессов, формирующих неоднородные и нестационарные потоки солнечного ветра, являются индукционные и потенциальные электрические поля, а также геометрия магнитных полей и степень открытости источников по потокам энергии и вещества. Следует различать локальные и нелокальные источники вещества и энергии для солнечного ветра с различной топологической связностью в короне.

СВЯЗЬ ДИНАМИКИ МАГНИТНОЙ БУРИ С ТИПОМ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Ю.И. Ермолаев, Н.С. Николаева, И.Г. Лодкина, М.Ю. Ермолаев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, yermol@iki.rssi.ru.

На основе данных по D_{st} индексу (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>) и нашего каталога крупномасштабных типов солнечного ветра, созданного с использованием базы OMNI за период 1976 – 2000 г (<ftp://www.iki.rssi.ru/pub/omni>), исследуется временной ход D_{st} индекса во время магнитных бурь, генерированных четырьмя крупномасштабными типами солнечного ветра: (1, 2) телами выброса корональной массы (Interplanetary CME (ICME) – магнитными облаками (Magnetic Cloud, MC) и Ejecta, (3, 4) областями сжатия перед быстрым солнечным ветром (Corotating Interaction Region, CIR) и перед телом ICME –Sheath. Временной ход измеренного D_{st} индекса и скорректированного на величину давления D_{st}^* индекса аппроксимировался линейной зависимостью от интегрального электрического поля ($\sum E_y$), динамического давления (P_d), и уровня флуктуаций (sB) межпланетного магнитного поля (ММП). Сравниваются результаты моделирования для обоих индексов. Точность моделирования мало зависит от вида индексов, а коэффициенты связи величин индексов и интегрального электрического поля зависят от типа солнечного ветра: они выше для областей сжатия CIR и Sheath, чем для тела ICME. Кроме того, анализ показывает, что величина скорости нарастания бури $|D_{stmin}|/\Delta T$ (где ΔT – длительность главной фазы бури) коррелирует с длительностью фазы восстановления для бурь, генерированных CIR и Sheath, в то время как для ICME такая корреляция, по-видимому, отсутствует. Это может означать, что для бурь, генерированных CIR и Sheath, длительность фазы восстановления коррелирует со средней величиной интегрального электрического поля $\langle \sum E_y \rangle$ на главной фазе бури, и эта связь слаба для ICME-бурь из-за низкого коэффициента связи между величиной индекса и величиной интегрального электрического поля. Работа поддержана Программой Президиума РАН №22 и грантом РФФИ № 13-02-00158 а.

КОРОТИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

А.И. Ефимов¹, Л.А. Луканина¹, Л.Н. Самознаев¹, И.В. Чашей²,
М.К. Бёрд^{3,4}, М. Петцольд⁴

¹ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, Россия, efimov@ms.ire.rssi.ru.

²Пушчинская РО АКЦ ФИАН, Россия.

³ИА им. Аргеландера Боннского университета.

⁴ИИОС Кёльнского университета.

В периоды с 04.10 по 30.10.2010 г. и 25.12.2010 г. по 27.03.2011 г. во время верхнего соединения космических аппаратов (КА) ROSETTA и MARS EXPRESS были осуществлены многочисленные эксперименты по двухчастотному двухтрассовому радиозондированию околосолнечной плазмы высокостабильными когерентными сигналами S- и X-диапазонов. При проведении экспериментов наземный комплекс излучал в сторону КА сигнал X-диапазона, стабильность частоты которого обеспечивалась водородным стандартом. На КА формировались и излучались в сторону Земли два когерентных сигнала S- и X-диапазонов. На нескольких наземных пунктах измерялись частоты сигналов, а также дифференциальная частота этих сигналов, которая определяется вариациями интегральной электронной концентрации на трассе *КА-Наземный пункт*. Спектральная обработка полученных данных позволила найти радиальные зависимости среднеквадратичных значений флуктуаций частоты в обоих диапазонах и дифференциальной частоты в интервале прицельных расстояний от 5 до 40 радиусов Солнца R_s . Найденные зависимости аппроксимируются степенным законом с показателями степени 1.6...2.1 и характеризуют фоновую составляющую частотных флуктуаций. Анализ экспериментального материала, полученного методом радиозондирования в 2010-2011 гг., позволил обнаружить 6 событий, характеризующихся сильным (до 12 раз) увеличением интенсивности флуктуаций по сравнению с фоновой. Транзиенты наблюдались 12.10, 25.10, 31.12.2010 г., 27.01, 10.02, 09.03.2011 г. как на восточном, так и на западном лимбах, на гелиоцентрических расстояниях (6...30) R_s . Установлено, что разница во времени между событиями, характеризуемыми повышенным уровнем частотных флуктуаций, равняется либо $n \cdot 0.5T$, либо $m \cdot T$, где T – синодический период вращения Солнца ($T \approx 27$ суток), n и m – целые числа. Этот факт свидетельствует о том, что все 6 возмущений обусловлены одной коротирующей структурой, пересекающей радиотрассу *КА-Наземный пункт* как во время захода КА за Солнце, так и при выходе. Время существования такой структуры превышает 148 дней (5.5 синодических периодов T). Установлено, что возрастания флуктуаций частоты, наблюдавшиеся при зондировании восточных областей сверхкороны Солнца, сопровождаются, как правило, увеличением концентрации плазмы вблизи орбиты Земли с запаздыванием 4...6 суток. Наиболее сильным проявлением солнечной активности вблизи орбиты Земли было резкое возрастание электронной концентрации от величины $N_0 = 5 \text{ см}^{-3}$, соответствующей невозмущенным условиям, до значений $N_{\text{max}} = 72 \text{ см}^{-3}$, зарегистрированных приборами космического аппарата ACE 6 января 2011 г. Это событие было связано с 12-кратным увеличением интенсивности флуктуаций частоты радиоволн, зондировавших околосолнечную плазму 31 декабря 2010 г. в области, расположенной к востоку от Солнца на дистанциях около 32 радиуса Солнца.

НАБЛЮДЕНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЛОТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Г.Н. Застенкер, И.В. Колоскова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, gzastenk@iki.rssi.ru.

В работе описываются результаты изучения малых (размером порядка тысячи км) неоднородностей солнечного ветра (СВ) на основе сопоставления одновременных измерений с высоким временным разрешением потока ионов СВ на двух, специальным образом разнесенных, космических аппаратах (КА). При этом было установлено, что при хорошем совпадении, в среднем, значений плотности ионов СВ, измеренных на двух КА, время от времени встречаются непродолжительные (порядка десятка минут) участки, на которых значения плотности протонов и/или ионов гелия на двух КА значительно (от 30% до нескольких раз) отличаются. Было показано, что эти отличия могут быть интерпретированы как прохождения мимо только одного из двух КА сгустка плазмы с повышенной (или пониженной) плотностью или с повышенным (пониженным) содержанием ионов гелия. Для нескольких десятков подобных событий проведены оценки размеров указанных сгустков и частота их встречаемости при различных условиях в солнечном ветре.

РАСSEЯННОЕ СОЛНЕЧНОЕ ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЕ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ ГЕЛИОСФЕРЫ: АНАЛИЗ ДАННЫХ АППАРАТА ВОЯДЖЕР-1

О.А. Катушкина, В.В. Измоденов, Д.Б. Алексашов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, okat@iki.rssi.ru.

Работа посвящена анализу данных с космического аппарата Вояджер-1 по интенсивности рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения. Начиная с 2003 г., измерения проводились в одном направлении близком к направлению навстречу набегающему потоку межзвездной среды. Измеренная на Вояджере-1 интенсивность практически постоянна в период 2004-2011 гг., а затем убывает с 2011 по 2013 гг. Известно, что в августе 2012 г. аппарат Вояджер-1 пересек гелиопаузу (поверхность, отделяющую плазму солнечного ветра от заряженной компоненты плазмы межзвездной среды) и вышел в межзвездное пространство. Это означает, что наблюдаемое в данных уменьшение интенсивности в 2011 г. может быть связано с приближением к гелиопаузе. А именно, как предсказывается теорией (Varanov & Malama, JGR, 1993), за гелиопаузой присутствует, так называемая, водородная стенка – резкое увеличение концентрации межзвездных атомов водорода. Водородная стенка образуется за счет накопления атомов водорода, рожденных в результате перезарядки на замедленных перед гелиопаузой межзвездных протонах. Водородная стенка приводит как к дополнительному рассеянию Лайман-альфа фотонов, так и к дополнительному поглощению рассеянных фотонов. Однако, тем не менее, стоит ожидать, что наличие водородной стенки может проявляться в измеряемой на Вояджере-1 интенсивности. Это открывает возможность диагностики распределения межзвездных атомов водорода в области гелиосферного ударного слоя, которое не измеряется напрямую. Однако, наблюдаемое на Вояджере-1 поведение интенсивности не предсказывается ни в одной численной модели границы гелиосферы. Мы провели систематически анализ данных Вояджера-1 с использованием современной трехмерной кинетико-МГД модели взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой, а также модели переноса излучения. Интенсивность, полученная в модели, падает с расстоянием быстрее, чем в данных наблюдений. Проведено исследование влияния различных параметров в распределении межзвездных атомов водорода (скорости,

температуры, профиля концентрации) на поведение интенсивности рассеянного излучения. Показано, что для объяснения данных Вояджера необходимо предположить наличие дополнительной компоненты атомов водорода, которая может соответствовать гелиосферным атомам, рожденным в результате перезарядки в солнечном ветре. Рассеянные на таких атомах фотоны имеют большой доплеровский сдвиг относительно центра линии, из-за чего они практически не поглощаются в гелиосфере. Это дает возможность уменьшить скорость падения интенсивности с расстоянием.

О ПРИЧИНАХ И МЕХАНИЗМАХ ОБРАЗОВАНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ГЕЛИОСФЕРЕ

М.Б. Крайнев

ФИАН, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru.

В гелиосфере, окружающей Солнце области солнечного ветра и магнитных полей, развиваются процессы, генетически связанные с обеими ветвями активности Солнца - тороидальной и полоидальной. В результате в наблюдаемых в гелиосфере характеристиках - интенсивности и анизотропии - галактических космических лучей (ГКЛ) также присутствуют как сильное изменение в противофазе с пятенной активностью Солнца (11-летний цикл), так и вариация в фазе с изменением полярности высокоширотных солнечных магнитных полей (22-летний цикл). Основными механизмами образования пятенного цикла в характеристиках ГКЛ считаются их диффузия в нерегулярных гелиосферных магнитных полях (ГМП) и конвекция и замедление в расширяющемся солнечном ветре, а магнитный цикл связывают с дрейфом частиц в неоднородном ГМП. В докладе будут проанализированы причины образования этих представлений и расчётным путём обоснована альтернативная точка зрения, что в образовании обеих вариаций, по крайней мере, интенсивности ГКЛ велика роль магнитного дрейфа частиц. Кроме того, обсуждаются возможные механизмы вклада 22-летнего процесса (магнитный дрейф) в 11-летнюю вариацию интенсивности ГКЛ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ НА РАССТОЯНИЯХ ОТ 3.5 ДО 16 СОЛНЕЧНЫХ РАДИУСОВ ПО ДАННЫМ КА STEREO

А.В. Кудрявцева, Д.В. Просовецкий

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

Динамические параметры солнечного ветра (СВ) по данным внеатмосферных коронографов неоднократно определялись разными авторами [1,2,3] по движению неоднородностей, которые перемещаются вместе с потоками стационарного СВ. Такие неоднородности наблюдаются за лимбом на всех позиционных углах и выглядят как более яркие по отношению к фону особенности. В докладе анализируются параметры 47 особенностей, имевших эллипсовидную форму и гетерогенную по яркости внутреннюю структуру. Было найдено, что размеры неоднородностей составляли от 0.35 до 1.35 в радиальном и от 0.03 до 0.08 солнечных радиусов в поперечном направлении. Значения скоростей находились в диапазоне от 44 до 918 км/с, скорость отдельных неоднородностей

могла испытывать значительные изменения с ускорениями от -1.8 до 1.1 км/с^2 . Произведенная из отношения средней скорости к радиальному размеру оценка времени формирования неоднородностей составила от 20 минут до часа. Найденные размеры и время формирования неоднородностей согласуется с временем жизни супергрануляционных ячеек. Измеренные ускорения обоих знаков могут быть объяснены магнитогидродинамическими силами, действующими на потоки СВ, формированием турбулентности на фронтах потоков. Наличие групп частиц с существенно различными скоростями в потоках СВ вблизи Солнца приводит к характерной форме изменений скоростей СВ на орбите Земли с крутым передним фронтом и дальнейшим медленным спадом.

[1] N.R. Sheeley et al., Measurements of flow speeds in the corona between 2 and 30 R_{Sun} /Ap.J., 484:472-478, 1997 July 20.

[2] Y.-M. Wang et al., Origin of streamer material in the outer corona/ Ap. J., 498:L165–L168, 1998 May 10.

[3] S.I. Jones, J.M. Davila, Localized plasma density enhancements observed in STEREO COR1/ Ap.J. 2009. Vol. 701. Issue 2. P.1906–1910.

НАСКОЛЬКО ЭФФЕКТИВНО ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ К ФИЗИКЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ? КОНКРЕТНЫЕ СЛУЧАИ

С.А. Гриб¹, С.Н. Леора²

¹ГАО РАН, Пулково, СПб, Россия, sagrib@gmail.com.

²СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, leora2008@mail.ru.

Магнитогидродинамическое (МГД) приближение успешно применяется к описанию поведения космической плазмы при характерном размере задачи $L \gg r_i$, много большем протонного радиуса Лармора. При этом роль столкновений между частицами будет играть межпланетное магнитное поле, связывая заряженные частицы друг с другом. МГД методы позволяют корректно описывать макроскопические явления в межпланетном пространстве, самосогласованно связывая заряженные частицы и магнитное поле через обмен энергией. Обобщённое решение Римана, в частности, упрощает рассмотрение вторичных волн в магнитослое при линеаризации уравнений гиперболического типа и позволяет детально описать решения классических краевых задач (Коши, Гурса и смешанную). Также описывается возникновение часто наблюдаемой в солнечном ветре обратной ударной волны и магнитного плато в магнитослое. Законы сохранения и условия эволюционности при использовании ударных поляр и метода пробного расчёта при справедливости действия теоремы Лэкса упрощают решение обобщённой проблемы Римана-Кочина о распаде произвольного разрыва. Данный подход позволяет описывать различные структурные области возмущений в солнечном ветре: ударные волны, разрывы по направлению, магнитные облака и магнитные дыры. МГД-моделирование находит широкое применение при изучении взаимодействия подобных плазменных неоднородностей между собой и с магнитосферой Земли. Большинство теоретически полученных МГД результатов подтверждаются данными непосредственных наблюдений, поведённых на космических аппаратах типа WIND, ACE, Geotail, Voyager-2, SDO и других. Работа осуществлялась при частичной поддержке Программой 22 Президиума РАН и со стороны гранта РФФИ 14-01-00335а.

БЫСТРЫЕ ВАРИАЦИИ ПОТОКА ЭНЕРГИЧНЫХ ИОНОВ ВБЛИЗИ ОКОЛОЗЕМНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

А.А. Петрукович, Т. Инамори, О.М. Чугунова,

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, apetruko@iki.rssi.ru,

По наблюдениям проектов Спектр-Р/Плазма-Ф (прибор МЭП) и THEMIS (SST) обнаружены быстрые вариации потоков энергичных ионов вблизи околоземной ударной волны, как в солнечном ветре, так и в магнитослое с периодами 10 – 30 секунд в широком диапазоне энергий от 4 кэВ до нескольких сотен кэВ. Построен каталог более сотни событий. Синхронность колебаний на значительно различающихся энергиях не позволяет соотнести данный феномен с ранее описанными явлениями резонансного взаимодействия отраженных ионов с фронтом ударной волны. Колебания обычно наблюдались в форшоке наклонной ударной волны и за ней, в магнитослое, при повышенной скорости солнечного ветра. Произведен также анализ пространственной структуры колебаний по одновременным наблюдениям на нескольких спутниках THEMIS.

ЭКСПЕРИМЕНТ ФИЛА-РОМАР – ПЛАЗМЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КОМЕТЫ 67P/ ЧУРУМОВ-ГЕРАСИМЕНКО

**А. Ремизов, Г-У. Аустер, И. Апати, Г. Бергхофер, М. Хильхенбах,
К-Х. Форнасон, Г. Херендал, Ф. Хейниш, Е. Курт, В. Магнес,
У. Мочман, И. Рихтер, Х. Рассел, А. Прзикленк, К. Швингеншу,
К-Х. Глассмайер**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, tolia.remizov@gmail.com.

В работе приводится краткое описание плазменной аппаратуры РОМАП, установленной на спускаемом аппарате ФИЛА Европейского космического проекта РОЗЕТТА на поверхность кометы 67P/Чурум-Герасименко, и первые прямые измерения потоков ионов и электронов плазмы кометы и солнечного ветра сразу после посадки.

РОЛЬ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ОСТРОВОВ В УСКОРЕНИИ ЧАСТИЦ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ДО СВЕРХТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГИЙ

О.В. Хабарова¹, G.P. Zank^{2,3}, G. Li², V.V. Zharkova⁴, O.E. Malandraki⁵

¹*ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, habarova@izmiran.ru.*

²*CSPAR, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL 35805, USA.*

³*Department of SS, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL 35899, USA.*

⁴*Department of Mathematics and Information Sciences, Northumbria
University, Newcastle upon Tyne, NE2 1XE, UK.*

⁵*IAASARS, National Observatory of Athens, GR-15236 Penteli, Greece.*

Обсуждается влияние процесса динамики (слияния и сжатия) магнитных островов в солнечном ветре на ускорение частиц. Средне- и мелкомасштабные магнитные острова (с характерным размером <0.1 а.е.) повсеместно возникают в солнечном ветре в результате турбулентности и нестационарных процессов, таких как неустойчивости и магнитное пересоединение. Магнитные острова отчетливо идентифицируются по антикорреляции

магнитного поля и плотности и по вращению магнитного поля. Было показано (Zank et al., ApJ, 2014), что в результате их динамики и локального магнитного пересоединения возникает дополнительное электрическое поле, перманентно ускоряющее частицы, что находит отражение в степенном спектре частиц. Аналитически полученный наклон степенного спектра зависит от Альфвеновского числа Маха как $\alpha = -(3 + M_A)/2$ (Zank et al., ApJ, 2014). Следует учитывать, что M_A варьируется во времени и пространстве, в частности, демонстрируя резкие изменения в окрестности токовых слоев/гелиосферного токового слоя (ГТС). Как было показано Cartwright & Moldwin (JGR, 2010), мелкомасштабные магнитные острова особенно часто встречаются близи ГТС, что отражает турбулентную природу плазмы в окрестности данного образования (Khabarova et al., ApJ, submitted; Xu et al., ApJ, 2015). По мультиспутниковым наблюдениям обнаружено, что наличие магнитных островов ассоциируется с локальным ускорением частиц до энергий порядка кэМ-МэВ при наличии специфических замкнутых конфигураций в солнечном ветре, что приводит к так называемым “local SEP events”. По данным STEL в сочетании с *in situ* измерениями плазменных параметров показано, что одной из таких конфигураций является мелкая складчатость (плиссировка) гелиосферного токового слоя (Khabarova et al., ApJ, submitted). Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 14-02-00769.

Khabarova O., Zank G.P., Li G., le Roux J.A., Webb G.M., Dosch A., Zharkova V.V. and Malandraki O.E., Small-scale magnetic islands in the solar wind and their role in particle acceleration. Part 1: Dynamics of magnetic islands near the heliospheric current sheet. Submitted to ApJ, 2014.

Xu F., Li G., Zhao L., Zhang Y., Khabarova O., Miao B., le Roux J., Angular distribution of solar wind vector magnetic field at 1 AU. The Astrophysical Journal, V.79, in press, 2015.

Zank G.P., le Roux J.A., Webb G.M., Dosch A., and Khabarova O. Particle acceleration via reconnection processes in the supersonic solar wind, The Astrophysical Journal, 797, 1, 28 (18pp), 2014.

ГЛОБАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТУРБУЛЕНТНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МАКСИМУМЕ 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ НА ЧАСТОТЕ 111 МГц

**И.В. Чашей, В.И. Шишов, С.А. Тюльбашев, И.А. Субаев,
В.В. Орешко, С.В. Логвиненко**

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия.

Представлены результаты наблюдений межпланетных мерцаний на модернизированном радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц в 2013 г. Наблюдения проводились в режиме мониторинга. Диаграмма радиотелескопа имеет 96 лучей и высокую чувствительность, что позволяет измерять мерцания порядка 5 000 компактных радиоисточников в течение суток. Приведены примеры двумерных суточных карт распределения уровня мерцаний. Анализ двумерных карт, усредненных по недельным и месячным интервалам, показывает, что глобальная пространственная структура солнечного ветра в максимуме солнечной активности сильно переменна и в среднем близка к сферически симметричной. Выявлена западно-восточная асимметрия в распределении уровня мерцаний, которая указывает на присутствие внутри орбиты Земли пространственных структур спирального типа.

АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В НЕСКОЛЬКИХ ТОЧКАХ

А.Ю. Шестаков, О.Л. Вайсберг, Ю.М. Голубева

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sartiom1@yandex.ru.

Ранее нами были исследованы аномалии (HFA), наблюдавшиеся спутником Интербол-1. В рассмотренных аномалиях, отобранных по признакам большей длительности и развитой структуры, были выделены характерные области, рассмотрены собственные скорости плазмы в теле образований и рассмотрены вопросы энергетического баланса. В докладе представлены результаты, полученные при исследовании нескольких аномалий горячего потока (HFA), зарегистрированных группировкой спутников CLUSTER. Измерения плазмы и магнитного поля в нескольких областях одного образования дают существенно большие возможности для исследования пространственной структуры явления. Для анализа были выбраны события, зарегистрированные одновременно несколькими спутниками CLUSTERa. Проведён анализ вертикальной структуры по доступным плазменным данным (для двух аппаратов) и данным магнитного поля (для 4-х аппаратов). Предпринята попытка оценить размер образования и изменение структуры HFA в зависимости от расстояния от ударной волны.

FAST MEASUREMENTS OF SOLAR WIND PARAMETERS: CONTRIBUTION TO TURBULENCE AND IP SHOCK STRUCTURE INVESTIGATIONS

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

¹*Charles University, Prague, Czech Republic.*

²*SRI RAS, Moscow, Russia, gzastenk@iki.rssi.ru.*

The paper presents interplanetary (IP) shock and solar wind turbulence measurements by the BMSW instrument onboard the Spektr-R project. Investigations of a formation of low-Mach-number quasi-perpendicular shocks shows that: (1) the ion transition scale determined from direct measurements of plasma moments (speed, temperature, and density) are of the same order as the ramp thickness determined from the magnetic field and (2) the ion transition scale is directly proportional to the ion thermal gyroradius; it was found to be ~ 3.2 in a broad range of solar wind and shock parameters, (3) the wavelengths of both upstream and downstream wave packets frequently observed around these shocks conserve over the spacecraft separation, (4) in the frequency range of 0.5–5 Hz, their wavelengths are directly proportional to the shock ramp thickness that is controlled by the ion thermal gyroradius, and (5) the phase shift between density and temperature variations within downstream wave packets is often about 90 deg. As a contribution to solar wind turbulence study, a statistical analysis of ~ 5800 frequency spectra of the solar wind density fluctuations in the range of 0.001–5 Hz (corresponding spatial scales 50– 5×10^5 km) reveals that: (a) the spectrum consists of three segments divided by two breakpoints; (b) breakpoint locations are controlled by the gyrostructure frequency, (c) each segment can be described by a power-law function with a spectral index that corresponds to the MHD scale through the first segment, followed by a plateau, and the third segment which can be associated with kinetic turbulence; (d) the values of spectral indices depend on the fluctuation level and its increasing level leads to steepening of each segment. (e) Finally, the index of -1.8 can be typically found at MHD scales; and averaging of spectra in the frequency domain leads to the index of $-8/3$ at kinetic scales, whereas averaging in frequencies normalized to the gyrostructure frequency provides a value of

-7/3. In the evolution of density spectra through IP shocks, it has been found that relative fluctuations in the inertial range are preserved through the shock, whereas the fluctuations in the kinetic range strongly correlate with the gyrostructure frequency.

СЕКЦИЯ «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ГЕЛИОСФЕРА»

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНЫХ АТОМОВ И ПЫЛЕВОЙ КОМПОНЕНТЫ В ГЕЛИОСФЕРЕ

П.С. Акаев, В.В. Измоденов

*МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия, akaevps@gmail.com.
ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

В работе представлены результаты численного моделирования распределения межзвёздных атомов и частиц пыли в межпланетной среде. Полагается, что на межзвёздные атомы действуют сила гравитационного притяжения к Солнцу и сила радиационного отталкивания, а на пылевые частицы еще и сила Лоренца. Задача решается методом характеристик, который сводится к численному интегрированию уравнения движения частицы. В связи с тем, что это уравнение (в общем случае) обладает высокой жесткостью, для его решения применена L2-устойчивая одностадийная схема Розенброка второго порядка точности с автоматическим выбором шага, свойства которой позволяют эффективно решать жёсткие линейные системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Проводится тестирование программы, реализующей данный метод решения, путём сравнения с известным аналитическим решением (R.R. Meier, 1977) в случае упрощённой постановки задачи.

И.И. Балюкин, В.В. Измоденов

*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.
ИКИ РАН, г. Москва, Россия, balyukin.ii@gmail.com.*

Рассматривается задача об истечении солнечного ветра в окружающую Солнце межзвёздную среду. Пионерские исследования в этой области были сделаны Е.Паркером в 1961. Он показал, что из Солнца истекает дозвуковой солнечный ветер, который постепенно становится сверхзвуковым, стремящимся к некоторому постоянному значению (терминальной скорости). В данной работе мы численно исследуем временную эволюцию «солнечного пузыря», то есть области пространства занятой солнечным ветром. Рассматривается сферически-симметричная задача, а солнечный ветер и окружающая его межзвёздная среда рассматриваются в одножидкостном приближении. В начальный момент времени $t=0$ из Солнца начинает истекать солнечный ветер. Заданными и не меняющимися со временем считаем терминальную скорость и поток кинетической энергии (механическую светимость) солнечного ветра. Ветер начинает взаимодействовать с покоящейся межзвёздной средой, плотность и давление которой также считаются известными. Качественная картина такого течения представляет собой расширяющуюся сферическую систему, которую называют пузырем. Эволюционируя, эта динамическая система разделяется поверхностями разрыва (ударными волнами и контактной поверхностью) на четыре зоны: а) сверхзвуковой солнечный ветер; б) область возмущенного дозвукового солнечного ветра; в) область (оболочка) возмущенного межзвёздного газа; г) покоящаяся

невозмущенная межзвездная среда. В настоящей работе получено (методом Годунова) численное решение задачи, которое сравнивается с классическим автотомельным решением Вивера и МакКрея (1977). Исследуется область применимости последнего.

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ, ОПЕРЕЖАЮЩИХ РАМП МЕЖПЛАНЕТНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Н.Л. Бородкова¹, В.Г. Еселевич², М.В. Еселевич², Г.Н. Застенкер¹, Я. Шафранкова³, З. Немечек³, Л. Прех³

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, *nlbor@mail.ru*.

²ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

³КУ, ФМФ., г. Прага, Чехия.

За первые три года измерений параметров плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением ~ 0.031 с помощью спектрометра плазмы БМСВ на борту КА СПЕКТР-Р с начала августа 2011г. были зарегистрированы 32 межпланетные ударные волны. Достигнутое временное разрешение впервые позволило исследовать структурные особенности фронта межпланетной ударной волны по измерениям плазмы – рамп и опережающий его цуг затухающих колебаний. Для ударных волн с небольшим числом $\beta < 1$ и магнитозвуковым числом Маха $M_{MS} < 2$ было проведено сравнение наблюдаемой длины волны опережающих колебаний с теоретическими оценками и с аналогичными структурами фронта околоземной ударной волны. Получено, что наблюдаемая длина волны неплохо соответствует теоретическим оценкам, что свидетельствует в пользу дисперсионного механизма возникновения затухающих косых магнитозвуковых колебаний перед фронтом. Кроме того, показано, что размер рампа составляет примерно половину от длины опережающей его волны и зависит от угла θ_{BN} между нормалью к фронту и вектором магнитного поля.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ БУРИ В 24 ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Т.Е. Вальчук

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, МО, Россия, tatiana_valchuk_1948@mail.ru

По данным геомагнитной обсерватории "Москва" проведено полномасштабное рассмотрение магнитных бурь (МБ) текущего 11-летнего цикла солнечной активности (СА) с начала проявления спорадических возмущений на ветви роста 24 цикла СА. Временной интервал охватывает годы с 2010 по 2013 (2014 обрабатывается по мере поступления данных), в этом интервале каждая МБ буря описана в составленном автором препринт-каталоге ИЗМИРАН "Магнитосферная возмущенность 2010-2014гг. по данным обсерватории "Москва", описание и статистика типов магнитных бурь". При составлении этого каталога были востребованы данные обсерватории "Москва", сведения о развитии магнитных бурь в западном полушарии по данным обсерватории в Боулдере, индексы геомагнитной возмущенности ap , aa и AE , множественные данные сети Интернет о состоянии СА, обеспечившей реализацию каждой МБ на Земле, а также сведения о параметрах солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) в околоземном космосе по данным сайта SPDF - OMNIWeb Service. В обсерватории "Москва" все отмеченные МБ классифицированы по амплитудным характеристикам на 4 ранга: малая, умеренная, большая и очень большая

буря (соответственно ММБ, УМБ, БМБ и ОБМБ), а также по признаку наличия внезапного начала МБ (SI), либо постепенного нарастания магнитосферной возмущенности, без выраженного внезапного импульса вариации компонентов на магнитограмме. Годом минимальных магнитосферных возмущений по обсерватории "Москва" явился 2009г. – минимум 23 цикла SA, всего 7 ММБ с постепенным началом (Каталог "Магнитных бурь 1950-2010гг.", составлен Т.А. Митрофановой, под ред. Х.Д. Канониди). В настоящей работе предложена дополнительная классификация МБ, проистекающая из качественного различия источников МБ, генерируемых в результате различных проявлений SA. Выявление гелиофизических факторов, обеспечивших протекание МБ, легло в основу предложенной в работе дополнительной классификации МБ. Нами предложено разделение всех МБ с 2010 г. до настоящего времени на 4 типа в зависимости от источников SA, обеспечивающих поступление энергии, реализованной в конкретной МБ. Рассмотрение конкретных примеров поясняет разделение МБ на 4 типа, выделяя характеристические признаки, свойственные каждому типу. Сводная таблица МБ за 2010-2014гг. репрезентативна и отображает смену тенденций в проявлениях SA в 24 цикле.

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАХВАЧЕННЫХ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ПРОТОНОВ В ОБЛАСТИ ГЕЛИОСФЕРНОГО УДАРНОГО СЛОЯ

Е.А. Голиков

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, golikov.e.a000@gmail.com.

Захваченные протоны – это протоны, образованные в результате ионизации межзвездных атомов водорода на протонах солнечного ветра. Сразу после рождения они попадают под влияние замороженного в солнечный ветер магнитного поля (“захватываются”). Взаимодействие с магнитными неоднородностями в солнечном ветре приводит к изотропизации их функции распределения (в системе координат, связанной с солнечным ветром) и энергетической диффузии, причем изотропизация проходит за времена малые по сравнению с временами диффузии. Энергетический спектр захваченных протонов сильно отличается от соответствующего спектра протонов в солнечном ветре: он существенно немаксвелловский; в результате адиабатического охлаждения на расширяющемся солнечном ветре первоначально сферическое распределение эволюционирует в шаровое — в спектре появляется характерная «площадка», а энергетическая диффузия приводит к образованию «хвостов» распределения, то есть протонов со скоростями, превышающими более, чем в два раза скорость солнечного ветра. Теоретически распределение захваченных протонов в гелиосфере исследовалось ранее (например, Чалов, 2006, Isenberg, 1987, Vasyliunas&Siscoe, 1976 и др.), но большинство моделей разработано лишь для стационарного случая. Нестационарность солнечного ветра, связанная, в частности, с солнечным циклом, приводит к распространению волн за гелиосферной ударной волной, где течение солнечного ветра дозвуковое. На участках, где градиенты плотности солнечного ветра велики, может происходить существенное нагревание (или охлаждение) захваченных протонов. Возможно, что нагретые таким образом протоны вносят ощутимый вклад в так называемую «надтепловую» компоненту спектра, измеряемую в настоящее время на аппаратах «Вояджер», а также удаленно на аппарате Ixeh. В настоящей работе изучается влияние этого, а также других эффектов, вызванных нестационарностью солнечного ветра, на энергетическое распределение захваченных протонов в области гелиосферного ударного слоя.

ЭВОЛЮЦИЯ ИОННОГО СОСТАВА ВСПЫШЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

Ф.Ф. Горяев, В.А. Слемзин

ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, goryaev_farid@mail.ru.

Одной из компонент солнечного ветра, регистрируемого вблизи Земли, являются транзитные потоки – межпланетные корональные выбросы массы (МКВМ), образующиеся на Солнце в результате спонтанной активности в виде вспышек и корональных выбросов массы (КВМ). Считается, что по ионному составу МКВМ можно судить о состоянии плазмы в источнике выброса, поскольку состав плазмы «замораживается» на расстояниях нескольких солнечных радиусов от поверхности Солнца. Однако, эта связь не является однозначной, поскольку при прохождении плазмы через корону от места выброса до области «замораживания» состав плазмы претерпевает эволюцию, вызванную изменением ее температуры, плотности и, как следствие, состояния ионизации в условиях, определяемых уровнем солнечной активности. Мы рассматриваем подход, который позволяет исследовать вариации ионного состава плазмы выброса при ее движении от горячего источника типа вспышки до области «замораживания», а также может быть использован в важной проблеме идентификации источников солнечного ветра. Сначала с помощью методов спектроскопической диагностики определяются параметры плазмы (температура и плотность) в отобранных для анализа событиях. Эти параметры рассматриваются как входные данные для анализа их последующей эволюции в процессе движения плазмы от источника. Для расчета ионного состава движущейся плазмы используются кинетические уравнения баланса, в которых учитываются процессы ионизации и рекомбинации, а остывание плазмы происходит из-за процессов теплопроводности и излучения в условиях ионизационного равновесия. Область расстояний, на которых происходит «замораживание» ионного состава плазмы, определяется в результате прямого расчета. Временная шкала процесса эволюции задается кинематикой движения выброса в короне. В качестве примера, мы рассмотрели эволюцию ионизационного состояния элементов Fe и O, обильных в короне. Различные стадии ионизации Fe существуют в широком диапазоне температур, тогда как в случае кислорода при температурах больше 3 МК имеются только ядра кислорода (OIX). Температуры вспышек в модельных расчетах принимались равными 10 и 20 МК, что соответствует низкому и высокому уровням солнечной активности. Расчеты показали, что ионизационное состояние Fe перестает меняться на расстояниях порядка $3R_{\text{sun}}$ от поверхности Солнца. В случае исходной плазмы с температурой 10 МК в точке «замораживания» доминируют ионы FeXI – FeXII, тогда как при температуре 20 МК кратность ионов повышается до FeXV – FeXVI. В случае кислорода ионный состав «замораживается» на расстояниях порядка одного солнечного радиуса от поверхности и представлен в основном ионами OVIII и OVII. Эти результаты хорошо согласуются с наблюдательными данными по солнечному ветру вблизи Земли.

ЭКСПЕРИМЕНТ АРИЕС-Л ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛУННОГО РЕГОЛИТА МЕТОДОМ ВТОРИЧНОЙ ИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ (ВИМС) ДЛЯ ПРОЕКТА ЛУНА-25

**Р.Н. Журавлев¹, О.Л. Вайсберг¹, Д.А. Моисеенко¹, А.Ю. Шестаков¹,
П.П. Моисеев², М.В. Митюрин², А.В. Козюра²**

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, zhuravlev_roman@iki.rssi.ru.*

²*ООО «НПП «Астрон Электроника», г. Орёл, Россия.*

Исследование состава и структуры лунного реголита является важной частью исследования происхождения, эволюции и структуры Луны. Задачей эксперимента является исследование взаимодействия солнечного ветра с поверхностью Луны, десорбции поверхностного слоя, и состава поверхностного слоя на различных масштабах. Вторичная ионная масс-спектрометрия является распространенным методом анализа твердых тел. Эксперимент позволяет использовать поток солнечного ветра как первичный ионный пучок. Прибор АРИЕС-Л представляет собой энерго-масс-спектрометр с полем зрения 2π. Широкое поле зрения даёт возможность одновременно измерять характеристики облучающего пучка (солнечный ветер) и характеристики вторичных ионов, выбиваемых солнечным ветром из лунного реголита. Прибор АРИЕС-Л также включает в себя конвертер нейтральных частиц, расположенный в поле зрения прибора. Поток нейтральных атомов от поверхности Луны, ионизуется на поверхности конвертера и также измеряется энерго-масс-анализатором. Следующей целью эксперимента является изучение хвоста геомагнитосферы и взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли. Прибор АРИЕС-Л разработан для космического аппарата Луна-25, а также входит в состав посадочного и орбитального аппаратов проекта Луна-Ресурс.

ИОНЫ НАДТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГИЙ В ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ИЗ ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР НА 1 А.Е. В 2007-2009 гг.

М.А. Зельдович, Ю. И. Логачев

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, mariya@srd.sinp.msu.ru.

Исследуются энергетические спектры ионов ³He, ⁴He, C, O, Fe с энергией 0.04-1 МэВ/нуклон (данные ACE/ULEIS) и их относительное содержание в спокойные периоды солнечной активности в минимуме 23 и 24 циклов. Благодаря уникальному длительному минимуму активности в 2007-2009 гг. были выделены 35 спокойных периодов солнечной активности, в течение которых потоки надтепловых частиц были связаны с приэкваториальными корональными дырами, данные о которых были получены из сайта интернета «СНН – coronal hole history». Относительное содержание надтепловых ионов в потоках частиц служит указанием на популяцию частиц, ускоренных в различных процессах на Солнце или в межпланетном пространстве и образующих надтепловые потоки. Показано, что величины надтепловых C/O и Fe/O в потоках из 35 выделенных здесь приэкваториальных корональных дыр соответствуют относительному содержанию ионов C/O и Fe/O в потоках солнечного ветра из этих дыр (данные ACE/SWICS). Также показано, что интенсивность надтепловых ионов в потоке частиц из корональных дыр зависела от скорости солнечного ветра и возрастала с увеличением скорости. Полученные результаты указывают на то, что в период минимума солнечной активности источником надтепловых ионов являлись ускоренные частицы солнечного ветра, возможно, представляя собой высокотемпературный «хвост» солнечного ветра. Изучение энергетических спектров

надтепловых ионов ^3He , ^4He , O и Fe в медленных (<500 км/с) и быстрых (>500 км/с) потоках солнечного ветра из приэкваториальных корональных дыр показало, что спектры имели разную форму – степенную и экспоненциальную, что предполагает различные механизмы ускорения ионов.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ СПЕКТРА МОЩНОСТИ ФЛУКТУАЦИЙ ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И МОДУЛЯЦИЯ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Н.С. Свиржевский, М.С. Калинин, Г.А. Базилевская, А.К. Свиржевская

ФИАН, г. Москва, Россия, mkalinin@fian.fiandns.mipt.ru.

По данным космического аппарата *Улисс* проанализированы спектральные характеристики турбулентной составляющей гелиосферного магнитного поля (ГМП). Показано, что показатель спектра мощности флуктуаций зависит от гелиошироты. Его среднее значение в пределах секторной зоны равно -0.8, а вне секторной зоны -1.2. Результаты анализа были применены в рамках решения транспортного уравнения для описания интегральной интенсивности галактических космических лучей на широком временном интервале (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.

О «РАСПРЕДЕЛЕННОМ» ИСТОЧНИКЕ МОЩНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН – «КОСМИЧЕСКИХ ЦУНАМИ» - НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ В АКТИВНЫЙ ПЕРИОД

В.И. Козлов, В.В. Козлов

ИКФИА им. Ю.Г. Шафера, СО РАН, г. Якутск, Россия, costprognoz@mail.ru.

Известно, что по мере приближения к максимуму 11-летнего цикла, в период начала смены знака общего магнитного поля Солнца, начинает увеличиваться отношение квадрупольной компоненты к дипольной его части, что проявляется в изменчивости структуры гелиосферного токового слоя (ГТС): с двухсекторной на четырехсекторную и, далее на ... «*мультисекторную*». Это следовало из результатов исследования динамики флуктуаций космических лучей в указанные периоды времени. Независимо от способа формализации динамики флуктуаций космических лучей ранее нами было показано, что введенный параметр флуктуации космических лучей является достаточно гибким инструментом для изучения эволюции структуры ГТС. В данной работе, использовался **адаптивный** вариант алгоритма формализации динамики флуктуаций космических лучей, значительно улучшающий отношение сигнал/шум. Скорректированный алгоритм, позволил нам более надежно и на хорошей статистике выявить *квази-недельную* вариацию, т.е. «*мультисекторную*» структуру ГТС регистрируемую в активный период. В этом плане, наибольший интерес представляют «серийные» события, регистрируемые в период экстремальной активности Солнца. В частности, в мае-июне 1991, марте-апреле 2001 и в октябре 2003 гг. Во всех анализируемых случаях в параметре флуктуаций космических лучей была зарегистрирована квази-недельная вариация в виде явно выраженного «*цуга волн*», что было подтверждено данными прямых измерений параметров солнечного ветра. Для изучения эволюции структуры указанных осцилляций ГТС был применен метод вейвлет-анализа. В

результате, были получены указания на важную роль процесса *нелинейного укручения* амплитуды и, соответственно, уменьшения периода квази-недельной осцилляции ГТС: вариация с периодом ≈ 7 сут. трансформируется в вариацию большей амплитуды с меньшим периодом (≈ 4 сут.). Процесс завершается регистрацией мощной ударной волны – аналога «*Космического цунами*» в ГТС - сопровождающейся не менее мощным эффектом Форбуша. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможной реализации в активный период на орбите Земли распределенного источника мощных ударных волн, т.е. о наличии у гелиосферного токового слоя собственной «передаточной функции».

НОВОСТИ О СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ: ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ И ИНЕРЦИОННОЕ ТЕЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Н.А. Лотова¹, И.А. Субаев², О.А. Корелов³

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

²*ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, МО, Россия.*

³*НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия.*

Изучение процесса формирования установившегося сверхзвукового потока солнечного ветра впервые осуществлено в режиме непрерывных радиоастрономических наблюдений угла рассеяния $\theta(R)$ в широкой области межпланетного пространства, $R \simeq (4-130)R_S$. Наблюдения проводятся в Радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН, радиотелескоп ДКР-1000, $\lambda=2,7$ м, период 2010-2013 гг. Полученные данные о радиальной зависимости угла рассеяния радиоволн $\theta(R)$ обнаружили существование последовательности четырех дискретных областей с масштабом $\Delta R \simeq (10-23)R_S$, на внешней границе которых происходит ударное ускорение солнечного ветра. В результате на радиальном расстоянии от Солнца $R \simeq 100R_S$ возникает установившийся сверхзвуковой поток, но уже в другом, инерционном режиме течения солнечного ветра.

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ СО СЛОЖНЫМ РАЗВИТИЕМ

И.С. Веселовский^{1,2}, А.Т. Лукашенко¹

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, a_lu@mail.ru.*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

Развитие геомагнитных бурь контролируется в основном внешними гелиосферными причинами, которые, в свою очередь, определяются условиями на Солнце. Большинство геомагнитных бурь имеет сложный характер развития и характеризуется существованием одного или нескольких побочных экстремумов до или после главного. Ранее нами с использованием визуальных методов на основе базы данных APEV за 23-й цикл солнечной активности была составлена база данных изолированных и сложных геомагнитных возмущений. В данной работе обсуждается методика автоматического выявления побочных минимумов геомагнитных возмущений по данным *Dst*. Приводятся их статистические характеристики.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРЕКТИРОВАННОГО D_{st}^* ИНДЕКСА НА ГЛАВНОЙ ФАЗЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ ТИПАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Н.С. Николаева, Ю.И. Ермолаев, И.Г. Лодкина

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nnikolae@iki.rssi.ru.

В работе выполнено моделирование скорректированного (с учетом давления солнечного ветра) D_{st}^* индекса на главной фазе магнитных бурь, генерированных 4-мя типами солнечного ветра (СВ): MC (10 бурь), CIR (28 буря), Sheath (21 буря), Ejecta (31 буря), аналогично тому, как это было сделано нами ранее для простого D_{st} индекса [Николаева и др. КИ, 2013]. Для идентификации типов СВ использовался «Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976 – 2000гг» ([Ермолаев и др. КИ 2009], <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/>), созданный на основе данных базы OMNI. Временной ход D_{st}^* аппроксимировался линейной зависимостью от интегрального электрического поля ($\sum E_y$), динамического давления (P_d), и уровня флуктуаций (sB) межпланетного магнитного поля (ММП). Было выполнено 3 вида моделирования D_{st}^* : (1) индивидуальными значениями коэффициентов аппроксимации; (2) коэффициентами аппроксимации, усредненными по типу СВ; (3) также, как в пункте 2, но с учетом значений D_{st}^* индекса, предшествующих началу главной фазы магнитной бури. Результаты моделирования скорректированного D_{st}^* индекса сравниваются с моделированием обычного D_{st} индекса. В условиях большого статистического разброса коэффициентов аппроксимации, использование D_{st} вместо D_{st}^* на точность моделирования и коэффициент корреляции влияет незначительно. Тем не менее можно отметить, что коэффициенты корреляции и средне-квадратичные отклонения модельных величин от измеренных свидетельствуют о том, что простой Dst индекс моделируется нашей моделью несколько лучше, чем скорректированный индекс. Работа поддержана Программой Президиума РАН №22 и грантом РФФИ № 13-02-00158 а.

ГИПОТЕЗА «СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА» – ИСТОЧНИК СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НЕСОСТОЯТЕЛЬНА

К.И. Никольская

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, knikol@izmiran.ru.

Обнаружение связи скоростей потоков стационарного солнечного ветра (V_{CB}) с замкнутыми магнитными полями (ЗМП) активных областей (АО), локализующимися между поверхностями фотосферы и источника, в виде МП ↔ медленный СВ ($V_{CB} < 500$ км/с) нет ЗМП ↔ быстрый СВ ($V_{CB} > 500$ км/с) (1). - один из интереснейших результатов проекта Ulysses/SWOOPS [1991-2009; φ (00 - ± 90); $r=1.24-5$ а.е.]. Связь V_{CB} - ЗМП означает, что солнечный ветер возникает вблизи поверхности фотосферы из высокоскоростных потоков плазмы, которые проходят через ЗМП активных областей и либо тормозятся в них и образуют медленный СВ с $V_{CB} < 500$ км/с, либо захватываются, формируя корону. Если ЗМП отсутствуют, потоки плазмы свободно уходят в гелиосферу как высокоскоростной СВ с $V \approx 700-800$ км/с. Согласно наблюдениям TRACE, корона образуется только в тех местах на поверхности Солнца, где всплывают ЗМП: есть ЗМП – есть корона, нет ЗМП – нет короны. (2). - Объединяя выражения (1) и (2), получаем ЗМП нет → короны нет → наблюдается быстрый СВ с $V = 700-800$ км/с. Потоки СВ со стабильными скоростями 700-800 км/с наблюдались Ulysses in situ в гелио-сфере вне пояса стримеров на $r > 1$ а.е. в минимумах активности 22 и 23 циклов на первом и третьем оборотах КА вокруг Солнца и дистанционно

- в радиодиапазоне, в высокоширотной ближней гелиосфере на $r < 100R_{\text{Sun}}$ в минимуме 22 цикла. Вывод: корона не является источником стационарного СВ. Гипотеза несостоятельна!

11-ЛЕТНИЕ ПЛАНЕТНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

В.П. Охлопков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, ovpetrovich@yandex.ru.

С помощью введенного автором параметра – средняя разность гелиоцентрических долгот планет (СРД) – были рассчитаны линейные конфигурации трех планет – Венеры, Земли и Юпитера и составлен индекс этих конфигураций, который был использован для сопоставления с солнечной активностью. Наилучшая связь солнечной активности (использованы числа Вольфа) получена только для трех планет – Венеры, Земли и Юпитера [1-2]. Индекс линейных конфигураций составлен по минимальным значениям СРД (планеты находятся в соединении, одна конфигурация), а также по минимальным отклонениям планет от линии, проходящей через них и Солнце при расположении планет по разные стороны от Солнца (3 конфигурации). Обозначим его для краткости как JEV, по первым буквам латинских названий планет [3]. Этот индекс, объединяющий все 4 конфигурации, имеет 11-летнюю периодичность и описывает 11-летний цикл солнечной активности. Рассчитана приливная волна на Солнце от планет Венеры, Земли и Юпитера, которая хорошо согласована с индексом JEV. Планетный индекс JEV рассчитан с 1000 года по настоящее время, и проведено его сопоставление с солнечной активностью. Для периода с 1000 по 1699 гг использован ряд солнечной активности Шове, а с 1700 года использованы числа Вольфа. Хотя данные по солнечной активности до 1700 года получены косвенным путем, наблюдается полное соответствие числа циклов как в индексе JEV, так и в солнечной активности. Основная по амплитуде периодичность в них совпадает и равна 11.07 лет. Совпадение средней длительности 11-летней периодичности за 1000-летний интервал с точностью до второго знака после запятой доказывает связь индекса JEV с 11-летним солнечным циклом.

[1]. Охлопков В.П., Циклы солнечной активности и конфигурации планет // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2012. № 4. С. 56-61 (Okhlopkov V.P. Cycles of Solar Activity and the Configurations of Planets // Moscow University Physics Bulletin, 2012, Vol. 67, No. 4, pp. 377–383.

<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3103/S0027134912040108>)

[2]. Охлопков В. П., О связи циклов солнечной активности с конфигурациями планет // Известия РАН. Сер. Физ., 2013, том 77, № 5, с. 667–669. (Okhlopkov V.P., Relationship of Solar Activity Cycles to Planetary Configurations // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2013, Vol. 77, No. 5, pp. 599–601). (Okhlopkov V.P., Cycles of solar activity and the configurations of the planets // 2013, IOPscience, J. Phys.: Conf. Ser. 409 012199), (<http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012199>).

[3]. Охлопков В.П., 11-летний цикл солнечной активности и конфигурации планет // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2014. № 3. С. 50-55 (Okhlopkov V.P. The 11-Year Cycle of Solar Activity and Configurations of the Planets // Moscow University Physics Bulletin, 2014, Vol. 69, No. 3, pp. 257–262).

ДИНАМИКА СТРУКТУР ПЛАЗМЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МАГНИТОСЛОЕ НА РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ МАГНИТОПАУЗЫ

Л.С. Рахманова¹, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

²*НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, rakhlud@gmail.com.*

Структуры плазмы и магнитного поля солнечного ветра существенно видоизменяются, проходя через околосолнечную ударную волну и магнитослой. В данной работе для оценки степени модификации плазменных и магнитных структур при переходе через околосолнечную ударную волну используются коэффициенты корреляции, рассчитанные по одновременным данным двух близко расположенных спутников. Были проанализированы более 300 часов одновременных измерений двух спутников проекта THEMIS, первый из которых находится в солнечном ветре, а второй – в магнитослое. Рассматривается изменение коэффициента корреляции между параметрами плазмы и магнитного поля в солнечном ветре и в магнитослое при различной геометрии пересечений. Проводится как статистический анализ, так и детальное рассмотрение отдельных длительных интервалов измерений. Показано, что уровень корреляции слабо зависит от расстояния до магнитопаузы. Определены факторы, наиболее сильно влияющие на уровень корреляции в различных областях магнитослоя.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ИЗ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР С РОСТОМ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 2009-2011 гг.

Д.Г. Родькин¹, Ю.С. Шугай², В.А. Слемзин³, И.С. Веселовский^{2,3,4}

¹*МГУ им. М.В. Ломоносова, ФФ, г. Москва, Россия, rodkindg@gmail.com.*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия.*

³*ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия.*

⁴*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

В работе рассмотрено влияние солнечной активности на эволюцию параметров потоков солнечного ветра (СВ), связанных с корональными дырами (КД). Данные о параметрах СВ со спутника ACE разбивались на периоды по полугодиям для удобства сравнения изменений, происходящих в них с ростом солнечной активности. В процессе обработки выделялись квазистационарные рекуррентные потоки, связанные с КД. Для этого использовалась база данных о площадях КД, автоматически выделяемых на ВУФ (вакуумный ультрафиолет) изображениях Солнца по данным с космического аппарата (КА) SOHO/EIT на длине волны 195Å и с КА SDO/AIA на длине волны 193Å. Данные о площадях КД, рассчитанные по изображениям Солнца, сопоставлялись с параметрами потока СВ со сдвигом в 4 – 5 дней, в зависимости от средней скорости потоков. Далее выделенные потоки разбивались на область взаимодействия между медленным фоновым и быстрым квазистационарным потоком СВ (“кромка”) и непосредственно сам высокоскоростной поток (ВСП) из КД (“тело”). Таким образом, за каждое полугодие собиралась статистика и строились гистограммы распределения параметров СВ для потоков, связанных с КД, отдельно для области взаимодействия, отдельно для самого потока. Показано, что с ростом солнечной активности изменения скорости и кинетической температуры СВ сильнее выражены в “теле”, а для отношения O^{7+}/O^{6+} и модуля ММП - в “кромке”. Содержание гелия весьма заметно меняется с ростом солнечной активности и в “кромке”, и в “теле”. В 2009 году в “теле” ВСП СВ наблюдалось содержание гелия, скорее характерное для медленных потоков СВ в предыдущем солнечном цикле, но в 2011 году максимум распределения переместился к 0.05,

что характерно для долговременных наблюдений за содержанием гелия в ВСП СВ из КД. Данные о параметрах СВ в областях взаимодействия между различными типами потоков важны для уточнения критериев классификации типов СВ и построения моделей заблаговременного прогнозирования его параметров на околоземной орбите.

ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ И РАСШИРЕННОЕ САМОПОДОБИЕ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА МАЛЫХ МАСШТАБАХ

М.О. Рязанцева^{1,2}, В.П. Будаев^{1,3}, Г.Н. Застенкер¹, Л.М. Зеленый¹, Г.П. Павлос⁴, Я. Шафранкова⁵, З. Немечек⁵, Л. Прех⁵, Ф. Немец⁵

¹НИИЯ МГУ им.М.В. Ломоносова г. Москва, Россия, orearm@gmail.com.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

³РНЦ «Курчатовский Институт» г. Москва, Россия.

⁴ДУ Фракии, ДЭ, Ксанти, Греция.

⁵Charles University in Prague, Czech Republic.

Работа посвящена последним результатам исследований спектральных и статистических свойств мелкомасштабных плазменных структур солнечного ветра по измерениям прибора БМСВ установленного на спутнике СПЕКТР-Р. Прибор БМСВ позволяет производить измерения параметров плазмы с временным разрешением вплоть до 0.03 с и, вследствие этого, является уникальной лабораторией для исследования характеристик плазменной высокочастотной турбулентности. Особое внимание в работе уделяется отличиям частотных спектров и функций распределения флуктуаций, наблюдаемых на диссипативных и инерционных масштабах. Демонстрируется высокий уровень перемежаемости потока солнечного ветра на малых масштабах, проявляющийся в не-Гауссовских функциях распределения флуктуаций и зависимой от масштаба статистике. Показано, что расширенное самоподобие постоянно наблюдается в турбулентном потоке солнечного ветра. Статистические характеристики флуктуаций потока солнечного ветра сравниваются с предсказаниями различных моделей, продемонстрированы преимущества Лог-Пуассоновской модели. Проведена параметризация скейлинга структурных функций с помощью выбранной модели и показано, что в потоке солнечного ветра преимущественно наблюдаются филаментарные структуры. Аппроксимация наблюдаемых функций распределения флуктуаций потока ионов с помощью Цаллисовской статистики позволяет показать неэкстенсивный характер плазменных флуктуаций солнечного ветра.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЧЕРЕЗ ФРОНТ ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ И ПЕРЕХОДНОЙ СЛОЙ

П.А. Седых

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

При переходе через фронт плоской ударной волны скачком меняется плотность плазмы и напряженность тангенциальной составляющей магнитного поля. Коэффициент, связывающий плотность перед фронтом и за фронтом в плоской волне, зависит только от показателя адиабаты и равен 4 для одноатомного газа. Для искривленной ударной волны, каковой является головная ударная волна, этот коэффициент зависит также и от расстояния от носовой точки, отсчитываемого вдоль фронта ударной волны. Подобным образом ведет

себя и коэффициент, связывающий значения тангенциальной составляющей межпланетного магнитного поля. В работе исследуется зависимость упомянутых коэффициентов от параметров солнечного ветра и от расстояния до носовой точки. На этой основе рассчитывается плотность тока и напряженность электрического поля за фронтом головной ударной волны. Плазма солнечного ветра пересекает фронт головной ударной волны вместе с вмороженным в нее магнитным полем солнечного ветра. Поэтому в системе координат, связанной с фронтом головной ударной волны возникает электрическое поле, пропорциональное тангенциальной компоненте магнитного поля и нормальной (к фронту) компоненте скорости плазмы. Обе эти величины меняются вдоль фронта, вместе с ними меняется и электрический потенциал. За фронтом имеется течение модифицированной плазмы солнечного ветра (magnetosheath, переходный слой), которое тоже несет модифицированное поле солнечного ветра. Скорость и плотность плазмы, а так же параметры магнитного поля этого течения могут быть оценены, если форма фронта ударной волны и магнитопаузы считаются известными.

ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ОБЛАСТЯМИ АНОМАЛЬНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

А.А. Скальский, А.В. Садовский

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, skalsky@iki.rssi.ru.

Одним из интересных явлений, связанных с взаимодействием солнечного ветра с Луной, является формирование «мини» – магнитосфер над областями аномальной намагниченности на поверхности Луны. Собственное магнитное поле аномалий и формирующийся над их областями скачок магнитного поля («квази» – ударная волна) эффективно отражают ионы и электроны плазмы солнечного ветра. В работе рассмотрены возможные механизмы генерации колебаний в плазме вблизи областей мини-магнитосфер, связанные с присутствием в набегающем потоке солнечного ветра популяций отраженных частиц.

ВОЗМУЩЕНИЕ МАГНИТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АВГУСТЕ 2005 г. И ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПОРОГОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ: СВЯЗЬ С ПАРАМЕТРАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

М.И. Тясто¹, О.А. Данилова¹, В.Е. Сдобнов²

¹*Санкт-Петербургский Филиал ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, Россия.*

²*ИСЗФ СОРАН, г. Москва, Россия.*

Важным фактором, контролирующим приход частиц галактических космических лучей (ГКЛ) в какую-либо точку в магнитосфере Земли являются геомагнитные пороги ГКЛ. Возмущение солнечного ветра 24-27 августа 2005 г. вызвало возмущение магнитосферы и сильную магнитную бурю. Мы рассчитали изменения теоретических геомагнитных порогов КЛ в период данной бури методом интегрирования траекторий частиц КЛ в магнитном поле модели магнитосферы Цыганенко 2003 г. и экспериментальных порогов - методом спектрографической глобальной съемки. Исследована связь полученных вариаций геомагнитных порогов с параметрами солнечного ветра.

МЕТОД ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИБОРА АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ «АРИЕС-Л» С ЦЕЛЬЮ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ПО СКОРОСТЯМ

С.Д. Шувалов, О.Л. Вайсберг

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, shuvalovsergei@gmail.com.

В работе предложен алгоритм обработки данных прибора анализа космической плазмы «Ариес-Л», разрабатываемого для установки на аппарат «Луна-25» Российского космического агентства. Устройство проводит одномоментную регистрацию распределения плотности потока положительно заряженных частиц с заданным отношением E/Q в поле зрения 2π ; при электростатическом сканировании по энергии планируется измерять 3-мерную функцию распределения ионов в пространстве скоростей. Блок электронной оптики прибора с точностью до аппаратной функции ставит в соответствие каждому углу влёта частицы в прибор единственную пару координат её попадания на двухмерный детектор, где производится регистрация места её прилёта. Таким образом, осуществляется отображение функции распределения частиц из полусферы на плоскость, что является электронно-оптическим аналогом линзы «рыбий глаз» в оптике. Характер работы оптической схемы в некоторых случаях приводит к существенному ухудшению качества изображения, получаемого детектором. Так, пятна, обаянные пучкам, прилетевшим с определенных углов, начинают раздваиваться, смещаться относительно расчётного положения на детекторе, либо особым образом деформироваться. Этот факт, а также особенности аппаратной функции прибора обуславливают необходимость применения специальных алгоритмов для численного определения функции распределения плотности потока частиц по зарегистрированному прибором изображению. Основная идея такого алгоритма, предлагаемого в работе, состоит в том, что изображение, полученное на детекторе, аппроксимируется линейной комбинацией набора пятен, зарегистрированных прибором при его освещении с известных углов в условиях лабораторного эксперимента. Соответственно, задача вычисления искомой функции распределения частиц по направлению скорости сводится к поиску коэффициентов этого линейного разложения. В докладе представлены результаты работы этого метода при применении его к данным компьютерной симуляции прибора, а также моделирование отклика устройства на солнечный ветер.

СЕКЦИЯ «ИОНОФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МАГНИТОГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ В ИНТЕРВАЛЫ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ ($M > 6.5$) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

О.М. Бархатова, Н.А. Бархатов, Н.В. Косолапова

НГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия, o.barkhatova@inbox.ru.

В ряде современных исследований отмечены движения ионосферных неоднородностей со скоростями порядка 1000 м/с в окрестностях эпицентров сильных землетрясений ($M > 5$) в интервалы им предшествующие [Сергеенко и др., 2006; Xu et al., 2010]. В связи с этим анализ волновых возмущений различных типов в атмосфере Земли можно использовать для решения задач по прогнозированию землетрясений. Данная работа посвящена изучению явления возникновения и пространственного распределения волн магнитогравитационного типа (МГВ) в периоды подготовки четырех сильных ($M > 6.5$) землетрясений, эпицентры которых находились в области средних ($35\text{--}40^\circ$ с.ш.) и низких (10° ю.ш. – 10° с.ш.) широт. С целью обнаружения МГВ в периоды подготовки, развития и спада активности землетрясений, выполнялось сопоставление одновременных возмущений в динамических спектрах критических частот ионосферных слоев E_s , E , $F2$ и X , Y , Z компонент геомагнитного поля. Установлено, что наибольшее количество МГВ в области эпицентров событий, отмечается за два дня до начала землетрясений. В этом интервале оценивались характерные направления распространения МГВ на основе анализа динамических спектров магнитных возмущений на пяти станциях, находящихся в окрестностях эпицентров. Оказалось, что магнитное возмущение, вызванное прохождением МГВ, может распространяться в любых горизонтальных направлениях. Вместе с тем, отмечены различные скорости распространения возмущений и их разные интенсивности. Оценка уровня интенсивности динамических спектров полученных по данным магнитных станций, находящихся вокруг эпицентров, позволила выделить направления распространения МГВ с наименьшим затуханием. Для большинства случаев они совпадают с направлением геомагнитного поля. Этот результат, полученный на основе экспериментальных данных, согласуется с аналитическими оценками резонансных направлений МГВ, установленных в работе [Barkhatov et al., 2014].

[1]. Сергеенко Н.П., Захаренкова И.Е., Шагимурастов И.И., Сазанов А.В., Рогова М.В. Анализ проявления в ионосфере крупномасштабных перемещающихся неоднородностей, ассоциированных с землетрясениями, по комплексным измерениям // Вестник МГТУ, Т.9, №3, С.445-452, 2006.

[2]. Barkhatov N.A., Barkhatova O.M., Grigor'ev G.I. Spectral Characteristics of Magnetogravity Waves Generated by High-Energy Mass Source in the Equatorial Region of the Atmosphere, Part I // Geomagnetism and Aeronomy. V.54. N.6. P.819–831. 2014.

[3]. Xu T., Hu Y., Wu J., Wu Z., Suo Y., Feng J. Giant disturbance in the ionospheric F2 region prior to the M8.0 Wenchuan earthquake on 12 May 2008 // Ann. Geophys., 28, 1533–1538, 2010.

ФОРМИРОВАНИЕ УЕДИНЕННЫХ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР – "ПРЕДВЕСТНИКОВ" НА ФРОНТАХ СОЛНЕЧНОГО ТЕРМИНАТОРА В F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ: ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТ

В.Ю. Белашов, И.А. Насыров

Казанский (Приволжский) ФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com.

В работе показано, что с учетом дисперсионных эффектов и нелинейности, проявляющейся на высотах F -области ионосферы, для описания перемещающихся под углами, близкими к горизонтали, внутренних гравитационных волн (ВГВ) и возбуждаемых ими перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) справедливо обобщенное уравнение Кадомцева-Петвиашвили (ОКП), которое при определенных значениях параметров среды может иметь решения в виде 2D солитонов с гладкими или осциллирующими асимптотиками. В пренебрежении диссипативными процессами доказана устойчивость таких решений. Численно исследовано влияние диссипации и присутствия стохастических флуктуаций волнового поля среды на структуру и эволюцию солитонных решений. Получены решения для уединенных ПИВ электронной концентрации, возбуждаемых солитонами ВГВ. С учетом ранее разработанной динамической модели слоя F , учитывающей динамику основных ионосферных процессов в суточном цикле летнего и зимнего сезонов, численно исследованы процессы генерации и эволюции уединенных ВГВ и ПИВ на фронтах солнечного терминатора (СТ) для условий, близких к реальным в слое F . Показано, что при определенных условиях и в утреннем, и в вечернем секторах СТ могут генерироваться солитоноподобные «предвестники» фронта с периодами ~ 40 -60 мин, масштабы которых для зимнего и летнего сезонов существенно различны и определяются множеством факторов, таких как высота, геомагнитная широта, величина дисперсии (зависящая, в свою очередь, от значений ионосферных параметров F -слоя), а также особенностей в изменениях ионосферных характеристик конкретного суточного цикла. Проведено сравнение полученных результатов с результатами специальных экспериментов по 1-минутному вертикальному зондированию ионосферы в суточных циклах зимнего и летнего сезонов, показавших наличие в реализациях таких параметров, как высота максимума слоя $hmF2$ и концентрация электронов $NmF2$, четко выраженных «предвестников» фронта СТ с периодами $T \sim 50$ -60 мин, что находится в хорошем качественном соответствии с нашими теоретическими и численно-модельными результатами. Отмечено, что такие нелинейные эффекты СТ никак не отражены в широко используемой в ионосферных исследованиях модели IRI-2012 и, по-видимому, требуют ее некоторой корректировки. Работа, в экспериментальной ее части, была поддержана грантом РФФИ 13-02-00957-а.

АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ИОНОСФЕРНЫХ ВЫСОТАХ В СИГНАЛАХ РАДИОЗАТМЕНИЙ ВЕНЕРА-15.16 МЕТОДОМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ (GRAVITY WAVES)

М.И. Бондаренко, А.Л. Гаврик

ФИРЭ РАН, г. Москва, Россия, linuxoid2013@mail.ru.

Данные дневных радиозатмений экспедиции ВЕНЕРА-15 и ВЕНЕРА-16 1983 и 1984 года на ионосферных высотах в работе были подвергнуты частотно-временному анализу и вейвлет-фильтрации с целью разложения сигнала мощности (32см) и производной дифференциальной доплеровской частоты на составляющие и рассмотрения гипотезы о том, что периодические составляющие сигнала, присутствующие и синхронные в обоих

каналах могут отражать регистрацию гравитационных волн (Gravity Waves, GWs) в ионосфере Венеры (68-70 км и выше). Первоначальные подтверждения включали сравнение с результатами наблюдавшимися в миссии Venera Express (Европейское Космическое Агентство) и описанными в 2008 - 2014 годах, где прибор VIRTIS зарегистрировал горизонтальные волновые цуги с вертикальными длинами волн в диапазоне 5-15 км на высотах 61 и 65 км (верх облачного слоя на Венере) в тех же широтах на фотографиях ультрафиолетового и близкого к инфракрасному диапазонов. Далее частотно-временное разложение сигналов радиозатмений ВЕНЕРА-15,16 позволило снять длины волн для наиболее энергичных колебаний и характерные высоты их распада. Сравнение с предсказываемой теорией высотой распада GWs на высотах турбопаузы в силу действующих там механизмов кинетической вязкости и термического рассеяния позволяет оценить важнейшие параметры предполагаемых GWs, которые оказываются сопоставимы с GWs, наблюдавшимися в миссии Венера-Экспресс 20-25 лет спустя в тех же широтах. Это подтверждает постоянство описываемого явления в атмосфере/ионосфере Венеры. Полученные результаты свидетельствуют о продуктивности применения частотно-временных преобразований для анализа сигналов радиозатмений и внушают надежду, что радиозатмения на ионосферных высотах могут служить источником не только профилей электронной концентрации, но и применяться для изучения GWs на высотах, где до сих пор получение подобных данных затруднено. Методика не специфична для Венеры и могла бы служить для расширения применимости радиозатмений в других условиях/средах, если качество сигналов достаточно высоко.

ВРЕМЕННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ

**А.Л. Гаврик, Т.Ф. Копнина, Е.А. Кулешов, А.А. Смыслов,
М.И. Бондаренко**

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@ire216.msk.su.

Радиозатменные данные спутников *Венера-15,-16* являются важным звеном для анализа закономерностей образования ионосферы Венеры. Использование дециметрового диапазона длин волн (32 см) для зондирования оказалось существенным преимуществом наших радиозатменных экспериментов по сравнению с диапазоном 13 см в иностранных миссиях, т.к. обеспечило уникальную возможность исследования разреженной плазмы в ночной ионосфере Венеры и слоистых структур дневной ионосферы. Большой объём экспериментальных сведений, полученных с помощью спутников *Венера-15,-16*, их сравнение с данными других экспериментов позволили выявить временную и пространственную изменчивость профилей электронной концентрации, не исследованную в других миссиях к Венере. 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 ионизации при отсутствии солнечного излучения. Стабильные потоки частиц, ионизирующих ночную атмосферу, формируют идентичные вертикальные профили концентрации электронов, которые регулярно наблюдались в сеансах, проводившихся через 24 часа. Изменения ионизирующих потоков ионов и/или высокоэнергичных электронов деформируют вертикальную структуру профилей электронной концентрации, что усложняет анализ закономерностей формирования ночной ионосферы. В докладе также обсуждаются эффекты возмущений дневной ионосферы Венеры. На профилях электронной концентрации в области фотохимического равновесия выявлен спорадический слой с вертикальным масштабом около 5 км, мигрирующий в интервале высот от 150 до 170 км. Этот слой проявляется в виде дополнительного максимума электронной концентрации, либо в виде четко выраженного

изменения вертикального градиента электронной концентрации. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 22 Президиума РАН "Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы".

ДИАПАЗОН МАСШТАБОВ АЛЬФВЕНОВСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ АВРОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ

И.В. Головчанская

ПГИ, г. Анатиты, Россия, golovchanskaya@pgia.ru.

С привлечением наблюдений электрических полей спутником FAST (разрешение 512 c^{-1}) исследуется вопрос о минимальном пространственном масштабе альфвеновской турбулентности в верхней ионосфере авроральной зоны. Приводятся примеры событий, в которых степенной характер вейвлет спектра электрических флуктуаций, характеризующийся наклоном 2.0-2.5, сохраняется до масштабов порядка гирорадиуса иона. Вместе с тем, большинство теорий предсказывают для высот спутника FAST (апогей 4000 км) изменение характера спектра на масштабах, сравнимых с инерционной длиной электрона. Сделана попытка объяснить этот экспериментальный факт, предположив, что появление малых поперечных масштабов в альфвеновской волне связано с неоднородностями среды, именно, с возмущениями концентрации плазмы на малых масштабах, появившимися в период, предшествующий альфвеновской активности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКУССТВЕННОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА НАГРЕВНОМ СТЕНДЕ НАARP (МАЙ-ИЮНЬ 2014 г.)

С.М. Грач¹, Е.Н. Сергеев^{1,2}, Н.В. Бахметьева², А.В. Шиндин¹, Г. Милих³

¹*НГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru.*

²*НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия.*

³*Мэрилендский Университет, Колледж Парк. США.*

Представлены результаты исследований по воздействию мощным КВ радиоизлучением на ионосферную плазму, выполненных на нагревном стенде НАARP (Аляска, США) в мае-июне 2014 г. Было выполнено три программы экспериментов, включающих в себя: а) быстрое и медленное свипирование частоты волны накачки f_0 около 4-й гармоники электронной циклотронной частоты; б) доплеровское (фазовое) зондирование возмущенной области ионосферы с использованием части нагревного стенда НАARP в качестве КВ-радара; в) исследование нижней ионосферы с помощью искусственных периодических решеток. В основе всех измерений лежит использование для нагрева ионосферы квазинепрерывного КВ-воздействия O - либо X -поляризации ($\tau_n = 70-170 \text{ мс}$, $T_n = 100-200 \text{ мс}$) в течение 3 с - 20 мин и постоянного импульсного зондирования ($\tau_s = 20 \text{ мкс}$, $T_s = 20-200 \text{ мс}$).

а). Для исследований генерации ИРИ и слоев искусственной ионизации в области 4-й гармоники гирочастоты электронов использовались режимы быстрого свипирования частоты волны накачки с различной скоростью ($1 \text{ кГц}/200 \text{ мс}$ - $1 \text{ кГц}/1300 \text{ мс}$) в полосе до 200 кГц. В ночных измерениях 03-04 июня 2014 г. при свипировании частоты волны накачки около $4f_{ce}$ удалось получить новые данные о спектральной компоненте ИРИ - BDE (broad downshifted emission), наблюдаемой на отстройках $\Delta f_{BDE} = f_{BDE} - f_0 = -(40-200) \text{ кГц}$ при максимальных мощностях нагрева в основном ниже гирогармоники [1]. Ряд ее характеристик – высокие

пороги генерации и большие величины отстроек от частоты волны накачки - указывают на возможную связь механизмов генерации BDE с образованием конденсата плазменных волн. В экспериментах 2014 г. установлено, что частота ее отстройки изменяется по закону: $\Delta f_{BDE} = 1.2(f_0 - 4f_{ce}) - 36\text{кГц}$.

б). Исследования модификации профиля электронной концентрации в области плазменных резонансов с высоким временным (~100 мс) и частотным (~1 кГц) разрешением были впервые проведены на HAARP методом измерения вариаций фазы пробных волн при широкополосном зондировании возмущенной области ионосферы короткими 20-мкс импульсами, ранее отработанным на стенде СУРА (Васильсурск, Россия) [2]. Наблюдаемые отрицательные вариации плотности электронной компоненты плазмы в области верхнегибридного резонанса при нагреве составили 1.5 %.

в). Выполнены исследования нижней ионосферы методом измерений характеристик развития и релаксации искусственных периодических неоднородностей плотности плазмы (ИПН, [3]) на высотах D- и E-слоя, проведено сопоставление их эволюции с динамикой возмущений около F-слоя. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-02-12074-офи_м, 14-02-31459-мол_а, гранта РНФ 14-12-00706.

[1]. *Сергеев Е.Н. и др.*, Труды XXIV Всероссийской конференции «Распространение радиоволн», Иркутск, 2014, Т. 2, с. 79-82.

[2]. Shindin A.V. et al, Radio Science, 2012, V. 47, RS0N04, doi:10.1029/2011RS004895.

[3]. Беликович В.В. и др., Исследование ионосферы с помощью ИПН, 1999, ИПФ РАН, 156 с.

ВЫБОР ИНДЕКСА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ИОНОСФЕРЫ

М.Г. Деминов

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, deminov@izmiran.ru.

Базовые варианты известных моделей ионосферы IRI и NeQuick дают медианы параметров ионосферы, точнее глобальное распределение этих параметров в данный месяц для данного мирового времени при данном уровне солнечной активности. В качестве индикаторов этой активности используют средние за 12 месяцев значения относительного числа солнечных пятен R_{12} или потока солнечного радиоизлучения на частоте 2800 МГц (длине волны 10.7 см) F_{12} . Долгосрочный прогноз ионосферы с помощью моделей IRI и NeQuick (или других эмпирических моделей) основан на прогнозе индексов R_{12} или F_{12} , которые дают прогностические центры. Авторитетная международная организация ITU-R (Radio Communication Sector of the International Telecommunications Union) дает рекомендации по выбору моделей ионосферы и индексов солнечной активности для этих моделей. ITU-R рекомендует индекс R_{12} для долгосрочного прогноза параметров максимума F2-слоя ионосферы. Эта рекомендация была разработана в 1963 году, неоднократно подтверждалась и остается в силе по настоящее время. На основе сопоставления индексов R_{12} и F_{12} с так называемыми ионосферными индексами солнечной активности, которые получаются из ионосферных данных на основе решения обратных задач, получено, что в последние 14 лет индекс F_{12} стал более точным, чем R_{12} , индикатором солнечной активности для долгосрочного прогноза параметров максимума F2-слоя ионосферы. Тем самым показана необходимость пересмотра рекомендации ITU-R. Отмечены пути увеличения точности долгосрочного прогноза ионосферы на основе модификации индекса F_{12} для периодов низкой солнечной активности, для которых эффективность использования F_{12} понижена. Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-05-00179).

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА СБОИ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ GPS В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

В.И. Захаров^{1,2}, Ю.В. Ясюкевич², М.А. Титова³

¹*ФФ МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, zvi_555@list.ru.*

²*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

³*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, г. Москва, Россия.*

Спутниковые навигационные и связные системы являются неотъемлемой частью инфраструктуры современного общества, требования к оперативности и надежности которой в последнее время возрастают. Особенно это справедливо при освоении новых или удаленных территорий с неразвитой в силу целого ряда причин инфраструктурой. Анализ работы навигационных и связных систем показывает, что в настоящее время надежность их функционирования определяется не только и не столько аппаратными сбоями, но все в большей степени влиянием различных гео- и гелиофизических факторов, т.е. космической погодой, что сильнее проявляется в высоких широтах, например, в Арктике. В работе рассмотрены различные сильные геомагнитные возмущения (магнитные бури амплитудой 1500-2500 нТ) 2010-2014 г.г. для ряда групп станций Арктического региона, расположенных севернее 55⁰N. Нами проанализирована динамика проявления сбоев системы GPS в значительный временной период (до 1 месяца) вокруг даты изучаемого геомагнитного возмущения. В рассмотрении использованы данные 97 станций сети IGS, из которых особое внимание уделено цепочкам станций, ориентированным преимущественно в северном направлении на территории Аляски, Канады, Северной Европы. Это позволило впервые изучать динамику роста влияния высокоширотной ионосферы на принимаемый спутниковый сигнал. В качестве сбоев обсуждаются явления «инструментальной» потери фазы и псевдодальности, а также кратковременные вариации регистрируемого полного электронного содержания (ПЭС), величины которых не могут нести физического смысла и объясняться процессами в ионосфере и магнитосфере. Полученные данные о появлении сбоев сопоставляются не только с поведением высокоширотных геомагнитных индексов AE и AL, но и с непосредственными регистрациями магнитного поля и измерениями поглощения, рост которого является одной из основных причин появления сбоев. Проанализированы изменения вероятности для сбоев различных типов, получены количественные оценки влияния геомагнитного возмущения. Так, вероятность фазового сбоя по частоте L2 даже в спокойных условиях приема больше в несколько раз, чем по частоте кода захвата L1. Наличие геомагнитного возмущения приводит к росту этой величины в 5-20 раз для рассмотренных магнитных бурь. Частоты сбоев при определении ПЭС значительно – в 100 раз – больше, чем чисто инструментальные и также растут во время гео-гелиомагнитных возмущений различной природы. Анализ показывает, что возможным решением для уменьшения влияния сбоев на работу навигационной системы GPS является увеличение маски на угол возвышения спутника до 15-20⁰. Разработка методик анализа и проведение обработки ряда событий 2013-2014 г.г. выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00027). Обработка событий 2010 г, их анализ, сопоставление с данными магнитометров и риометров проведены Титовой М.А.

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ N₂ И СО В АТМОСФЕРАХ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

А.С. Кириллов

ПГИ, г. Анапты, Россия, kirillov@pgia.ru.

Проведен теоретический расчет констант гашения триплетных состояний $A^3\Sigma_u^+$, $V^3\Pi_g$, $W^3\Delta_u$, $V^3\Sigma_u^-$ молекулярного азота и триплетных состояний $a^3\Pi$, $a^3\Sigma^+$, $d^3\Delta$, $e^3\Sigma^-$ монооксида углерода при столкновении с молекулами верхних атмосфер Земли и Марса. Рассчитанные константы используются при моделировании населенностей колебательных уровней состояний N₂ в атмосфере Земли и состояний СО в атмосфере Марса при вторжении в верхние атмосферы планет высокоэнергичных авроральных электронов и солнечных протонов. Рассчитанные населенности позволяют оценить относительные интенсивности ультрафиолетовых полос Вегарда-Каплана (переход $A^3\Sigma_u^+ \rightarrow X^1\Sigma_g^+$) и видимых полос первой положительной системы (переход $V^3\Pi_g \rightarrow A^3\Sigma_u^+$) молекулярного азота в атмосфере Земли, а также ультрафиолетовых полос Камерона (переход $a^3\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$) и видимых полос Асунди (переход $a^3\Sigma^+ \rightarrow a^3\Pi$) монооксида углерода в атмосфере Марса. Показано влияние столкновительных процессов на населенности рассматриваемых триплетных состояний с увеличением плотности атмосфер.

СТРУКТУРА ДОЛГОТНЫХ, УТ- И ЛТ-ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ И ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В СПОКОЙНЫХ УСЛОВИЯХ И ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

**В.В. Клименко¹, М.В. Клименко^{1,2}, А.Т. Карпачев³, И.Е. Захаренкова^{1,4},
А.М. Веснин⁵, К.Г. Ратовский⁶, И.А. Галкин⁵**

¹*ЗО ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru.*

²*ФГАОУ ВПО БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия.*

³*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Троицк, МО, Россия.*

⁴*Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France.*

⁵*UML CAR, University of Massachusetts Lowell, Lowell, MA, USA.*

⁶*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Известно, что солнечная и геомагнитная активность влияют на поведение ионосферы высоких, средних и низких широт. При этом помимо суточных, сезонных, полугодовых и годовых вариаций обнаруживаются ионосферные вариации, зависящие от мирового (UT) и местного (LT) времени, а также от долготы. Долготная изменчивость ионосферы является одной из ее наиболее важных особенностей, пристальное внимание на исследование которой обращалось в последние 20 лет. Это связано с тем, что долготные вариации ионосферы сопоставимы по величине с суточными вариациями и, следовательно, важны для прогноза условий распространения радиоволн в спокойных геомагнитных условиях и, особенно, во время геомагнитных возмущений, при изменении параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. В своем исследовании долготных вариаций параметров системы ионосфера-плазма мы использовали Глобальную Самосогласованную Модель Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), IRI Real-Time Assimilative Mapping (IRТAM) и данные спутниковых (ИК-19, GPS, COSMIC, CHAMP) и наземных (иозонды) наблюдений. Следует отметить, что в модели ГСМ ТИП учитывается несовпадение географической и геомагнитной осей, а также зональный и меридиональный электромагнитный дрейф ионосферной плазмы, которые являются важными элементами для

модельного описания долготных вариаций в ионосфере и плазмосфере Земли. Рассмотрены основные морфологические особенности глобальной структуры, долготных, UT- и LT-вариаций распределения электронного содержания в системе ионосфера-протоносфера в период зимнего солнцестояния в минимуме и максимуме солнечной активности. Показано проявление аномалии моря Уэдделла и долготной структуры главного ионосферного провала (провала легких ионов) в полном, ионосферном и протоносферном электронном содержании. Впервые на основании модельных расчетов рассмотрены особенности долготных вариаций высоты перехода O^+/H^+ , что позволило оценить высоту границы между ионосферой и плазмосферой (протоносферой) для рассматриваемых условий. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ МК-4866.2014.5 (М.В. Клименко, И.Е. Захаренкова) и РФФИ №14-05-00788 (В.В. Клименко, А.Т. Карпачев, К.Г. Ратовский).

СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ $foF2$ И TEC ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ - ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМОСФЕРЫ

**М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко¹, Ф.С. Бессараб^{1,2}, К.Г. Ратовский³,
И.Е. Захаренкова^{1,4}, Ю.В. Ясюкевич³, Д.С. Котова², И.А. Носиков²**

¹ЗО ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, г. Калининград, Россия, maksim.klimenko@mail.ru.

²ФГАОУ ВПО БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия.

³ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

⁴*Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France.*

Принято считать, что суточные, сезонные и другие изменения полного электронного содержания (TEC) происходят только за счет изменений его ионосферной части, а вклад плазмосферы в эти изменения настолько мал, что не оказывает существенного влияния на поведение TEC и им можно пренебречь. Из-за этого принято считать, что возмущения TEC можно отождествить с возмущениями $foF2$. Данное исследование основано на результатах расчетов Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), данных спутниковых и наземных наблюдений основных параметров системы ионосфера-плазмосфера в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь 26-30 сентября 2011 года. Полученные результаты модельных расчетов позволили нам выявить вклад ионосферы и плазмосферы в динамику полного электронного содержания во время геомагнитной бури. Проведено сравнение: 1. глобальных карт возмущений $foF2$ и TEC и выявлены сходства и различия между ними; 2. возмущений $foF2$ и TEC над отдельно взятыми ионосферными станциями с последующим объяснением полученных между ними различий; 3. динамики возмущений широтных разрезов $foF2$ и TEC во время геомагнитных бурь в двух долготных секторах (Американском и восточно-Сибирском). Проведено детальное исследование механизмов формирования этих возмущений в различных широтных регионах на разных этапах развития геомагнитных бурь. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ МК-4866.2014.5 (М.В. Клименко, И.Е. Захаренкова, Д.С. Котова, И.А. Носиков), РФФИ №14-05-00578 (К.Г. Ратовский, В.В. Клименко, Ю.В. Ясюкевич) и Программы 22 РАН.

ОТРАБОТКА НА МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М» МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИОНОСФЕРУ НАГРЕВНОГО СТЕНДА СУРА

**С.И. Климов¹, Н.А. Айдакина², Д.И. Вавилов¹, Т.В. Гречко¹, В.А. Грушин¹,
Д.Ф. Дудкин³, И.В. Козлов¹, В.Е. Корепанов³, В.А. Костров², А.А. Ледков¹,
Д.И. Новиков¹, П. Сегеди⁴, Ч. Ференц⁴**

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sklimov@iki.rssi.ru.

²ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия.

³ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина.

⁴Университет Этвёша, г. Будапешт, Венгрия.

Научной программой академического микроспутника «Чибис-М» (25 января 2012г выведен на круговую орбиту высотой 513км и наклоном 51.6°), для магнитно-волнового комплекса МВК, предусмотрено, в частности, исследование электромагнитных параметров космической погоды в диапазоне 10... 4·10⁴ Гц [1, 2], в том числе, и техногенных воздействий на ионосферу. Предпосылкой отработки методики исследования воздействия на ионосферу нагревного стенда Сура (Lat 56°, Lon 46°) стали полученные за период 25.01.2012-14.10.2014гг. данные по регистрации на «Чибис-М» техногенных сигналов:

- навигационных передатчиков систем «Альфа» (RSDN-20, 11.905 кГц, 12.500 кГц, 12.649 кГц, 13.281 кГц, 14.881 кГц, 15.625 кГц; 500 кВт) и «Бета» (25.00 кГц, 25,10 кГц, 25.50 кГц, 23.00 кГц 20.50 кГц);

- излучений длинных линий электропередач (50 Гц, 60 Гц и их гармоники) [3].

В периоды работы стенда Сура по собственной программе, в нескольких случаях согласовывалось время его включения на период максимально близкого пролёта «Чибис-М» непосредственно от стенда или его магнитосопряжённой точки. В работе рассматриваются данные МВК и наземные данные КНЧ-ОНЧ излучений вблизи стенда.

[1]. Гуревич, А.В., Л.М. Зеленый, С.И. Климов. Научные задачи миссии «Чибис-М». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, серия «Механика, управление и информатика»/Под ред. Р.Р.Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009, с. 7-25.

[2]. Зелёный Л.М., А.В. Гуревич, С.И. Климов, В.Н. Ангаров, и др. Академический микроспутник «Чибис-М». Космические исследования, 2014, том 52, № 2, с. 93–105.

[3]. Д.Ф. Дудкин, В.А. Пилипенко, Ф.Л. Дудкин, В.А. Проненко. УНЧ излучение Шумановского резонанса и линий высоковольтных передач, обнаруженные микроспутником «Чибис-М» в верхней ионосфере, http://www.ex.ua/81500631_Proceedings.pdf, с. 34.

ВОЗМУЩЕНИЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ СТЕНДА «СУРА»

Д.А. Когогин, И.А. Насыров, С.М. Грач, А.В. Шиндин

ФГАОУ ВПО К(П)ФУ, г. Казань, Россия, dkogogin@kpfu.ru.

В течение 2010 - 2014 годов было проведено несколько экспериментальных сессий измерений полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере при воздействии на неё мощным радиоизлучением передатчиков стенда «Сура», расположенного в загородной лаборатории ФБГНУ НИРФИ «Васильсурск» (56°09' с. ш., 46°06' в. д.). ПЭС было получено с помощью двухчастотного радиопросвечивания сигналами навигационных спутников (НС) системы GPS, пролетающих над возмущенной областью в момент работы мощного радиопередатчика стенда. Так как спутники GPS, двигаются довольно медленно, ионосферная точка проникновения остается в пределах возмущенной области примерно 26

мин, что позволяет получить информацию о пространственных и временных характеристиках крупномасштабных неоднородностей электронной плотности. Регистрация сигналов от НС осуществлялась в трех пространственно-разнесённых пунктах, расположенных вдоль геомагнитной широты станда «Сура»: п. Васильсурск (расположен в непосредственной близости антенной системы станда «Сура»; использовался ГНСС-приёмник «Prego-T»); п. Зеленодольск (55°52' с. ш., 48°33' в. д.; использовался ГНСС-приёмник «Trimble NetR9»); п. Казань (55°48' с. ш., 49°08' в. д.; с декабря 2011г. используется ГНСС-приёмник «Trimble NetR9», до этого времени использовался приёмник «ТОРCON»). Расстояния между измерительными пунктами: Васильсурск–Зеленодольск – ~160 км; Васильсурск–Казань – ~200 км. Для детального изучения малых вариаций из исходной зависимости ПЭС от времени (наклонное полное электронное содержание), удалялся тренд при помощи вычитания скользящего среднего с линейной весовой функцией. В эксперименте, ионосферная точка проникновения пересекает возмущенную область (ВО) только для пункта наблюдения «Васильсурск» и не пересекает для пунктов «Зеленодольск» и «Казань». Но вариации ПЭС были обнаружены для всех трех пунктов наблюдения. Относительный размах вариаций ПЭС составил 0.2 – 0.5 TECU для различных экспериментальных дней и режимов излучения мощной радиоволны. Распространение крупномасштабных возмущений поперёк силовых линий магнитного поля (вдоль геомагнитной широты), обнаруженное в данной работе, на данный момент не имеет детального физического описания и требует дальнейшего изучения. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №13-02-00957-а, №14-02-31459-мол_а, №13-02-97072-поволжье_а).

ФОТОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ И МАРСА

А.А. Криволюцкий¹, Т.Ю. Вьюшкова¹, А.А. Куколева^{1,2}

¹ЦАО (Росгидромет), Россия.

²МГТА, Россия.

Рассматривается воздействие протонной вспышки 14 июля 2000 г. на химический состав атмосферы с помощью фотохимического моделирования. Для исследования отклика озоносферы Земли используется глобальная трехмерная фотохимическая модель **CHARM** (**C**hemical **A**tmospheric **R**esearch **M**odel), разработанная в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО [Krivolutsky et al., 2006]. При моделировании используется теоретическая концепция, развитая в работах [Porter et al, 1976; Solomon and Crutzen, 1981], в рамках которой было показано, что ионизация атмосферы, вызванная космическими лучами, приводит к дополнительному образованию окислов азота и водорода, разрушающих озон. Реализация численного сценария с помощью трехмерной модели показала, что озон практически полностью разрушается в мезосфере Земли под воздействием солнечных космических лучей в период СПС. Данная концепция была заложена в сценарий воздействия СПС 14.07.2000 г. на атмосферу Марса. Сценарий был реализован на основе одномерной фотохимической модели химического состава атмосферы Марса, созданной в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО. Модель включает все основные («малые» т.е., кроме CO₂, профиль которой был зафиксирован) составляющие атмосферы Марса. В модели учитывается диффузионный перенос. Расчеты показали, что эффект воздействия слабее, чем в атмосфере Земли. Данное направление работ соответствует интересам Международного проекта **HEPPA** (**H**igh **E**nergetic **P**article **P**recipitation in the **A**tmosphere).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ АВРОРАЛЬНЫХ СТРУКТУР С ПЕРСПЕКТИВНОГО МИКРОСПУТНИКА И ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

А.К. Кузьмин¹, Ю.С. Доброленский¹, И.А. Маслов¹, А.М. Мерзлый, С.А. Пулинец¹, Б.В. Козелов², С.А. Черноус²

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, alkkuzmin@mail.ru.*

²*ПГИ, г. Апатиты, Россия.*

Рассматриваются методические возможности и специфика экспериментов, нацеленных на исследования характеристик мелкомасштабных авроральных структур с помощью координированных наблюдений с орбиты микроспутника (сверху) и с поверхности Земли (снизу) на Кольском полуострове. Для измерений с орбиты на борту ориентированного на Землю микроспутника предполагается использование как приборов дистанционных оптических наблюдений, так и приборов, измеряющих параметры околоспутниковой плазмы (градиенты магнитного и электрического поля, энергетические распределения высыпающихся заряженных частиц и низкочастотного излучения). С поверхности Земли Полярным геофизическим институтом проводятся регулярные оптические наблюдения из нескольких точек на Кольском полуострове, в том числе с помощью спектрально-полосовых панорамных камер всего неба (обсерватория Ловозеро) и с помощью системы камер MAIN (Апатиты), включающей триангуляционную пару. Последовательности авроральных изображений, получаемых с орбиты с частотой ~ 0,5 сек бортовым авроральным имаджером, имеющим угол поля зрения более 30° и спектральную полосу от 350 до 600 нм, предполагается реконструировать для получения объемных изображений мелкомасштабных (~1-2 км) авроральных структур. К таким структурам относятся как относительно стационарные и долгоживущие в различных секторах MLT аврорального овала и полярной шапки (диффузные формы и полосы, драпри и узколокализованные по высоте спорадические слои усиленной интенсивности (enhanced aurora), узкие дуги разделенные относительно темными промежутками (black aurora), отдельные лучи и др., так и пульсирующие формы с периодом от 1 раза в сек/десятков сек. Одновременные измерения распределений интенсивности авроры в ограниченном интервале спектра на суточных орбитах, проходящих над Кольским полуостровом, с измерениями сетью наземных приборов, разнесенных на конкретные расстояния, обеспечат возможности реконструкции объемных изображений тех же авроральных структур, которые наблюдаются с орбиты одновременно. Авторы предполагают, что результаты наблюдений, проводимых по рассматриваемой методике, должны обеспечить новые данные о динамике и электродинамических процессах в системе взаимодействия магнитосферы с ионосферой, приводящих к возбуждению свечения наблюдаемых мелкомасштабных форм.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ В АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

Р.Ю. Лукьянова¹, А.Е. Козловский²

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

²ГО Соданкюля, Финляндия.

Внезапное стратосферное потепление (ВСП) является одним из наиболее значительных атмосферных явлений. Оно развивается в условиях полярной ночи и характеризуется увеличением стратосферной температуры над полюсом со скоростью порядка 10 градусов в сутки в течение нескольких дней. При этом обычный северо-южный температурный градиент меняет знак и происходит замедление средне-зональных западных ветров. В случае больших ВСП западные ветры замещаются восточными, что приводит к распаду полярного вихря, который заменяется блокированием над соответствующей областью. ВСП распространяется с высоты ~45 км в нижнюю стратосферу и тропосферу, оказывая непосредственное влияние на погоду. Во время ВСП волновая энергия распространяется также и вверх в мезосферу и ионосферу. Имеются данные наблюдений, свидетельствующие о динамическом сопряжении ВСП с экваториальной ионосферой. В полярной ионосфере ВСП вызывает еще более значительные возмущения. Однако в высоких широтах наблюдения динамических эффектов ВСП имеют достаточно фрагментарный характер. В данной работе представлены результаты измерений скорости нейтрального ветра и температуры в мезосфере-нижней ионосфере с помощью метеорного радара SkiYMET, начиная с 2008 г., а также результаты вертикального зондирования ионосферы с высоким временным разрешением в обл. Соданкюля (67.5N). Для определения температуры также использовались данные спутника AURA. Показано, что большие ВСП сопровождаются похолоданием на высотах 80-100 км, а также ветровыми сдвигами и изменением направления среднего ветра с юго-западного на северо-восточный. Ветровой сдвиг способствует генерации атмосферных гравитационных волн (АГВ), а превалирующий ветер – их проникновению в нижнюю ионосферу. На высотах слоя F2 во время ВСП, напротив, наблюдается резкое затухание амплитуды АГВ, что свидетельствует об усилении турбулентных процессов в нижележащих слоях. Особенности, присущие нижней ионосфере в декабре, во многом предопределили эффекты, наблюдавшиеся над северной Скандинавией при нештатной ситуации при запуске ракеты 9.12.2009.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ИОНОСФЕРУ

В.М. Сорокин, А.К. Ященко

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, sova@izmiran.ru.

В рамках электродинамической модели плазменных и электромагнитных возмущений, сопровождающих процессы подготовки землетрясений, найден механизм усиления с высотой электрического тока проводимости, протекающего в слое Земля – ионосфера, и механизм ограничения вертикальной компоненты поля на поверхности Земли. Механизм усиления обусловлен убыванием с высотой стороннего тока ЭДС, формируемой в нижней атмосфере, при условии сохранения полного тока, равного сумме стороннего тока и тока проводимости. В этом случае, даже в результате роста с высотой проводимости, поле в ионосфере может достигать величины порядка 10 мВ/м. Ток проводимости возникает в результате включения в глобальную цепь дополнительной ЭДС. Она формируется в нижней

атмосфере во время инъекции в нее заряженных аэрозолей литосферными газами и их переноса в конвективной атмосфере. Ограничение поля на поверхности Земли обусловлено обратной связью между сторонним током и генерируемым электрическим полем. Расчеты показали, что величина возмущения поля не превышает его фонового значения. Из проведенных расчетов следует, что появление ЭДС в глобальной цепи приводит к стимулированию ряда наблюдаемых плазменных и электромагнитных эффектов. Рост электрического поля приводит к неустойчивости акустико-гравитационных волн (АГВ) в ионосфере. Экспоненциальный рост амплитуды АГВ в электрическом поле в ионосфере ограничивается процессом формирования вихрей. В результате в E слое ионосферы возникают горизонтальные неоднородности ионосферной проводимости. Этот процесс сопровождается образованием плазменных неоднородностей в верхней ионосфере, вытянутых вдоль магнитного поля, и продольных токов. Появление плазменных неоднородностей и продольных токов приводит к УНЧ колебаниям и уширению спектра ОНЧ сигналов передатчиков, усилению электромагнитного излучения в КНЧ диапазоне регистрируемых на спутнике, депрессии геомагнитных пульсаций магнитосферных источников, формированию линейчатого спектра электромагнитных колебаний в УНЧ диапазоне и изменению частоты максимума шумановского резонанса. Возрастание электрического поля до пробойного значения в тропосфере приводит к появлению случайных электрических разрядов, УКВ радиоизлучению, генерируемому в тропосфере над эпицентром и распространению за горизонт сигналов УКВ передатчиков. Генерация электрического тока проводимости в глобальной цепи сопровождается модификацией D, E и F слоев ионосферы. Из-за ограничения изменений поля на Земле, которые могут быть меньше фоновых возмущений, спутниковые методы регистрации поля, связанного с сейсмической активностью, имеют преимущество по сравнению с наземными методами. Усиление поля в ионосфере сопровождается плазменными и электромагнитными эффектами, обусловленными ее реакцией на такое усиление.

ВЫСОТНЫЙ ПРОФИЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРО-ТЕРМАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЗАПЫЛЁННОГО ДИНАМО СЛОЯ НОЧНОЙ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ

**Е.Е. Тимофеев¹, С.Л. Шалимов^{2,3}, О.Г. Чхетиани^{3,4},
М.К. Валлинкоски⁵, Й. Кангас⁵**

¹ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, СПб.

²ИФЗ им. О.Ю. Шмидта, РАН, г. Москва, Россия.

³ИКИ, РАН, г. Москва, Россия.

⁴ИФА им. А.М. Обухова, РАН, г. Москва, Россия.

⁵ОКУ г. Оулу, Финляндия.

По данным измерений параметров ионосферы радаром EISCAT в магнитном зените авроральной обсерватории Тромсё, накопленных по материалам наблюдений 20-ти авроральных суббурь, относящихся к периоду международного эксперимента ERRIS, в настоящей работе выполнен анализ характеристик пространственных решёток, состоящих из серий от 3 до 15-ти аномальных электро-термальных структур (ЭТС). Аномальная с точки зрения традиционной модели динамо слоя ионосферы, положительная величина разности температур ионов (Т_и) и электронов (Т_э), в таких ЭТС структурах формируется за счёт описанного в работе (Тимофеев и др. 2013) эффекта охлаждения электронов и нагрева ионов на частицах метеорной пыли. Подобный эффект имеет место только в условиях малых (ниже порога Фарлей-Бунемановской (ФБ) неустойчивости) электрических полей. Впервые характеристики таких ЭТС структур, были описаны в работе (Тимофеев и др. 2014) на материале наблюдений, ограниченных диапазоном высот: ~105±2,5 км. Настоящий доклад

резюмирует анализ характеристик ЭТС структур по данным измерений, выполненных параллельно на 3-х высотных уровнях динамо слоя ионосферы: (~105, 110 и 115) км. Показано, что: 1) ЭТС структуры устойчивы при величинах плотности ионизации (N_e) и напряжённости электрического поля (E -поля) не превышающих определенного порогового уровня. Пороговая величина (N_e) растёт с высотой так, что на высотах 110 и 115 км становится примерно в 2 и 3 раза выше порогового уровня ($N_e \sim 5 \cdot 10^4 / \text{см}^3$), характерного для высоты 105 км. Пороговая величина E -поля, напротив, падает с высотой, составляя около (~15-20), (~7-10) и (~3-5) мВ/м, на высотах ~105, ~110 и ~115 км, соответственно; 2) Огибающая вариаций температур каждой ЭТС структуры обладает, т.н. зеркальной симметрией: каждому локальному максимуму величины T_i зеркально соответствует локальный минимум величины T_e . Однако такая симметрия нарушается, как только величина E -поля превысит порог ФБ-неустойчивости на данной высоте. 3) Зеркальность повторяется с ростом масштаба при объединении соседних структур в диады так, что на месте бывшего максимума величины T_i в соседней структуре будет минимум T_i , а на месте бывшего минимума T_e будет максимум T_e ; 4) Спектр поперечных масштабов таких полуволн простирается от ~3 до ~80 км. Иерархия масштабов спектра указывает на самоподобие, т.е. полуволны более мелких масштабов являются структурой полуволн более крупных масштабов; 5) Дрейф диад, образованных двумя соседними полуволнами, сопровождался вращением азимута вектора E -поля. При этом рост T_i и одновременный спад T_e сопровождался вращением азимута в направлении (N, N-W, S), тогда как в соседней полуволне рост T_e и спад T_i сопровождался вращением азимута вектора E -поля в противоположном направлении (N, N-E, S). В одной из суббурь (17-19 UT; 10.04.1988) полный угол поворота азимута E -поля в полуволнах составил 360° . Это означает образование в E -слое двух соседних противоположно вращающихся круговых вихрей. Описанные выше особенности ЭТС структур интерпретируются в рамках нелинейной эволюции иерархии структур, возникающих в результате неустойчивости Экмановского типа.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ИОННО-ЦИКЛОТРОННОГО ТИПА В АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

**А.А. Чернышов¹, А.А. Ильясов¹, М.М. Могилевский¹,
И.В. Головчанская², Б.В. Козелов²**

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, achernyshov@iki.rssi.ru.*

²*ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия.*

Авроральная ионосфера является сильно неоднородной средой, где существуют неоднородности плотности плазмы, градиенты концентрации на границах авроральной области и полярной шапки, а каверны плотности часто сопровождают развитие широкополосной турбулентности. Наблюдаемую электростатическую широкополосную турбулентность можно объяснить с помощью теории электростатических ионно-циклотронных волн. В этом случае поток ионов вдоль магнитного поля, имеющий градиент потоковой скорости поперек магнитного поля, изменяет существенным образом дисперсионные свойства неустойчивости. В рамках этой теории предполагается, что источником возмущений является неустойчивость, к которой приводит неоднородное распределение плотности энергии, связанное со сдвигом скорости в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Учет неоднородностей плазменной концентрации может привести к изменению порога возбуждения неустойчивости и, следовательно, изменению инкремента неустойчивости. В связи с этим, для изучения неустойчивостей, к которым приводят неоднородное распределение плотности плазмы и электрического поля в высокоширотной ионосфере, разработаны вычислительные алгоритмы и проведено

численное моделирование при различных параметрах плазмы. Для этого проанализировано нелокальное дисперсионное уравнение для данного типа волн и показано, что оно имеет неустойчивые решения для широкого набора частот и волновых чисел, которые проявляются в спутниковых измерениях как широкополосный спектр электростатических возмущений в КНЧ диапазоне. Проведены расчеты при различных конфигурациях как электрического поля, так и концентрации плазмы, где использованы модельные распределения и экспериментальные данные со спутников FREJA и FAST. Показано, что учет неоднородностей плотности плазмы приводит к изменению порога возбуждения неустойчивости, и они могут являться источниками генерации электростатических ионно-циклотронных волн в высокоширотной ионосфере Земли. Также проведено сравнение результатов, полученных с использованием экспериментальных и модельных данных. Показано, что вид распределения слабо влияет на развитие такого рода неустойчивостей.

СЕКЦИЯ «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОСОБЕННОСТИ ИОНОСФЕРНЫХ ОТКЛИКОВ НА СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВЗРЫВЫ

А.Д. Акчурин, К.М. Юсупов, А.Р. Зайнуллина

КФУ, г. Казань, Россия, adel.akchurin@kpfu.ru.

В КФУ с начала 2010 года ведется продолжительный эксперимент по исследованию ионосферы с помощью ионозонда «Циклон» в учащенном режиме (с 1 минутной периодичностью регистрации ионограмм). На основе накопленных данных приводятся результаты исследования откликов ионосферы на сильные землетрясения и взрывы. На ионограммах ионозонда «Циклон» г. Казань были обнаружены множественные расслоения следов F1 после землетрясений Чили, Суматры и Индонезии. Расслоения следов F1, наблюдаемые на ионограммах, характерны для землетрясений с высокой магнитудой более 8. Перемещающиеся ионосферные возмущения не затрагивают слой F2. Выявлено, что отклики ионосферы на сильные землетрясения (магнитудой выше 8) могут наблюдаться на расстоянии более 15000 км. В дневные часы при появлении таких откликов искажается форма профиля электронной концентрации F-слоя, что проявляется на ионограммах в виде множественного расслоения следа F1-слоя. В это время значительно снижается высотный градиент электронной концентрации в слое F1, и это ведет к тому, что небольшое возмущение на таком градиенте, искривляя некоторые участки профиля электронной концентрации, уменьшает значения локального градиента электронной концентрации до нулевых (или даже отрицательных) значений. Рассчитанные горизонтальные скорости перемещения ионосферных возмущений порядка 3-4 км/с могли быть вызваны волнами Рэлея. С помощью конвертирования ионограммы в Ne(h) профиль и выявлены особенности вертикального распространения перемещающихся ионосферных возмущений, вызванных рассматриваемыми землетрясениями. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-00967а.

ДИАГНОСТИКА СЛУЧАЙНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ КОГЕРЕНТНОГО РАДАРА ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Н.Т. Афанасьев, В.П.Марков

ИГУ, г. Иркутск, Россия, spacetaklay@gmail.com.

В последнее время для диагностики неоднородной структуры ионосферы высоких и средних широт активно используются когерентные радары декаметрового диапазона. Главным направлением работы когерентного радара является изучение мелкомасштабных (декаметровых) неоднородностей электронной плотности методом обратного рассеяния. Кроме того, радар позволяет исследовать ионосферу в режиме возвратно-наклонного зондирования, когда осуществляется прием декаметрового сигнала, рассеянного назад от земной поверхности. Между тем, вследствие многообразия типов ионосферных неоднородностей и особенностей механизмов рассеяния декаметровых радиоволн, решение обратной задачи в многомасштабной случайно-неоднородной ионосфере с помощью когерентного радара представляет большую проблему. В работе рассмотрена возможность

диагностики среднemasштабных случайных неоднородностей электронной плотности (с поперечными масштабами порядка и больше размера зоны Френеля) путем совместного анализа статистических траекторных характеристик сигнала ВНЗ радара SuperDARN. Получена система интегральных уравнений, связывающих дисперсии и взаимно-корреляционные функции групповой задержки, углов прихода и доплеровского смещения частоты сигнала ВНЗ с пространственно-временной корреляционной функцией флуктуаций электронной плотности, характеризующей движущиеся случайные неоднородности. Для модели трехмерного анизотропного корреляционного эллипсоида, описывающего обобщенные (интегральные) свойства поля среднemasштабных неоднородностей получено решение системы уравнений для моментов траекторных характеристик декаметрового сигнала относительно параметров статистической изменчивости электронной плотности. Приведены результаты численной реконструкции случайного поля неоднородностей по статистическим траекторным характеристикам однокачкового сигнала ВНЗ.

РЕЗОНАНСНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ УНЧ СИГНАЛОВ ПО ДОПЛЕРОВСКИМ РАДАРНЫМ ДАННЫМ

В.И. Бадин

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, badin@izmiran.ru.

Посредством низкочастотной фильтрации высокоширотных доплеровских радарных данных обнаружено специфическое поведение УНЧ полутени в поле зрения радара: полутень расширяется по направлению к геомагнитному экватору по мере расширения полосы пропускания низкочастотного фильтра, причем этот эффект отсутствует в нижней части изучаемого диапазона, но появляется при переходе к более высоким частотам. Простое и естественное объяснение такого поведения полутени состоит в поглощении УНЧ сигналов на экваториальной стороне поля зрения радара. Поглощение появляется выше некоторого частотного порога, и зона поглощения расширяется по направлению к экватору по мере повышения верхней частоты пропускания низкочастотного фильтра. Сопоставление полученных результатов с теорией МГД резонансов магнитных силовых линий позволяет объяснить наблюдаемое явление, зависящее от частоты, резонансным поглощением УНЧ сигналов в магнитосферном МГД резонаторе. Физика явления состоит в динамическом демпфировании колебаний поперечного электрического поля магнитными силовыми линиями. В результате этого процесса энергия колебаний поперечного электрического поля переходит в энергию продольных электрических токов, которая поглощается ионосферой. Для количественного определения величины частотного порога явления предложен вариационный анализ дискретного преобразования Фурье (ДПФ) доплеровских радарных данных. Поскольку поглощение происходит в резонансном континууме частот, эффект моделируется ступенчатым падением спектральной мощности ДПФ на пороговой частоте. Вариационный анализ с помощью метода наименьших квадратов наилучшим образом вписывает ступенчатую модель в спектральную мощность ДПФ, что позволяет получить количественную оценку минимальной частоты резонансного поглощения. Ввиду приближенного характера как исходных данных, так и самого ДПФ, поставленная вариационная задача в некоторых случаях может оказаться некорректной. Тем не менее, в таких случаях возможна регуляризация задачи. Предложенный вариационный анализ обеспечивает количественную оценку минимальной частоты резонансного поглощения УНЧ сигналов в магнитосфере. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с теоретическими численными расчетами резонансных МГД частот в магнитосфере. Работа поддержана РФФИ, код проекта 14-05-00179.

НАБЛЮДЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ВСПЫШЕК ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ “РЭЛЕК” НА СПУТНИКЕ “ВЕРНОВ”

В.В. Богомолов^{1,2}, **С.И. Свертилов**^{1,2}, **А.Ф. Июдин**¹, **М.И. Панасюк**^{1,2},
С.И. Климов³, **Г.К. Гарипов**¹, **Х. Роткель**⁵, **Ч. Ференц**⁴, **П.А. Климов**¹,
Т.М. Мишиева^{1,2}.

¹МГУ, НИИЯФ, г. Москва, Россия.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, ФФ, г. Москва, Россия.

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

⁴Университет Этвеша, Венгрия.

⁵ЦКИ Польской АН, Польша.

В состав комплекса научной аппаратуры (КНА) “РЭЛЕК” на спутнике “Вернов”, запущенном в июле 2014 года, входит спектрометр гамма-излучения и электронов ДРГЭ. Этот прибор включает в себя набор сцинтилляционных фосвич-детекторов, в том числе четыре идентичных детектора рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 10 кэВ до 3 МэВ суммарной площадью $\sim 500 \text{ см}^2$, направленных на атмосферу, а также спектрометр электронов, содержащий три взаимно-ортогональных детекторных узла с геометрическим фактором $\sim 2 \text{ см}^2 \cdot \text{ср}$. Задачей космического эксперимента с прибором ДРГЭ является исследование явлений, имеющих быструю переменность, в частности, атмосферных гамма-вспышек (TGF) и высыпаний магнитосферных электронов. В связи с этим в приборе предусмотрена передача как мониторинговой информации с временным разрешением 1с, так и пособытийно, с фиксацией времени регистрации каждого гамма-кванта или электрона с точностью $\sim 15 \text{ мкс}$. Это позволяет не только проводить детальный анализ переменности в гамма-диапазоне, но и сопоставлять временные профили с результатами измерений других приборов КНА “РЭЛЕК” (детектор оптических и ультрафиолетовых вспышек, радиочастотный и низкочастотный анализаторы параметров электромагнитного поля), а также с данными наземных измерений молниевой активности. В данной работе представлен первый каталог всплесков гамма-излучения атмосферного происхождения, зафиксированных при обработке 3 месяцев данных КНА “РЭЛЕК”. Критерий отбора всплесков требовал регистрации не менее 5 жестких квантов в течение 1 мс как минимум двумя независимыми детекторами. TGF, входящие в каталог, имеют характерную длительность $\sim 400 \text{ мкс}$, за которые фиксируются 10-40 гамма-квантов. Для каждого из кандидатов приводятся временные профили, спектральные характеристики, и географическое положение, а также результат сопоставления с показаниями других приборов, установленных на спутнике “Вернов”.

АРХИВ ДАННЫХ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ СО СПУТНИКАМИ ВЕНЕРА-15, ВЕНЕРА-16

А.Л. Гаврик, **Т.Ф. Копнина**, **А.А. Смыслов**

ФИРЭ РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@ire216.msk.su.

В период с 12.10.1983 по 24.09.1984 было проведено двухчастотное радиопросвечивание газовой оболочки Венеры с помощью спутников *Венера-15*, *-16* (длины волн 32 и 8 см). В составе аппаратуры была впервые использована цифровая система регистрации, что позволило через 30 лет восстановить зарегистрированные радиосигналы с целью применения усовершенствованных методов для более точных измерений параметров радиополя.

Сведения о результатах двухчастотного радиопросвечивания газовой оболочки Венеры сигналами спутников *Венера-15,-16* в информационных ресурсах почти не представлены, а эти радиозатменные данные позволяют выявлять неизвестные ранее свойства ионосферы Венеры, т.к. дециметровый диапазон радиоволн обеспечил уникальную возможность исследования разреженной плазмы в ночной ионосфере Венеры и в нижней области дневной ионосферы. В архив данных SSDA (Solar System Data Archive) включены все файлы с результатами радиозатмений спутников *Венера-15,-16*, полученные на разных стадиях исследований: сводная таблица экспериментов, данные цифровой регистрации радиополя двух когерентных радиоволн, результаты определения мощности и частоты двух когерентных сигналов, высотные профили электронной концентрации, баллистические данные и другая информация об условиях проведения экспериментов. Создание архива и его доступность в информационном ресурсе космических исследований предоставит возможность использования результатов радиозатменных экспериментов со спутниками *Венера-15,-16* для решения фундаментальных проблем сравнительной планетологии. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 22 Президиума РАН "Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы".

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ ИОНОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ИЗМЕРЕННЫХ АППАРАТУРОЙ ЭКСПЕРИМЕНТА «ОБСТАНОВКА (1 ЭТАП)» НА БОРТУ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

В.А. Грушин¹, С.И. Климов¹, Д.И. Новиков¹, В.Е. Корепанов², И.Э. Белова¹, Ш. Салаи³, К. Балайти³, Я. Надь³

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

²*Львовский филиал ИКИ АНУ.*

³*Вигнеровский ЦИЧП Венгерской АН, г. Будапешт, Венгрия, vgrushin@iki.rssi.ru.*

Исключительным преимуществом эксперимента на борту МКС является возможность получения долговременных однородных измерений на стабильной орбите в ионосфере, вблизи слоя F2. Для получения таких измерений в ИКИ РАН с широкой кооперацией создан и с 19 апреля 2013 года эксплуатируется на РС МКС плазменно-волновой комплекс (ПВК). Одним из видов информации регулярно получаемой ПВК являются вычисленные на борту вариации магнитного поля, электрического поля и тока плазмы. Измерения проводятся комбинированным волновым зондом (КВЗ), который опрашивается бортовым процессором ПВК с частотой 800 Гц, после чего, процессором каждую секунду вычисляется и передаётся в штатную бортовую телеметрию среднееквадратичное отклонение каждого из трёх параметров за эту секунду. За полтора года практически непрерывных наблюдений накоплен массив данных, пространственно-временной анализ которых позволяет, с одной стороны, сделать заключения о существовании связи количества и мощности аномалий с временем суток, временем года, магнитным локальным временем и дипольной магнитной широтой, и, с другой стороны, выбрать данные для детального физического анализа.

ГЛОБАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОСФЕРНОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Т.Л. Гуляева¹ и Ф. Арикан²

¹ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, gulyaeva@izmiran.ru.

²Университет Хасетене, г. Анкара, Турция.

По глобальным картам полного электронного содержания GIM-TEC и W-индекса ионосферной погоды за 1999-2014 годы [1-3] определены регионы повышенной ионосферной возмущенности. Карты W-индекса рассчитаны по картам GIM-TEC Лаборатории JPL (США) в формате IONEX с шагом 2.5° по широте и 5° по долготе. По картам W-индекса разработаны критерии и составлен Каталог ионосферных бурь за 1999-2014, предоставленный на сайте <http://www.izmiran.ru/services/iweather/storm/>. Оценено распределение плотности вероятности положительных ионосферных бурь ($W^+ = 3$ и 4) и отрицательных бурь ($W^- = -3$ и -4) в 240 секторах ионосферы, разделенной на 10 широтных зон (две зоны по 10° у полюсов и восемь зон по 20°), и 24 долготные зоны через 15°. Показано, что проявления бурь в ионосфере соответствуют солнечной активности, при этом интенсивность отрицательных бурь в 2 раза превышает интенсивность положительных бурь при высокой и средней солнечной активности, а в протяженном минимуме 23го солнечного цикла в 2007-2009 годах это соотношение меняется на противоположное и интенсивность бурь W^+ в 1.2 раза превышает W^- . В течение 23-24 циклов солнечной активности отмечены регионы повышенного проявления отрицательных ионосферных бурь в Антарктике и положительных ионосферных бурь в Южной Америке, северном побережье Европы и России, а также в долготном секторе между -30° и 30°E в Антарктике. По картам GIM-TEC отмечено влияние повышенной сейсмической активности на ночную ионосферу в южной части Тихого океана [4]. При этом регионы повышенных ионосферных бурь, обусловленных источниками на Солнце и в межпланетной среде, не совпадают с зонами повышенной сейсмической активности, определенными по Каталогу ANSS (Центр данных землетрясений в Северной Калифорнии, США) с магнитудой выше $M=5+$, расположенными в Азиатско-Тихоокеанском регионе с доминирующей зоной южнее магнитного экватора в Тихом океане [5]. Предполагается, что к дальнейшим исследованиям сейсмо-ионосферных связей следует привлекать новые источники данных об ионосферной возмущенности. Это исследование выполнено при поддержке совместного гранта РФФИ 13-02-91370-СТ_a и TUBITAK 112E568.

[1] Gulyaeva, T.L., F. Arikan, M. Hernandez-Pajares, I. Stanislawski. GIM-TEC adaptive ionospheric weather assessment and forecast system. *J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.*, 102, 329–340, doi:10.1016/j.jastp.2013.06.011, 2013.

[2] Gulyaeva, T.L., F. Arikan, I. Stanislawski. Probability of occurrence of planetary ionosphere storms associated with the magnetosphere disturbance storm time events. *Advances in Radio Sci.*, 12, 261-266, doi:10.5194/ars-12-261-2014, <http://www.adv-radio-sci.net/12/261/2014/ars-12-261-2014.pdf>, 2014.

[3] Arikan, Feza, Umut Sezen, Onur Cilibas, Tamara L. Gulyaeva, Online, Automatic, Ionospheric Maps: IRI-PLAS-MAP. *Adv. Space Res.*, doi:10.1016/j.asr.2014.10.016, 2014.

[4] Gulyaeva, T.L., F. Arikan, M. Hernandez-Pajares, and I.S. Veselovsky. North-south components of the annual asymmetry in the ionosphere, *Radio Sci.*, 49(7), 485-496, doi:10.1002/2014RS005401, 2014.

[5] Gulyaeva, T.L. Association of seismic activity with solar cycle and geomagnetic activity, *Development in Earth Science*, 2, 14-19, <http://www.seipub.org/des/>, 2014.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ОТРАЖЕНИЯ МОЩНОЙ РАДИОВОЛНЫ И ГРАНИЦ ОБЛАСТИ ПЛАЗМЕННЫХ РЕЗОНАНСОВ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ НАГРЕВНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СТЕНДЕ «СУРА» В АВГУСТЕ 2014 ГОДА

В.О. Дементьев, И.А. Насыров, А.Б. Белецкий, С.М. Грач

К(П)ФУ, г. Казань, Россия, vdemen@yandex.ru.

В работе на основе международной справочной модели ионосферы IRI-2012 проводятся численные эксперименты для нахождения высоты отражения лучевых траекторий радиоволн и границ высот области плазменных резонансов ионосферы. Модель ионосферы IRI-2012 позволяет получить распределение электронной концентрации по высоте при заданных географических координатах с учётом критической частоты ионосферы f_oF_2 , полученной на ионосферной станции «Циклон» ($55^{\circ}50'55.65''N$, $48^{\circ}48'29.32''E$). Расчёты были сделаны для 7 дней (21, 22, 23, 24, 26, 28, 29 августа 2014 г.) в вечернее время (21:40–00:30 UTC+4), в которые проводились нагревные эксперименты на стенде «СУРА». Известно, что в ионосфере существует собственные плазменные волны. В частности, важными для исследования являются верхнегибридные и ленгмюровские волны. При воздействии на ионосферу мощной радиоволной стенда «СУРА» ($56^{\circ}8'37.28''N$, $46^{\circ}5'56.57''E$), частота которой совпадает с частотами верхнегибридных и ленгмюровских волн, возникают явления плазменных резонансов. Одно из необходимых условий существования области плазменных резонансов – частота мощного радиопередатчика должна быть меньше критической частоты ионосферы f_oF_2 . Нижней границей плазменных резонансов является та высота, на которой частота передатчика совпадает с частотой верхнегибридных волн, а верхней границей – та высота, на которой частота передатчика совпадает с частотой ленгмюровских волн. В результате анализа показано, что слой плазменных резонансов расположен на высотах от 240 до 310 км. Границы высот плазменных резонансов и высоты отражения траекторий уменьшаются с уменьшением частоты передатчика. Критическая частота ионосферы f_oF_2 уменьшается с течением времени от вечера к ночи. С уменьшением критической частоты ионосферы f_oF_2 границы высот плазменных резонансов и высоты отражения траекторий радиоволн увеличиваются. Толщина слоя плазменных резонансов составляет в среднем от 7 до 9 км. Высота отражения траекторий находится выше примерно на 1–2 км от верхней границы ленгмюровского резонанса. Полученные результаты согласуются с данными проведённых оптических измерений одновременно в нескольких приёмных пунктах, в ходе которых было замечено искусственное оптическое свечение ионосферы. Высота слоя плазменных резонансов, рассчитанная при численном эксперименте, и пятно искусственного свечения ионосферы на снимках, полученных на приёмном пункте магнитной обсерватории КФУ ($55^{\circ}55'49.93''N$, $48^{\circ}44'40.15''E$), расположены очень близко друг к другу. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-12-00706) и РФФИ (грант № 13-02-00957). Авторы выражают благодарность техническому персоналу стенда «СУРА» и сотрудникам ионосферной станции «Циклон» за помощь в проведении экспериментов.

ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИЙ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЫСОТАХ НИЖНЕГО ИОНОСФЕРНОГО РЕЗОНАТОРА (СУБ-ИАР) НА СУТОЧНУЮ ДИНАМИКУ СПЕКТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ УНЧ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Е.Н. Ермакова¹, А.В. Першин¹, Д.С. Котик¹, Т. Безингер², К. Чжоу³

¹ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, l.ermakova@nirfi.sci-nnov.ru.

²Университет Оулу, Финляндия.

³Университет Майами, США.

Работа посвящена исследованию влияния ионосферных параметров на спорадические и долговременные вариации поляризационных спектров УНЧ магнитного фонового шума. Были использованы данные низкочастотной регистрации горизонтальных магнитных компонент на среднеширотной обсерватории ФГБНУ НИРФИ Новая Жизнь и ионозонда SADY, расположенного в 30 км от приемного пункта (Нижегородская область, Россия). Одновременный анализ низкочастотных данных и данных ионозонда позволил установить изменения в профилях ионосферных параметров, приводящие к спорадическим вариациям спектров фонового шума. Для анализа были использованы данные за 2 летних периода 2013 и 2014 гг. и осенний период 2012 г. Были выделены близкие по времени сутки с разной динамикой и разной величиной характерных параметров спектров поляризации. На основе данных ионозонда были построены за эти сутки временные зависимости критической частоты максимума f^oF2 F -слоя, критической частоты f^oEs слоя Es (если такие слои существовали) и высота положения максимума F -слоя – $hmF2$. Синхронный анализ данных ионозонда и спектрограмм поляризационного параметра (ϵ) показали, что:

1. Суточные спектры параметра ϵ с низким значением граничной частоты f_{gp} порядка 1-2 Гц (частоты отделяющей положительные значения от отрицательных в величине ϵ) в 70 % случаев наблюдались при появлении спорадических слоев Es с $f^oEs > 3-5$ МГц;
2. Суточные спектры ϵ с более низким значением граничной частоты f_{gp} в случае отсутствия спорадических слоев наблюдались при более высоких значениях $hmF2$.
3. Спорадические изменения в суточной динамике спектра ϵ , связанные с резким понижением f_{gp} , сопровождались резким увеличением $hmF2$ и появлением Es слоя.
4. Появление спорадических слоев с $f^oEs > 8-9$ МГц коррелировало с исчезновением проявления структуры суб-ИАР в спектрах ϵ . Были выполнены также численные расчеты поляризационного параметра на базе модели IRI-2012 и с заданием дополнительного модельного слоя Es . Расчеты показали, что слой Es толщиной 5-10 км с $f^oEs > 3-5$ МГц может приводить к резкому уменьшению f_{gp} в спектрах поляризационного параметра и даже исчезновению проявления структуры суб-ИАР в спектре ϵ , что связано с сильным увеличением оптической толщины резонатора. Также было выполнено численное моделирование спектров параметра ϵ для низкоширотного пункта Аресибо (18.3 с.ш., 66.75 з.д.) с использованием ионосферных профилей, полученных по измерениям радара некогерентного рассеяния. Результаты анализа подтвердили, что спорадические уменьшения f_{gp} в суточной спектрограмме поляризации магнитных УНЧ полей и на этом пункте связаны с появлением сильных Es слоев и увеличением высоты максимума F -слоя.

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА ЭЛЕКТРОНОВ НА ОПТИЧЕСКОЕ СВЕЧЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ В ЛИНИИ 630 НМ. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЁТОВ С ДАННЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Д.А. Иванов, С.М. Грач, А.В. Шиндин, В.В. Клименко

НГУ им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, ivanov-dmitry@outlook.com.

Оптическое свечение ионосферы/верхней атмосферы в линии с длиной волны $\lambda = 630$ нм (красная линия атомарного кислорода) возникает при переходе возбуждённых атомов кислорода из состояния $O(^1D)$ (энергия возбуждения уровня $I = 1,96$ эВ) в основное состояние. Возбуждённые атомы возникают в результате диссоциативной рекомбинации ионов молекулярного кислорода и при столкновениях энергичных электронов с невозбуждёнными атомами. Воздействие мощного радиоизлучения на ионосферу влияет на оба эти процесса. Ускорение электронов плазменными волнами, возникающими в результате параметрических неустойчивостей, и их омический нагрев (как плазменными волнами, так и непосредственно волной накачки) приводят к увеличению числа частиц с энергиями $E > I$, увеличению числа «возбуждающих» столкновений и, следовательно, к увеличению яркости свечения. В свою очередь, омический нагрев в результате температурной зависимости коэффициента диссоциативной рекомбинации ($\alpha_{\text{дисс}} \sim T_e^{-1/2}$) ведёт к уменьшению числа возбуждённых атомов и к уменьшению яркости. В докладе анализируется влияние нагрева электронов мощной радиоволной на подавления свечения в красной линии. Рассмотрена система пяти дифференциальных уравнений, описывающих изменение электронной концентрации N_e в результате рекомбинации с ионами молекулярного кислорода O_2^+ ; изменение концентрации O_2^+ в результате рекомбинации (уменьшение) и перезарядки в результате столкновений ионов атомарного кислорода O^+ с молекулами кислорода O_2 (увеличение), изменение концентрации возбуждённых атомов кислорода в состоянии $O(^1D)$ в результате рекомбинации (увеличение) и гашения уровня при излучении кванта красного света и столкновениях с невозбуждёнными молекулами и атомами; изменения концентрации O^+ в результате реакции перезарядки, а также поведение электронной температуры в ионосфере T_e при нагреве мощной радиоволной. На основе анализа этой системы строится теоретическая модель динамики яркости свечения ночной ионосферы в линии 630 нм. Показано, что с включением волны накачки имеет место уменьшение яркости свечения ионосферы, которое достигает $\approx 2\%$ от фоновых значений и переходит в медленный рост яркости приблизительно через 60 сек (длительность импульса накачки 2 мин). После отключения накачки рост становится более резким, яркость свечения начинает превышать фоновое значение также на 2%. Спустя примерно 60 сек рост переходит в релаксацию к исходному значению. Такое поведение яркости свечения объясняется разницей характерных времён изменения коэффициента диссоциативной рекомбинации $\tau(\alpha_{\text{дисс}}) \sim 10$ с и изменения концентрации молекулярных ионов $\tau(O_2^+) \sim 100$ с. Сравнение результатов расчётов с данными экспериментов на стенде «Сура», проведённых 7 и 8 сентября 2010 года, показывает, что модель достаточно хорошо описывает реальную динамику яркости свечения. Проведенные расчеты адекватно описывают наблюдаемую физическую картину и использовать данные эксперимента в диагностических целях. В частности, появляется возможность оценивать изменение электронной температуры при воздействии по экспериментальным данным, полученным в ходе оптического свечения ионосферы в линии 630 нм. Работа поддержана грантами РФФИ 14-02-31459 и РНФ 14-12-00706.

ВЛИЯНИЕ ПОТОКОВ ПРИМЕСНЫХ ЧАСТИЦ И ВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В АТМОСФЕРЕ И ИОНОСФЕРЕ

Н.И. Ижовкина

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, izhovn@izmiran.ru.

Возникновение вихревых структур стохастически детерминировано в неоднородной гиротропной атмосфере в поле градиентов давления. Гиротропия атмосферы связана с действием силы Кориолиса при вращении Земли и движением заряженных частиц в геомагнитном поле под воздействием силы Лоренца. В атмосфере наблюдаются молниевые разряды и вихри облачной массы. Зарождение электрического поля плазменных вихрей возникает в полях градиентов давления мозаичной ячеистой топологии при ионизации частиц. Ионизация частиц смога естественного и антропогенного происхождения солнечным и космическим излучением способствует образованию атмосферных вихревых структур плазменного типа, похожих на вихревые структуры в ионосфере. В работе показано, что волны в нейтральной атмосфере, электрические поля и электромагнитные волны влияют на устойчивость вихревых структур. Волновые сигналы от антропогенных источников и смог при прохождении облачного фронта могут стимулировать локальные осадки и ослаблять или усиливать вихревые структуры. Возможен захват плазменным вихрем заряженных частиц, имеющих разную массу. Разделение заряда в плазменных вихревых структурах вызвано поляризационным дрейфом при затухании электрических полей, ортогональных геомагнитному полю. Самофокусировка плазменных вихрей при конденсации влаги в атмосферной облачности приводит к нарастанию энергии вихрей.

КОГЕРЕНТНОЕ УСИЛЕНИЕ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

Я.А. Илюшин

МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, ilyushin@phys.msu.ru.

При однопозиционной радиолокации случайно-неоднородной среды в наблюдаемом радиолокационном отражении присутствует вклад когерентно усиленного обратного рассеяния [1]. Этот эффект должен соответствующим образом учитываться в теоретических расчетах и практической интерпретации данных радиолокационного зондирования. В ионосферной и солнечной плазме, наряду со случайными возмущениями концентрации турбулентной и иной природы, имеет место также регулярная слоистая стратификация коэффициента преломления. В то же время, эффект слабой локализации (когерентного усиления обратного рассеяния) волн в случайно неоднородной среде с регулярными градиентами рефракции до последнего времени оставался практически не исследованным. В настоящей работе обсуждаются первые результаты теоретического исследования указанного эффекта, полученные за последние годы. В работах [2,3] проведены численные и аналитические оценки интенсивности когерентно усиленного обратного рассеяния от плоскостойкой случайной среды с градиентом коэффициента преломления. Получены асимптотические оценки интенсивности рассеяния в крыльях пика обратного рассеяния в среде с сильно вытянутой индикатрисой рассеяния. Также получены аналитические решения в диффузионном приближении. Результаты работы [4] обобщены на случай среды с градиентом рефракции. Получены численные решения методом статистического моделирования (Монте-Карло) и конечно-разностным методом. Численно и аналитически показана асимметрия уширения пика обратного рассеяния при различных знаках

коэффициента преломления. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 13-02-12065 офи-м "Фундаментальные задачи микроволнового дистанционного зондирования Земли из космоса". Авторы благодарят администрацию НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова за предоставленный доступ к вычислительным ресурсам высокопроизводительных параллельных суперкомпьютерных комплексов СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов".

[1]. Battaglia, A., et al. Multiple-scattering in radar systems: A review. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2010. V.111, N.6. PP. 917-947.

[2]. Ya.A. Pyushin Coherent backscattering enhancement in medium with variable refractive index *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* Volume 117, March 2013, Pages 133–139.

[3]. Ya.A. Pyushin Coherent backscattering enhancement in refracting media: diffusion approximation, *J. Opt. Soc. Am. A* 30, 1305–1309 (2013).

[4]. E. Akkermans, P.E. Wolf, and R. Maynard, Coherent backscattering of light by disordered media: Analysis of the peak line shape. *Phys. Rev. Lett.* 1986. V.56. PP. 1471–1474.

[5]. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И., Антонов А.С., Брызгалов П.А., Никитенко Д.А., Стефанов К.С., Воеводин Вад.В. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" //Открытые системы. - Москва: Издательский дом "Открытые системы", 2012. – 7.

ДЛИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА: ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВЯЗЬ С ФОНОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

О.Ю. Исайкина, Ю.И. Кукса, И.Г. Шибаев

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, ishib@izmiran.ru.

Работа использует данные более чем за 16 лет ежедневного мониторинга артериального давления и частоты сердечных сокращений. Измерения проводились дважды в день (утром и вечером) в рамках программы самоконтроля пациента с гипертоническим заболеванием на фоне приема гипотензивных препаратов. В публикациях [1, 2] приведены общие оценки этих показаний самоконтроля за первые 13 лет наблюдений и отмечено:

- в спектрах утренних рядов отсутствует или слабо выражена недельная компонента, которая явно доминирует в спектрах вечерних рядов;

- в то же время в утренних рядах, в отличие от вечерних рядов, четко выделяется период $T = 27.35$ дня. Это говорит о повышенной чувствительности организма утром к внешнему воздействию и стабилизирующему действию ритмических нагрузок к вечеру. Данное исследование подтверждает этот вывод при сопоставлении утренних и вечерних рядов мониторинга с фоновыми показаниями атмосферного давления и магнитных вариаций по данным ИЗМИРАН. Для анализа выбран 2000 год, как содержащий подробные комментарии социальной активности пациента: экспедиции, командировки, праздники и т.д. Используются ряды, отражающие во времени динамику коэффициентов корреляции, которые получены при одновременном сканировании исследуемых характеристик. Такие ряды коэффициентов корреляции медицинских параметров, аналог степени скоординированности организма, взяты за основу и сопоставлены с фоновой динамикой изменения геомагнитной активности и атмосферного давления. Видно отличие характеристик утреннего и вечернего состояний. Также в работе приводится временная динамика ряда показаний мониторинга за весь период наблюдений. Приведены соответствующие гистограммы и статистические характеристики.

[1]. Исайкина О.А., Кукса Ю.И., Шибаев И.Г. Оценка и сопоставление долговременной динамики артериального давления и пульса с солнечными и атмосферными параметрами // Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: Солнечная и солнечно-земная физика 2011, Пулково, Санкт–Петербург, 2011 г., с. 375-378.

[2]. Isaikina O., Yu. Kuksa, I. Shibaev. Analyses of Characteristics of Long-Term Monitoring of Arterial Pressure and Pulse, Journal of Environmental Science and Engineering, V. 1, № 9 (B), p.1064-1073, 2012.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОГО И ПЕРЕОТРАЖЕННОГО ОТ ИОНОСФЕРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ШАЛ НА ОСНОВЕ МАКРОПОДХОДА

Ю.А. Казарина^{1,2}, В.Ю. Савинов¹, Н.Т. Афанасьев¹

¹*ИГУ, г. Иркутск, Россия, spacetaklay@gmail.com.*

²*Технологический институт г. Карлсруэ, Германия.*

Известны два основных подхода к расчету радиоизлучения широких атмосферных ливней (ШАЛ), вызванных вторжением космических лучей высоких и сверхвысоких энергий. Микроскопический подход заключается в вычислении интеграла излучения классической электродинамики путем суммирования электромагнитных полей от индивидуальных заряженных частиц ливня. Основным преимуществом микроскопического подхода, использующего монте-карловскую схему моделирования ШАЛ, является полнота физического описания развития ливня. Однако с увеличением энергии первичной частицы существенно возрастает общее число частиц ШАЛ и время моделирования становится экспоненциально большим. Между тем микроскопический подход избыточен, поскольку он предполагает расчет электромагнитных полей в когерентной области от каждой частицы, принадлежащей одной и той же зоне Френеля. Макроскопический подход к расчету радиоизлучения ШАЛ базируется на эвристических моделях и основан на интегральных представлениях о ливне, как о некотором излучающем диске. Макроподход позволяет проводить оперативные расчеты радиоизлучения ШАЛ, в том числе от частиц сверхвысоких энергий. Особенно эффективен макроподход для анализа трансформации прямого радиоизлучения ШАЛ после отражения от земной поверхности и его последующего распространения в волноводе Земля-ионосфера. Такой анализ представляется крайне важным, поскольку появляется дополнительная возможность регистрации первичных космических лучей путем просмотра радиоизлучения ШАЛ в большом объеме околоземного пространства с помощью относительно небольших по площади установок. В работе приведены результаты математического моделирования характеристик прямого и переотраженного от ионосферы радиоизлучения ШАЛ на основе макроскопического подхода. По сравнению с возможностями выделения на фоне шумов прямого радиоизлучения ШАЛ, регистрация радиоизлучения, прошедшего через толщу ионосферы, намного критичнее. Поэтому для выявления и контроля состояния ионосферы, благоприятного для существования переотраженного радиоизлучения ШАЛ, разработаны методики мониторинга регулярных и случайных неоднородностей электронной плотности, основанные на результатах дистанционного радиозондирования с использованием станций наземного и космического базирования.

ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА АТМОСФЕРИКОВ УНЧ-ОНЧ- ДИАПАЗОНОВ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

В.И. Кириллов, В.В. Пчелкин, А.А. Галахов

ПГИ КНЦ РАН, г. Анапиты, Россия, kirillov_v@pgia.ru.

По результатам непрерывной регистрации, выполненной в ходе эксперимента 2012-2014гг в обсерватории «Ловозеро» (Кольский п-ов), были исследованы вариации характеристик потока атмосфериков, принимаемых аппаратурой во время магнитных бурь. Измерения проводились в компонентах «север-юг» и «запад-восток» на частотах 600 Гц и 6000Гц. Для поиска возможных корреляционных связей статистических характеристик потока сфериков (плотность потока импульсов, средние амплитуды, параметры функции распределения сфериков по амплитудам и т.д.) с параметрами, описывающими возмущения, был применен метод наложения эпох; при отборе нулевого момента использовались Dst-индекс, а также данные нейтронных мониторов мировой сети. Показано понижение плотности потока атмосфериков, ассоциированное с динамикой космофизических параметров во время бури.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕЧЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПОЛОС O₂ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И В СМЕСИ ГАЗОВ CO₂, CO, N₂, O₂

А.С. Кириллов

ПГИ, г. Анапиты, Россия, kirillov@pgia.ru.

Проведен теоретический расчет констант гашения синглетного состояния $b^1\Sigma_g^+(v=0-20)$ молекулярного кислорода при столкновении с молекулами CO₂, CO, N₂ и O₂. Рассчитанные константы используются при моделировании населенностей колебательных уровней состояния $b^1\Sigma_g^+$ (также интенсивностей свечения Атмосферных полос, излучаемых при спонтанных переходах с $b^1\Sigma_g^+$ на основное состояние $X^3\Sigma_g^-$ O₂) в авроральной ионосфере и на высотах свечения ночного неба Земли. Проведено сравнение рассчитанных населенностей уровней $v=1-4$ с результатами спектрометрических измерений интенсивностей полос Атмосферной системы на ракетном комплексе Форт-Черчилль в Канаде и на архипелаге Шпицберген в авроральной ионосфере и получено удовлетворительное согласие для нижних высот ионосферы. Для высот свечения ночного неба Земли проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными, полученными с телескопа Кеск-I, и получено хорошее согласие. Бимодальное поведение в населенностях колебательных уровней $v=1-15$ состояния $b^1\Sigma_g^+$ объясняется особенностями взаимодействия электронно-возбужденной молекулы O₂ с невозбужденными молекулами кислорода. Проведен расчет колебательных населенностей синглетного кислорода в смеси с газами CO₂, CO, N₂, O₂. Показано влияние рассмотренных газов на кинетику синглетного кислорода.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЗНАЧЕНИЙ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛОВ ОТ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ F2 ИОНОСФЕРЫ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ТЕКТОНИЧЕСКИМИ СОБЫТИЯМИ

Л.П. Коган

ННГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия.

В работе исследуются статистические свойства некоторых статистических функционалов от ансамблей значений критической частоты (КЧ) слоя F2 ионосферы по данным за 1992 – 2004 гг., полученным на камчатской ионосферной станции ИКИ ДВО РАН (Station name: PETROPAVLOVSK, PK 553, 53.020 с.ш. и 158.650 в.д.). Соответствующие выборки, по которым проводится расчет значений данных функционалов, включают в себя совокупности значений КЧ в периоды времени порядка нескольких суток, предшествующие сильному землетрясению в круговой зоне радиусом 1000 км от данной станции. В роли таких функционалов рассматриваются мнимая часть логарифма характеристической функции, а также значения структурной функции, отвечающие совокупности измерений указанной критической частоты. Предлагаемая методика основана на гипотезе о статистической независимости флуктуаций физических полей, связанных с процессом подготовки землетрясения, и сопутствующего фонового шума. С учетом данной гипотезы, перед сильным землетрясением должно иметь место значительное уменьшение амплитуды мелкомасштабных флуктуаций плотности вероятности для измеряемых физических величин, потенциально содержащих информацию о предвестниках. Такое уменьшение с высокой вероятностью может привести к изменению статистики значений вычисляемых функционалов. В результате проведенных расчетов подтверждается теоретически предполагаемое существенное отличие свойств совокупности значений этих функционалов в периоды времени, предшествующие сильному землетрясению с магнитудой $M \geq 5.5$, по сравнению с обратным случаем, когда до подобного события остается еще достаточно большое время. Полученные результаты позволяют оценить временной интервал, который можем интерпретировать как время «итоговой подготовки» сильного землетрясения. В частности, в течение этого интервала по несколько раз имеют место характерные изменения значений мнимой части логарифма характеристической функции, которые согласно предлагаемой теории могут рассматриваться как признаки локальных по масштабу сжатий литосферных плит в районе предстоящего события. Такие сжатия, как следует из проведенных вычислений, обычно предшествуют сильному землетрясению и могут рассматриваться как его предвестники. На основании полученных результатов в работе сформулирован подход к оценке вероятности сильного землетрясения в предстоящий интервал времени порядка нескольких недель по завершении цикла проводимых измерений.

ОТКЛИК ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В ПЛАЗМОСФЕРЕ НА ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

О.А. Мальцева, Г.А. Жбанков, А.М. Крымский

НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия, mal@ip.rsu.ru.

Долгие годы большое внимание уделялось изучению отклика ионосферы на геомагнитные возмущения по вариациям критических частот и максимальных высот области F. Следующим этапом было изучение отклика верхней ионосферы по данным низколетящих спутников. Измерение полного электронного содержания (ПЭС) содержит информацию об N(h)-профиле в плазмосфере, знание которого необходимо для определения условий распространения КНЧ и ОНЧ волн. В настоящее время существуют модели, описывающие N(h)-профили до высот ~20000 км. В данной работе используется модель IRI-Plas. Показано, что она довольно хорошо соответствует модели RPI (radio plasma imager), построенной по данным спутника IMAGE. Однако обе модели являются статистическими. Для изучения отклика Ne в плазмосфере модель IRI-Plas адаптируется к плазменным частотам $f_{ne}(\text{sat})$, измеренным на спутниках CHAMP и DMSP. Сравниваются относительные вариации этих частот, плотности Ne на различных высотах в плазмосфере, а также относительные вариации ПЭС. Результаты иллюстрируются на широтной цепочке станций от 70°N до 30° N с шагом 2° с долготой 30°E в апреле 2001, июле 2004, имеющими по несколько периодов возмущений. Оценивается широтная зона, охваченная возмущением, длительность отклика. Наиболее сильный отклик имел место на высоких и авроральных широтах. Вариации ПЭС и Ne в большинстве случаев синфазны по знаку. Широтное распределение вариаций Ne повторяет картину вариаций $f_{ne}(\text{sat})$ до высот ~10000 км. Делается попытка связать вариации с поведением индексов геомагнитной активности.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ В ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ И ЕЕ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА МАГНИТОСФЕРНОГО-ИОНОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЧАСТИ АВРОРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ С ОРБИТ КА И ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

А.А. Аникин⁵, Ю.А. Борисов², А.К. Кузьмин¹, В.Б. Лапшин³,
А.Н. Ляхов⁴, А.М. Мёрзлый¹, Ю.Н. Потанин², П.Я. Салтанов⁵,
П.М. Свидский³, В.В. Трекин⁵

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

²ЦАО Росгидромет, г. Долгопрудный МО, Россия.

³ИПГ Росгидромет, г. Москва, Россия.

⁴ИДГ РАН, г. Москва, Россия.

⁵НИЦ, ЦНИИ ВКО, г. Москва, Россия, alkkuzmin@mail.ru, pinega@list.ru.

В докладе рассматриваются проблемные вопросы и представляются пути развития системы контроля фоновой обстановки в полярной ионосфере Земли. Получение достоверной информации о состоянии фактической фоновой-спектральной (от рентгеновского до ИК диапазонов) и фоновой электродинамической обстановки в полярной ионосфере с орбит КА и с поверхности Земли и краткосрочного прогнозирования (от 30 мин до 2х суток) параметров фоновой обстановки с помощью моделей ионосферы, ассимилирующих экспериментальные данные, является одной из важных современных прикладных задач. Решение этой задачи должно опираться на современные научно-обоснованные

представления и конкретные экспериментальные данные о процессах, происходящих при взаимодействии ионосферы с магнитосферой при различных геомагнитных условиях, характеристиках солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Существующий уровень знаний о процессах в полярной ионосфере заметно повысился, но до сих пор не позволяет получать однозначно детерминированные прогнозы по энергетическим распределениям высыпавшихся частиц в различных частях аврорального овала, и как следствие, прогноз условий для распространения радиоволн ДМВ/ММВ диапазонов, в особенности об уровнях амплитудных сцинтилляций. В полярных областях околоземного пространства, на поверхности Земли и в глубинах океана все более возрастает количество движущихся объектов, для которых качество связи, точности навигации и фоновой обстановки носят принципиальный характер. Улучшение оперативности и точности контроля фоновой обстановки в ионосфере, как составной части гелиогеофизической ионосферной службы, становится все более актуальным. Практические потребности и несовершенство теоретических моделей заставляют сосредоточиться на альтернативном варианте исследований, комбинирующем ансамбли быстрых алгоритмов оценок ионосферных параметров с данными оптического мониторинга, дающими интегрированное по высоте представление электродинамических процессов в ионосфере Земли. В докладе рассмотрен предварительный состав информационных, модельных и экспериментальных блоков, составляющих систему, развиваемую на едином базовом ПО, каждый из которых несет свою специфическую функциональную нагрузку и может быть востребован оператором в любой момент. Обращено внимание на ряд принципиально новых качеств системы: использование алгоритма разбиения околоземного пространства на ячейки Эйлера с помощью неоднородной, неортогональной, фиксированной сетки; преимущества орбитальной широкоугольной оптической диагностики фоновой обстановки, использования глобальных и локальных карт ионосферных электродинамических параметров, построенных по данным дистанционных оптических наблюдений, в уточнении модельных расчетов. Подчеркивается важность оперативности при доведении информации до оператора; валидации моделей ионосферы и уточнения фоновой электродинамической обстановки, выявления отклонений характеристик фоновой спектральной обстановки от модельной, получаемой при расчетах комбинированных электронных и протонных высыпаний, и их влияния на фоновую обстановку; информировании государственных служб и ведомств об этих отклонениях в рамках заданных критериев.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В СНЧ ДИАПАЗОНЕ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

О.М. Лебедь, А.В. Ларченко, С.В. Пильгаев, Ю.В. Федоренко

ПГИ, г. Анатиты, Россия, lebed@pgia.ru.

Несомненно актуальной является проблема мониторинга D-слоя ионосферы в высоких широтах. Известно, что имеет место связь скорости распространения электромагнитных импульсов (атмосфериков), возбуждаемых молниевыми разрядами в ОНЧ диапазоне, с профилем проводимости нижней ионосферы. Однако глубина проникновения электромагнитного поля этого диапазона частот в ионосферу невелика, что приводит к отсутствию влияния верхней части D-слоя на поле в волноводе Земля-ионосфера. В работе рассмотрены результаты измерений скорости распространения атмосфериков от дальних разрядов молний на высокоширотной трассе «Ловозеро-Баренцбург» в СНЧ диапазоне. Измерения велись как в спокойных гелиофизических условиях, так и во время вспышек на Солнце в 2011-2012 гг. Для выявления связи результатов измерений скорости с состоянием

нижней ионосферы в окрестности трассы применялась модель распространения с двойным экспоненциальным профилем проводимости ионосферы, параметры которого оценивались с использованием модели IRI-2012. Анализ наблюдений показал, что в спокойное время при изменении освещенности нижней ионосферы в течение суток скорость распространения атмосфериков испытывает регулярный суточный ход, некоррелированный с глобальными изменениями скорости, оцененными по частоте первого шумановского резонанса. По-видимому, это связано с изменением состояния нижней ионосферы в окрестности трассы. В июле и октябре изменения хаотичны, при этом среднее значение скорости в июле меньше среднего значения скорости в декабре примерно на 20 тыс. км/с. В возмущенных гелиофизических условиях в марте 2012 г., когда наблюдалось вторжение высокоэнергичных протонов в ионосферу Земли, характер суточных вариаций скорости распространения атмосфериков изменился. С 5 марта 2012 г. значения скорости уменьшились примерно на 20 тыс. км/с. После вспышки X-класса 7 марта 2012 г. отмечалось нарушение суточного хода скорости. Если в спокойное время скорость ночью была больше, чем днем, то после вспышки 7 марта суточный ход скорости изменился на обратный. Аналогичное поведение отмечалось во время вспышки 26 декабря 2011 г. Уменьшение скорости распространения атмосфериков во время вспышек на Солнце наблюдалось не всегда. Так, во время вспышки, произошедшей 23 октября 2011 г., значения скорости увеличились примерно на те же 20 тыс. км/с относительно спокойного времени. По результатам измерений скорости распространения атмосфериков вдоль высокоширотной трассы продемонстрирована возможность оценки дневных профилей проводимости в спокойных и в возмущенных условиях. Показано хорошее соответствие оцененных профилей с профилями проводимости, полученными из ракетных экспериментов в разное время.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАКРОМАСШТАБНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПО ДАННЫМ СИСТЕМНОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Н.Т. Афанасьев¹, А.Н. Афанасьев², В.П. Марков¹

¹*ИГУ, г. Иркутск, Россия, spacemaklay@gmail.com.*

²*Department of Physics, University of Helsinki, Helsinki, Finland.*

Одной из важных задач радиофизического мониторинга ближнего космоса является диагностика состояния ионосферы. Определение ионосферных параметров возможно путем обращения ионограмм, полученных для какого-либо конкретного метода зондирования (вертикального, наклонного, внешнего, трансionoсферного и др.). Между тем, в последнее время высокую эффективность показали комплексные исследования [1], направленные на повышение точности диагностики состояния локальных областей ионосферы посредством совместного анализа дистанционно-частотных характеристик (ДЧХ) декаметровых радиосигналов для наземных и бортовых ионозондов. В основе этого анализа лежит прямой численный синтез ионограмм с использованием модели ионосферы IRI. В настоящей работе исследована возможность применения результатов системного радиозондирования ионосферы для диагностики параметров макромасштабных неоднородностей электронной плотности, которые могут быть связаны с высотными и наземными взрывами, запусками космических аппаратов, выбросами плазмогасящих или плазмообразующих веществ и другими причинами. Анализ показал, что при восстановлении параметров неоднородностей прямое численное моделирование ионограмм в определенных случаях оказывается неустойчивым. Особенно это касается пристрелки в пункт наблюдения траекторий радиосигналов на разных частотах в присутствии в ионосфере локализованной макромасштабной неоднородности большой интенсивности. Поэтому при синтезе ДЧХ

наземных и бортовых ионозондов используется численно-аналитический метод расчета, позволяющий установить аналитические соотношения между характеристиками возмущений ДЧХ и параметрами неоднородности. Совместное использование данных о деформациях ДЧХ отраженных и прошедших сквозь неоднородность радиосигналов позволяет увеличить число параметров модели неоднородности и тем самым обеспечить более точное решение обратной задачи. В работе получены системы независимых уравнений для определения параметров локализованной макромасштабной неоднородности по вариациям группового времени запаздывания отраженных и прошедших через неоднородность сигналов на разных частотах зондирования. Найдено решение объединенной системы уравнений для параметров локализации неоднородности и ее интенсивности.

[1]. Данилкин Н.П., Жбанков Г.А., Тасенко С.В. Восстановление трехмерного поля плотности электронов по результатам модельного эксперимента с участием бортового ионозонда и двух наземных ионозондов // Гелиогеофизические исследования.-2014, Вып. 7, с.43-55.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ПОПЕРЕЧНЫХ СМЕЩЕНИЙ» ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИОТРАСС В ДВУМЕРНОМ И ТРЕХМЕРНОМ ПРИБЛИЖЕНИЯХ

**И.А. Носиков¹, П.Ф. Бессараб^{2,3,4}, М.В. Клименко^{1,5},
В.В. Клименко⁵, Д.С. Котова¹**

¹ФГАОУ ВПО БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, igor.nosikov@gmail.com.

²Королевский технологический институт, г. Стокгольм, Швеция.

³СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.

⁴Университет Исландии, г. Рейкьявик, Исландия.

⁵ЗО ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Калининград, Россия.

Приведены основные положения метода «поперечных смещений» для расчета трасс радиоволн КВ-диапазона. Метод основан на прямой минимизации функционала оптической длины пути радиолуча, в котором учитываются только поперечные трансформации радиотрассы. В предлагаемом методе упорядоченный набор точек, являющийся дискретным представлением радиолуча, последовательными поперечными трансформациями преобразуется к оптимальной конфигурации. Исследуется сходимость предлагаемого метода в зависимости от управляющих параметров. Представлена математическая реализация данного метода в двумерном случае при упрощённых представлениях об ионосфере как о плоской слоистой среде с параболической зависимостью показателя преломления от высоты. Проведено сравнение результатов расчета радиотрасс с известными аналитическими решениями. Показана возможность развития и применения метода «поперечных смещений» для построения радиотрасс в трехмерной среде. Апробация расчета радиотрасс в трехмерном случае основана на сравнении результатов расчетов, полученных методом «поперечных смещений» с показателем преломления, рассчитанным в Глобальной Самосогласованной Модели Термосфера Ионосфера и Протоносфера (ГСМ ТИП), с численным решением уравнения эйконала (модель Захарова, БФУ, реализованная в приближении геометрической оптики) в трехмерной неоднородной анизотропной среде, рассчитанной в модели ГСМ ТИП. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ МК-4866.2014.5 (М.В. Клименко, И.А. Носиков) и РФФИ №14-05-00578 (В.В. Клименко, Д.С. Котова) и №14-35-50780 мол_нр (П.Ф. Бессараб).

КОМПЕНСАЦИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОШИБОК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕКУЩЕМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

В.Б. Оводенко, В.В. Трекин

ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва, Россия, ovoidenko@gmail.com.

В работе исследуется эффективность компенсации радиолокационных ошибок измерения дальности, вызванных влиянием среды распространения. Анализ проведен на основе экспериментальных измерений РЛС по спутникам юстировочного класса. Корректирующие поправки рассчитываются на основе модели среды распространения, состоящей из модели нейтральной атмосферы и модели ионосферы. Рассматривается два способа расчёта поправок к измерениям. Первый способ, «долгосрочный прогноз», основан на использовании модели ионосферы без учёта её текущего состояния. Второй способ, «оперативный прогноз», основан на модели ионосферы, корректируемой по текущим измерениям полного электронного содержания (ПЭС). По результатам исследования показано, что применение некорректируемой модели ионосферы позволяет достичь требуемого уровня ошибки для 50% всех измерений. Введение коррекции модели ионосферы по текущим измерениям ПЭС позволяет скомпенсировать до требуемого уровня ошибки более 90% от всех измерений.

ВАРИАЦИИ СИГНАЛОВ GPS ВО ВРЕМЯ СУББУРЬ

В.А. Пилипенко, В.И. Захаров, О.В. Козырева

*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru, kozyreva@ifz.ru.
МГУ, г. Москва, Россия, zvi_555@list.ru.*

В работе рассмотрена мощная суббуря, затронувшая практически все северное полушарие, во время магнитной бури 5 апреля 2010 г. Буря была вызвана резким скачком плотности и скорости (до 780 км/с) солнечного ветра и началась в 08.26 UT. Внезапное начало бури SC произошло на фоне отрицательного B_z ММП, что обусловило быстрое поступление энергии в магнитосферу. Максимальная отрицательная бухта (до ~2000 нТ) наблюдалась над Аляской сетями магнитометров CARISMA, GIMA в период ~09-10 UT. Еще одна суббуря с эпицентром в скандинавском секторе началась около 20 UT. Анализ данных сети риометров NORSTAR показывает усиление поглощения космических радиопомех, что свидетельствует о росте ионизации в нижних слоях ионосферы, связанной по времени высыпанием энергичных (30-100 кэВ) электронов. Резкий всплеск риометрического поглощения, вызванный инжекцией энергичных электронов, сопровождался одновременным всплеском вариаций TEC, величиной до нескольких TECu, определяемого по фазе навигационных сигналов системы GPS. Для анализа нами использованы данные 69 GPS станций системы IGS в регионе Аляска – Канада и 56 – в Европе. В работе приведены результаты комплексного анализа данных приемников GPS, риометров, фотометров, и магнитометров, обсуждается влияние УНЧ волн на свойства ионосферы и его механизмы.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ВЕРИФИКАЦИИ

В.М. Смирнов^{1,2}, Е.В. Смирнова¹, С.И.Тынянкин², В.Н. Скобелкин²

¹*ФИРЭ РАН, г. Фрязино, Россия, vsmirnov@ire.rssi.ru.*

²*ИНТЦ, г. Москва, Россия.*

В работе приведены результаты работы опытного образца автоматизированного аппаратно-программного комплекса, предназначенного для определения высотного распределения электронной концентрации ионосферы Земли и прогнозирования условий распространения радиоволн коротковолнового диапазона. Работа комплекса основана на использовании штатных навигационных приемников и программной реализации метода решения обратной задачи радиопросвечивания ионосферы на трассе спутник-Земля. Метод решения обратной задачи основан на использовании функциональных связей параметров зондирующих сигналов и среды их распространения и математического аппарата решения интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода, относящихся к классу обратных некорректно поставленных задач атмосферной рефракции. Комплекс обеспечивает возможность оперативной (с интервалом единицы секунд) оценки распределения электронной концентрации в интервале высот 100-1000 км, параметров ионосферного слоя F2 и полного электронного содержания в радиусе до 700...1000 км от места установки приемника по 10...20 одновременно наблюдаемым навигационным спутникам, что позволит получать новые данные о пространственно-временных процессах, проходящих в ионосфере Земли в зоне видимости наземного пункта. Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН №14 «Фундаментальные проблемы воздействия мощными радиоволнами на ионосферу и плазмосферу Земли».

ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРА ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ИОНОСФЕРЫ МАРСА

В.М. Смирнов, О.В. Юшкова, В.Н. Марчук

ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, vsmirnov@ire.rssi.ru.

Рассмотрены возможности радара подповерхностного зондирования грунта Марса для определения структуры окружающей его плазменной оболочки. При работе в диапазоне частот от 3 до 5 МГц радар принимает отраженный от поверхности сигнал, содержащий информацию о плазменной оболочке планеты. Его можно применить для определения полного электронного содержания ионосферы Марса, используя широкополосность излучаемых сигналов радара MARSIS в режиме подповерхностного зондирования. Условное разделение отраженного сигнала на два позволяет сформировать в полосе 1 МГц два сигнала с разными несущими частотами, что позволяет оценить полное электронное содержание ионосферы. На основе результатов численного моделирования и реальных данных зондирования показано, что применяемый для исследования грунта режим работы радиолокационного радара MARSIS может быть использован как для детектирования возможных слоев в ионосфере исследуемой планеты, так и для определения критической частоты и полного электронного содержания ионосферы в интервале высот от поверхности планеты до высоты космического аппарата. Разработана процедура оценки полного электронного содержания ионосферы Марса вдоль трассы полета космического аппарата, основанная на широкополосности излучаемых сигналов радара подповерхностного зондирования грунта планеты. Результаты численного моделирования показали, что

значение полной электронной концентрации может быть определено с точностью до 1%. Применение разработанной методики к реальным данным измерений показало, что полученные результаты находятся в согласии с данными, полученными при проведении радиозатменных экспериментов. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы №22 фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

РЕГИСТРАЦИЯ АВРОРАЛЬНЫХ ПОМЕХ НА РЛС УКВ ДИАПАЗОНА ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

И.В. Тютин, В.В. Трекин, С.А. Пушай

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

В работе исследуется связь регистрации авроральных отражений радиоволн с частотой 150 МГц от ионосферных неоднородностей (далее – регистрация авроральной помехи) на высотах от 100 до 110 км с геомагнитными возмущениями. Помеха регистрируется на радиолокационной станции (РЛС) с точкой стояния в районе г. Мурманск и сектором обзора, направленным на север. Предварительный анализ экспериментальных данных с РЛС показал, что вероятность обнаружения мощной авроральной помехи (помеха занимает азимутальный сектор обзора РЛС от 30° до 60°) на наклонных дальностях порядка 1000 км резко возрастает во время возмущений геомагнитного поля. Организован сбор и разработана методика обработки экспериментальных данных по сигналам авроральных помех в приемном тракте РЛС. Построена модель, сигнала авроральной помехи в приемники с учетом параметров РЛС. Для количественной оценки мощности авроральной помехи вводится понятие интенсивности помеховых отметок, зависящей от протяженности по азимуту и дальности, длительности по времени и особенностей режимов работы РЛС.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ДРЕЙФА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ПО НАЗЕМНЫМ ИОНОСФЕРНЫМ ДАННЫМ

В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов², Е.Д. Бондарь²

¹*ИКИ РАН г. Москва, Россия, khalipov@iki.rssi.ru.*

²*ИКФИА им. Ю.Г. Шафера, г. Якутск, Россия.*

По данным доплеровских измерений на Якутской меридиональной сети субавроральных ионосферных станций исследованы вертикальные дрейфы во время регистрации поляризационного джета (ПД). Показано, что в периоды наблюдения ПД скорости вертикальных дрейфов выше, чем фоновые движения, и происходит изменение направления движения ионосферной плазмы с восходящего на нисходящее, и обратно. Рассмотрены вариации вертикальных дрейфов на различных фазах суббуревого возмущения

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ГЕОФИЗИКИ

В.А. Гарбацевич, Ю.И. Кукса, И.Г. Шibaев

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, ishib@izmiran.ru.

Применение в наземных исследованиях высокочувствительных датчиков, в том числе индукционных, накладывает ряд жестких требований на выбор места для пунктов наблюдения: низкий уровень фоновых шумов, удаленность от линий электропередач и т. д. Так как энергопотребление самих датчиков обычно низкое, то возможность использования автономной системы оцифровки сигналов и их накопления позволит значительно расширить «географию» точек наблюдения. В данной работе описывается автономная система состоящая из стандартных устройств АЦП и NetBook и приводятся её характеристики. Показана энергоэффективность такой конфигурации и возможность проведения длительных наблюдений при подключении емкого аккумулятора для питания системы. Один из вариантов его подзарядки – это солнечные панели. Для работы в летний период на средних широтах достаточно одного солнечного модуля (ФМС 100) и одной аккумуляторной батареи (12 В, 75 А/ч). В зимнее время необходимо удвоить комплект – два солнечных модуля и две аккумуляторные батареи. В оценках учтены энергозатраты на GPS коррекцию времени. Планируется использование подобной системы регистрации в проекте «Шуман».

ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕШИРОТНЫХ КОРОТКОЖИВУЩИХ Es

К.М. Юсупов, А.Д. Акчурин

КФУ, г. Казань, Россия, kamil.usupov@kpfu.ru.

В КФУ с начала 2010 года ведется продолжительный эксперимент по исследованию ионосферы с помощью ионозонда «Циклон» в учащенном режиме (с 1 минутной периодичностью регистрации ионограмм). На основе накопленных данных приводятся результаты исследования короткоживущих-мимолетных спорадических слоев Es за период 2013-2014 гг. Название мимолетных спорадических слоев Es связано с тем, что, имея много общих черт с «обычным» полноценным (persistent, persisting) Es слоем, они имеют много свойств роднящих их с эхо от метеорных следов. Строго говоря, такие следы на ионограммах не соответствуют в полной мере ни полноценным Es-следам, ни отражениям от метеорных следов. Тем не менее, для определенности мы будем придерживаться термина мимолетний Es-слой, опираясь на его чисто внешнее сходство со следом обычного Es-слоя на ионограмме, и для того чтобы избежать терминологической путаницы со словосочетанием метеорный след. Для исследований мимолетних Es-слоев нами был использован интерактивный подход в обработке ионограмм, когда АЧХ и ВЧХ слоев строились в виде сводных карт отражательной способности ионосферы и высотного расположения следов (А-, Н-, А_Σ-карты). Чтобы получить основные черты появляемости мимолетних Es были построены диаграммы их появлений в виде точек на сводных картах, расставленных в осях время суток – день года. Это позволило установить сезонные и суточные зависимости, которые носят такой же противоречивый характер, как и форма следов мимолетнего Es на ионограммах. Часть признаков близка к признакам метеорных следов, а часть к признакам полноценных Es. А именно, с метеорными признаками мимолетний Es связывают высота появления, слабая амплитуда, полупрозрачность следов, отсутствие каспов, совпадение максимумов появления и метеорных потоков. Признаком мимолетних Es, совпадающим с полноценным Es, является общий ход суточно-сезонных вариаций частоты появления.

Однако расположение максимумов несколько различается. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-00967а.

ATTENUATION OF RADIO WAVES IN THE IONOSPHERE OF MARS: SPACE WEATHER CONTROLLED EFFECTS

A.M. Krymskii, D.I. Bojkov and A.P. Kireev

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia. amkrym@yahoo.com.

The attenuation of the sounding signal caused by collisions with neutrals is found to be controlled by solar zenith angle, EUV and soft x-ray fluxes (primarily on the day-side) and fast solar wind streams. According to the data of the experiments onboard Mars Global Surveyor sporadic layers appear at altitudes less than 100 km near the polar mini-magnetosphere in the Northern hemisphere. Reconnections of the interplanetary magnetic field (IMF) and crustal magnetic fields can result in field aligned currents. The field aligned currents can lead to sporadic local electron density enhancements below the main peak of the ionosphere which significantly reduce the level of the sounding radio signal. Consequently, the level of the sounding radio signal has to vary with the areocentric coordinates and IMF conditions. High variability of the neutral atmosphere scale-height and sporadic layers at altitudes less than 100 km make the estimates of the radio waves attenuation, which are based on a statistical approach, insufficient especially near and within the mini-magnetospheres. South-to-North asymmetry of the radio signal attenuation is expected but in the MARSIS top-side sounder data (Mars Express mission) the asymmetry can be covered by other effects. Near the terminator at frequencies 4.5 MHz and higher the peak level of radio signal measured during MARSIS experiment usually decreases with frequency despite of the attenuation caused by electron-neutral collisions has to decrease with frequency. Presumably, near the terminator a) refraction/scattering of the sounding signal on its way from transmitter to the reflection surface and then to receiver through an inhomogeneous media, b) properties of a reflecting surface (refractivity, albedo) and c) antenna features can affect the reflected signal level stronger than the electron-neutral collisions.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

МАГНИТОСФЕРНАЯ ПОЛОСТЬ. ОТ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ИХ СПУТНИКОВ ДО ЭКЗОПЛАНЕТ

**И.И. Алексеев¹, М.С. Григорян¹, Е.С. Беленькая¹, В.В. Калегаев¹,
М.Л. Ходаченко^{2,1}**

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

²SRI, Austrian AS, Schmiedlstrasse Graz, Austria.

Обсуждается взаимодействие замагниченной сверхальвеновской плазмы солнечного ветра с планетами Солнечной системы, обладающих собственным магнитным полем (Меркурий, Земля, Юпитер и Сатурн). В результате формируется полость, свободная или почти свободная от плазмы солнечного ветра. Эта полость ограничивается магнитопаузой и обычно называется магнитосферой. Токовый слой, формирующийся на магнитопаузе, экранирует магнитное поле магнитослоя (область между магнитопаузой и головной ударной волной) от проникновения межпланетного магнитного поля в магнитосферу. При этом плазма переходного слоя также не проникает внутрь магнитосферы, поскольку скорость плазмы вблизи магнитопаузы направлена по касательной. Головная ударная волна, ограничивает зону невозмущенного сверх Альвеновского потока. Данные космических аппаратов, проводившие многолетние измерения магнитного поля в окрестности вышеназванных планет и многократно пересекавшие и головную ударную волну, и магнитопаузу, демонстрируют, что лобовая (обращенная к Солнцу) часть магнитопаузы хорошо описывается параболоидом вращения, если усреднить точки пересечения траектории с магнитопаузой на масштабе нескольких планетарных радиусов. При этом отфильтровываются волновые и вихревые возмущения, генерируемые в окрестности токового слоя магнитопаузы. Полученные параболоиды, характеризуются различными, специфичными для каждой планеты размерами (расстояниями до подсолнечной магнитопаузы) и углами раствора (флерингом), которые задаются отношением этого размера к радиусу параболоида в плоскости терминатора. Отталкиваясь от этого наблюдательного факта была построена универсальная модель магнитосферы. Получены масштабные соотношения для оценки интенсивности различных магнитосферных токовых систем и характерных размеров магнитосферного хвоста. Процессы перезарядки между нейтральными атомами водорода планетарной экзосферы и ионами солнечного ветра приводят к формированию в окрестности магнитопаузы облака энергичных нейтральных атомов, размеры и форма которого как недавно было показано Кисляковой и др., (2014) могут быть восстановлены по форме спектральной линии Лайман-альфа при транзите экзопланеты по диску материнской звезды. Эти оценки, позволяют определить магнитный момент экзопланет.

АВРОРАЛЬНЫЙ ОВАЛ И ФОРМИРОВАНИЕ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА

**Е.Е. Антонова^{1,2}, В.Г. Воробьев³, М.О. Рязанцева^{1,2}, О.В. Козырева^{4,2},
И.П. Кирпичев^{2,1}, О.И. Ягодкина³, М.В. Степанова⁵, В.В. Вовченко²,
М.В. Пулинец^{6,1}, С.С. Знаткова^{1,2}, И.Л. Овчинников¹**

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

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

³ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты (Мурманская обл.), Россия.

⁴ИФЗ РАН, г. Москва, Россия.

⁵Университет Сантьяго де Чили, Чили.

⁶ФФ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru.

Полученные в последнее время результаты сравнения давления плазмы на малых высотах и в экваториальной плоскости привели к существенным изменениям представлений о проецировании аврорального овала на экваториальную плоскость в магнитоспокойных условиях. Было показано, что авроральный овал проецируется не на собственно плазменный слой с вытянутыми в хвост магнитными силовыми линиями, а на окружающее Землю плазменное кольцо. Поперечный ток в кольце замыкается внутри магнитосферы и является высокоширотным продолжением кольцевого тока. В отличие от традиционного кольцевого тока основная часть тока кольца в дневные часы не сосредоточена в экваториальной плоскости, а распределена по магнитной силовой линии. Проведен анализ причин не позволивших ранее выделить окружающее Землю кольцо и его токовую систему в качестве одного из основных магнитосферных доменов. Показано, что с введением в рассмотрение окружающего Землю плазменного кольца получают решение многие проблемы физики магнитосферы. Прежде всего, удастся объяснить структуру авроральных высыпаний в дневные часы и кольцообразную форму аврорального овала. Хорошо известно, что авроральный овал расширяется и движется к экватору во время магнитных бурь. Одновременно наблюдаются смещение к экватору авроральных электроструй, высокий уровень флуктуаций электрического и магнитного поля внутри овала в широком диапазоне частот. Приведены результаты спутниковых наблюдений демонстрирующих роль авроральной динамики в процессе ускорения электронов внешнего радиационного пояса. Обсуждается возможность использования результатов наблюдений на наземных станциях и авроральных спутниках для предсказания локализации внешнего электронного радиационного пояса формирующегося на фазе восстановления магнитной бури.

СТРУКТУРА ТОКОВОГО СЛОЯ В ДАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРНОГО ХВОСТА ЗЕМЛИ

И.Ю. Васько, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович, Л.М. Зеленый

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vaskoiy@yandex.

По данным аппарата Geotail исследована структура токового слоя в ближней (на расстоянии порядка 50 RE) и дальней (на расстоянии порядка 100 RE) областях магнитосферного хвоста Земли. Отобрана статистика из 700 пересечений токового слоя, для которой в тридцати процентах случаев удалось определить толщину токового слоя. Проведено сравнение структуры токового слоя в ближней и дальней области. Исследована вариация структуры токового слоя с утреннего фланга на вечерний. Обнаружено, что в

дальней области токовый слой имеет масштабы существенно превышающие протонный гирорадиус (толстые токовые слои).

О ВЛИЯНИИ V_y И V_z КОМПОНЕНТ ММП НА ПОЛОЖЕНИЕ И ФОРМУ МАГНИТОПАУЗЫ: КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С НАБЛЮДЕНИЯМИ СПУТНИКОВ ИНТЕРБОЛ И ПРОГНОЗ

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, verigin@iki.rssi.ru.

Представляется очевидной, и согласуется с результатами МГД моделирования независимость полного внешнего давления на магнитопаузу от направления перпендикулярной солнечному ветру компоненты ММП. Однако и МГД моделирование и некоторые эмпирические модели магнитопаузы свидетельствуют об изменении ее формы при изменении направления этой компоненты с северного на южное. Следствием вызванной этим обстоятельством перестройки токовой системы Чепмена-Ферраро может являться и приближение к Земле подсолнечной части магнитопаузы. В докладе обсуждаются возможности качественного рассмотрения описанных выше эффектов. Полученные полуэмпирические выражения используются для уточнения ранее построенных моделей магнитопаузы по ее наблюдениям спутниками ПРОГНОЗ и ИНТЕРБОЛ. Работа выполнена при частичной поддержке программы П22 РАН.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ: ВОЛНЫ И НЕУСТОЙЧИВОСТИ НА КИНЕТИЧЕСКИХ МАСШТАБАХ

**А.В. Дивин¹, В.С. Семенов¹, Ю. Хотяйнецв², С. Маркидис³,
Дж. Лапента⁴**

¹*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, andrey.div@gmail.com.*

²*IRFU, Uppsala, Sweden.*

³*PDC, KTH, Stockholm, Sweden.*

⁴*CmPA, KULeuven, Leuven, Belgium.*

Магнитное пересоединение в плазме приводит к быстрому преобразованию накопленной магнитной энергии в кинетическую и тепловую энергию плазмы. Образующиеся в процессе пересоединения тонкие токовые слои и резкие градиенты параметров являются благоприятными для развития разнообразных волн и неустойчивостей. Как спутниковые наблюдения магнитосферы, так и крупномасштабные численные эксперименты показывают, что в данных нестационарных структурах (фронтах, плазмоидах) происходит наиболее интенсивный обмен энергии между магнитным полем, волнами и частицами. В данной работе проводится численное исследование магнитного пересоединения посредством двухмерного и трехмерного кинетического моделирования методом "Частица-в-ячейке" в большой вычислительной области. Для численного решения подобного рода задач требуются значительные вычислительные ресурсы, и предпочтительным является применение суперкомпьютеров и библиотек параллельных вычислений. В работе использован параллельный код "iPIC3D", который способен эффективно проводить расчеты на большом количестве CPU ядер (до десятков тысяч). Начальная фаза магнитного пересоединения исследуется в двухмерном приближении, тогда как для исследования волн и неустойчивостей в нелинейной фазе использован трехмерный подход. Численный

эксперимент показывает, что наиболее интенсивно развиваются следующие моды:

1. нижнегибридная дрейфовая неустойчивость (LHDI) на фронте пересоединения, возбуждаемая большим градиентом плотности плазмы на фронте.
2. кинетические Альвеновские волны (КАВ), распространяющиеся вдоль магнитного поля перед фронтом и переносящие определённую часть вектора Пойнтинга фронта.
3. неустойчивость Бунемана и электронная мода Кельвина-Гельмгольца (ЕКН) на сепаратриксах пересоединения, которые связаны с интенсивными электронными пучками и развитием электронных дыр в этой области.
4. вистлеры (свистовые моды) на пересоединенных силовых линиях, возбуждаемые сильной перпендикулярной анизотропией электронного давления.

Примечательно, что LHDW, КАВ, вистлеры и электронные дыры наблюдаются в данных миссий Cluster, THEMIS вблизи области пересоединения и фронтов диполяризации. Таким образом, несмотря на относительную малость вычислительной области ($\sim 4 R_E$) и существенную идеализированность расчета, построенная численная модель находится в качественном согласии с данными реальных наблюдений.

НАБЛЮДЕНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ С УЗКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ НА ХВОСТОВОМ КА ПРОЕКТА ИНТЕРБОЛ И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ЭЛЕКТРИЗАЦИЕЙ КА

В.Н. Ермаков, О.Л. Вайсберг

ИКИ РАН, НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия, ermakovvova@mail.ru.

В работе исследовались события, зарегистрированные электронным спектрометром ELECTRON на хвостовом КА проекта ИНТЕРБОЛ. Они заключаются в появлении потоков электронов с энергией в диапазоне от 20 эВ до 300 эВ с узким энергетическим спектром. ПШПВ (полная ширина на полувысоте) энергетического пика таких электронов составляет $\sim 20\%$, что наводит на мысль об искусственном характере их возникновения, вероятно, в процессе дифференциальной электризации КА. Высокая вероятность дифференциальной электризации КА следует из работы [1], в которой показано, что примененный в качестве ЭВТИ (экранно-вакуумная теплоизоляция) материал представляет собой, практически, идеальный изолятор. Были проанализированы события, зарегистрированные в 1996 году. Для некоторых событий периодичность появления составляла четверо суток, т.е. совпадала с периодом орбитального вращения КА. События были зарегистрированы на ночной стороне, преимущественно в $03^h - 06^h$ секторе. Исследуемые электроны регистрировались на всех 8-ми каналах спектрометра, расположенных вдоль меридиана космического аппарата с углами центров полей зрения относительно направления на Солнце от 11° до 169° . Однако наибольшая интенсивность их потока наблюдается на канале спектрометра, имеющего минимальный угол относительно направления на Солнце ($0-22,5^\circ$). Потоки таких электронов возникали в присутствии больших потоков высокоэнергичных электронов. Прослеживается временная зависимость энергии исследуемой компоненты электронов в пределах одного события как от потока, так и от энергии высокоэнергичных электронов. Также наблюдается зависимость энергии исследуемой компоненты электронов от питч-угла.

[1]. Афонин В.В. О потенциале и эквипотенциальности космических аппаратов //Космические исследования, 2004, том 42., №1, с. 1-8.

ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ПРОТОНОВ НА НИЗКИХ ОРБИТАХ КАК ОТРАЖЕНИЕ ДИНАМИКИ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА

В.В. Калегаеть, Н.А. Власова, И.С. Назарков

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

Развитие бурового кольцевого тока во время геомагнитных возмущений 01.10.2012, 02.10.2013 и 27.02.2014 исследовалось по одновременных измерений потоков протонов на полярных орбитах до 1000 км и в приэкваториальной области магнитосферы до 30000 км. Во внутренней магнитосфере по данным спутников Van Allen Probe изучалась динамика частиц кольцевого тока с энергиями 50-220 кэВ. Одновременно анализировались вариации потоков частиц по измерениям низкоорбитальных полярных спутников серии POES. Рассматривались частицы ~30÷240 кэВ на участках траекторий вблизи экватора, а также на высоких и средних широтах ниже границы изотропизации. Изучены спектральные характеристики потоков частиц кольцевого тока во внутренней магнитосфере и протонов бурового экваториального пояса, регистрируемых на низких орбитах. Проведено сопоставление с результатами моделирования магнитного поля кольцевого тока.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ РАЗРЕЗНОГО КОЛЬЦЕВОГО ТОКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ (СПОКОЙНЫЙ ПЕРИОД)

И.П. Кирпичев¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

²*НИИЯФ, МГУ, г. Москва, Россия.*

На основании обновленной базы данных измерений потоков частиц международной миссии THEMIS проведена корректировка разработанной ранее модели распределения плазменного давления в экваториальной плоскости на расстояниях от 6 до 12 Re (спокойный период). Модель представлена на сайте <http://stdad.iki.rssi.ru/pressuremodel/pressure.php>. Обновления были связаны как с увеличением статистики, так и с применением новой калибровки прибора SST. Проведена оценка относительного изменения давления при разных калибровках. На основании модельных профилей плазменных давлений и реально измеренных средних значениях локального магнитного поля оценена интегральная величина разрезного кольцевого тока. Проанализирован характер поведения этой величины в зависимости от условий в солнечном ветре.

МОДЕЛИРОВАНИЕ 3-Х МЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СПУТНИКЕ ИНТЕРБОЛ-1

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kotova@iki.rssi.ru.

Ранее была предложена модель восстановления распределения плотности холодной плазмы во всей меридиональной плоскости плазмосферы на основе данных спутника «Интербол-1», полученных на отдельных пролетах через плазмосферу. Модель основывается на физических уравнениях, описывающих распределение плазмы в плазмосфере для случаев теплового равновесия и бесстолкновительного начального частичного заполнения плазмосферных оболочек. Использование простого уравнения для положения плазмопаузы позволяет расширить построенную двумерную модель на всю плазмосферу. Анализируются возможные параметры модели. Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П22.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ НА ВЫСОТАХ 600-800 км С ПОМОЩЬЮ АППАРАТУРЫ РЭЛЕК НА БОРТУ ИСЗ «ВЕРНОВ»

**И.Н. Мягкова¹, М.И. Панасюк¹, С.И. Свертилов¹, В.В. Богомолов¹,
А.В. Богомолов¹, В.В. Калегаяев¹, В.О. Баринава¹, С.И. Климов²,
В.А. Грушин², В.Е. Корепанов³, М.О. Рязанцева^{1,2}, П. Сегеди⁴,
Ч. Ференц⁴, Х. Ротхель⁵**

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, irina@srd.sinp.msu.ru.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

³ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина.

⁴Университет Ётвоса Этвёша, г. Будапешт, Венгрия.

⁵ЦКИ ПАН, г. Варшава, Польша.

Одной из задач эксперимента, выполняющегося при помощи научной аппаратурой РЭЛЕК (Релятивистские ЭЛЕКТроны) на борту ИСЗ «ВЕРНОВ» является установление связи вариаций потоков и спектров захваченных и высыпающихся электронов ч релятивистских и суб-релятивистских энергий на высотах до 860 км с волновой и геомагнитной активностью. ИСЗ «ВЕРНОВ» был выведен на солнечно-синхронную орбиту - высота от 620 до 860 км, наклонением 78° - 98.4° - 8 июля 2014 года, научная информация начала поступать с 20 июля 2014 г. Аппаратура РЭЛЕК позволяет регистрировать не только потоки и спектры электронов в широком диапазоне энергий от 200 кэВ до 18 МэВ, но дает возможность измерять питч-угловое распределение частиц, а также имеет в своем составе низкочастотные и радиочастотные волновые анализаторы. Благодаря этому мы имеем возможность экспериментально исследовать связь вариаций интенсивности и спектров электронов внешнего радиационного пояса Земли, а также высыпающихся частиц на разных широтах, что позволит лучше понять механизмы ускорения, распространения и рассеяния электронов в магнитосфере Земли. Сравнительный анализ потоков электронов по данным РЭЛЕК с данными экспериментов по регистрации электронов на КА «Электро-Л», имеющего геостационарную орбиту, и «Метеор-М №2», находящегося, как и ИСЗ «ВЕРНОВ» на круговой полярной орбите высотой около 800 км позволит воссоздать картину пространственного распределения энергичных электронов в околоземном пространстве. Сравнение будет проведено дл периодов геомагнитных возмущений средней интенсивности 26-30 августа 2014 г., 12-14 сентября 2014 г., 10-12 ноября 2014 г., а также при резких

изменениях потока релятивистских электронов во внешнем РПЗ геомагнитно-спокойные периоды со 2 по 8 августа 2014 и в первую декаду декабря 2014

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ РЭЛЕК ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЫСЫПАНИЙ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ТРАНЗИЕНТНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ» (МКА-ФКИ ПН2)

**М.И. Панасюк^{1,2}, С.И. Свертилов^{1,2}, С.И. Климов³,
А.П. Папков⁵, В.В. Богомолов^{1,2}, Г.К. Гарипов¹, В.Е. Корепанов⁶,
С.В. Краснопеов⁵, В.А. Кудряшов⁴, Ил Пак⁹, Х. Роткель⁸,
Ч. Ференц⁷, С. Беляев⁶, А.В. Богомолов¹, Л. Боднар⁷,
С.В. Бортников⁴, А. Демидов⁶, Джин-А Джеон⁹, Жи-Ин Ким⁹.
А.Ф. Июдин¹, В.В. Калегаев¹, Джик Ли⁹, П.В. Масельский⁴,
М. Моравский⁸, И.Н. Мягкова¹, П. Сегеди⁷**

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

²МГУ им. М.В. Ломоносова, физ. фак-т, г. Москва, Россия.

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

⁴ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина, г. Москва, Россия.

⁵НИЛАКТ ДОСААФ, Россия.

⁶Львовский филиал ИКИ НАН и НАНУ, Украина.

⁷Университет Этвеша, Венгрия.

⁸ЦКИ Польской АН, Польша.

⁹Университет Сонгкугван, Корея.

Основной задачей космического эксперимента с комплексом научной аппаратуры «РЭЛЕК», установленной на спутнике «Вернов», является изучение механизмов ускорения и потерь электронов релятивистских энергий в зонах захваченной радиации, а также изучение возможного влияния потоков высыпавшихся релятивистских электронов на верхнюю атмосферу Земли и ее отклика на такие высыпания в виде, так называемые транзистентных явлений в различных диапазонах электромагнитного спектра. Спутник «Вернов» был успешно выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту (высота 640-830 км, наклонение 98.4°) 8 июля 2014 г.. В состав научной аппаратуры входят прибор ДРГЭ, позволяющий регистрировать с высоким временным разрешением (~15мкс) вспышки гамма-излучения из атмосферы Земли, а также вариации потоков релятивистских (0.2-15.0 МэВ) электронов, оптические приборы ДУФ и «Телескоп-Т» для изучения транзистентных атмосферных явлений в оптическом и ультрафиолетовом диапазонах, магнитоволновой комплекс НЧА-РЧА, дающий возможность измерять характеристики электромагнитных полей в широком диапазоне частот (0 – 15 МГц) и блок электроники БЭ, обеспечивающий сбор научной информации и ее передачу на бортовые системы спутника. К настоящему времени получено более 100 Гбайт научных данных, кающихся, в том числе, механизмов ускорения и потерь электронов высоких энергий, взаимодействия «волна-частица», динамических процессов в системе атмосфера – ионосфера - магнитосфера, характеристик атмосферных вспышек гамма-излучения, всплесков ультрафиолетового излучения в атмосфере Земли.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ МАГНИТОПАУЗЫ В СПОКОЙНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКЕ И ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА THEMIS

М.С. Пулинец¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2},
С.С. Знаткова¹, И.П. Кирпичев^{2,1}

¹НИИЯФ, МГУ, г. Москва, Россия.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия, cotopaxy@gmail.com, orearm@gmail.com.

Проведён анализ пересечений магнитопаузы в спокойной геомагнитной обстановке и во время магнитных бурь. Был изучен весь период функционирования спутников THEMIS с момента запуска (2007 год) до настоящего времени. Были отобраны магнитные бури с минимальным значением $Dst < -50$ нТл. Проведено сравнение пересечений магнитопаузы во время бурь с набором пересечений в спокойных геомагнитных условиях. Определён порционный вклад каждой из компонент давления в интегральное давление. Отмечены особенности поведения давления и его компонент во время магнитных бурь:

- Магнитное давление во многих случаях являлось преобладающим не только внутри магнитосферы, но и в магнитослое. Усреднение по многим пересечениям показывает, что вклад магнитной компоненты давления в полное давление значительно выше при возмущенных геомагнитных условиях.
- Плазменное давление повышается при выходе в магнитослой, но в среднем его вклад в полное давление существенно меньше, чем в спокойных условиях.
- Во время бурь возрастает величина флуктуаций давления. Время прохождения магнитопаузы спутниками в среднем также возрастает.
- В целом величина давления на границах магнитопаузы во время бурь примерно в два раза превышает среднее давление в спокойных условиях.

ПОИСКИ ПРИЗНАКОВ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В ДАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ДНЕВНОГО КАСПА

В.В. Сафаргалеев, Т.И. Сергиенко, А.Е. Козловский,
А.Л. Котиков, А.В. Сафаргалеев

ПГИ, г. Анапты, Россия, vladimir.safargaleev@pgia.ru.

В дневные часы арх. Шпицберген проходит под дневным каспом. Ионосфера над Шпицбергеном оказывается магнитосопряженной с дневной магнитопаузой и прилежащими к ней доменами – мантией и низкоширотным пограничным слоем. Это создает предпосылки для изучения процессов взаимодействия солнечного ветра с дневной магнитосферой по динамике дневных сияний и пульсациям герцового диапазона, которые являются волнами альвеновского типа, а также по характеру крупномасштабной конвекции ионосферной плазмы. Проанализированы три ситуации, когда дневные ионосферные явления регистрировались не одним, а одновременно несколькими инструментами – all-sky камерой в obs. Баренцбург, индукционными магнитометрами, спутниками DMSP и ионосферными радарными SuperDARN. В первом случае Шпицберген оказался глубоко в полярной шапке из-за экстремально больших отрицательных значений V_z компоненты ММП. Сопоставление данных индукционных магнетометров в obs. Баренцбург и на материке с характером ионосферной конвекции и вариациями V_y компоненты ММП позволило связать всплеск магнитной активности в герцовом диапазоне с прохождением над областью наблюдений подошвы пересоединившейся силовой трубки. Роль источника пульсаций может играть в

этом случае анизотропная плазма переходного слоя. Во втором случае в поле зрения all-sky камеры в обл. Баренцбург оказался касп, сдвинувшийся к югу от своего среднестатистического положения из-за больших отрицательных значений V_z компоненты ММП. Аккуратное сопоставление оптических и спутниковых данных показало, что в каспе наблюдаются слабые лучистые дуги, которые вследствие дрейфа к полюсу затем оказываются в мантии. Этот факт в сочетании с характерной дисперсией по энергиям высыпающихся ионов позволяет ассоциировать оптическое явление с пересоединением. Лучистые структуры связаны не с ускоренными, а рассеянными низкоэнергичными электронами. В третьем случае обл. Баренцбург находилась в области замкнутых силовых линий из-за больших положительных значений V_z компоненты ММП. Сопоставление оптических и магнитных данных с данными радара позволяет связать дрейфующие к полюсу авроральные структуры, наблюдаемые на северной кромке ионосферной неоднородности, с захватом плазмы переходного слоя в результате пересоединения при северном ММП.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ: ДИНАМИКА ВО ВРЕМЯ СУББУРИ И ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

**В.А. Сергеев¹, Н.П. Дмитриева¹, Н.. Степанов¹, Д.А. Сормаков²,
В. Анжелопулос³, А.В.Рунов³**

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, victor@geo.phys.spbu.ru.

²ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия.

³УК, г. Лос Анжелес, США.

Как было недавно показано авторами, уровень магнитной активности измеряемый индексами электроструй чувствителен к параметрам электронной компоненты плазменного слоя, вероятно, в силу чувствительности Холловской проводимости к величине их продольного ускорения, которое зависит от соотношения температуры/плотности электронов плазменного слоя. В частности, в среднем холодный/плотный плазменный слой при той же интенсивности драйвера создает заметно меньшие величины магнитного возмущения AL в сравнении с нагретым/разреженным плазменным слоем. Отношение температур / давлений. В данной работе, опираясь на обширную базу данных регистрации электронной компоненты спутниками THEMIS на расстояниях $\sim 11R_E$, мы изучали два процесса влияющие на состояние электронной плазмы в хвосте магнитосферы. Базы OMNI за период 1976 – 2000 г, проводится исследование зависимости максимальных значений геомагнитных индексов $|Dst|$ и AE (интенсивности кольцевого и аврорального токов), наблюдаемых во время магнитных бурь, от величины межпланетного электрического поля E_y . Анализ сделан для 8 категорий магнитных бурь, вызванных разными типами течений солнечного ветра: CIR – 86 бури, MC – 43 бури, ShMC - 8, Ejecta – 95, ShEjecta – 56, MC+Ejecta – 138, ShMC+ShEjecta – 64, и неопределенный тип – 75 бурь. В результате анализа показано, что величина $|Dst|$ индекса (интенсивности кольцевого тока) растет с ростом электрического поля E_y для всех 8-ми типов течений. При сильных электрических полях $E_y > 11$ мВ/м внутри магнитных облаков MC и, возможно, внутри всех ICME (MC+Ejecta), величина $|Dst|$ индекса выходит на насыщение. Величина AE индекса (интенсивность аврорального тока) во время магнитных бурь не зависит от величины электрического поля E_y почти для всех течений, кроме магнитных облаков MC и, возможно, области сжатия перед ними ShMC. Наблюдается линейный рост AE индекса внутри MC при низких значениях поля $E_y < 11$ мВ/м, и спад при сильных полях $E_y > 11$ мВ/м. Так как во всех типах солнечного ветра динамическое давление P_d и флуктуации sB ММП коррелируют с величиной E_y , то оба геомагнитных индекса $|Dst|$ и AE не демонстрируют на фоне их зависимости от E_y дополнительной зависимости от P_d и sB

ММП. Полученные статистические результаты согласуются с данными других авторов для отдельных типов течений и дополняют их по другим типам течений. Нелинейная связь интенсивности $|Dst|$ и AE индексов с E_y компонентой электрического поля, наблюдаемая при сильных электрических полях E_y внутри МС и возможно всех ИМСЕ, согласуется с моделированием магнитосферно-ионосферной токовой системы зоны I в условиях насыщения потенциала полярной шапки.

МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ЮПИТЕРОВ

И.Ф. Шайхисламов¹, П.А. Прокопов¹, М.Л. Ходаченко²

¹*ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, ildars@ngs.ru.*

²*МГУ, г. Москва, Россия.*

Одномерная газодинамическая модель планетарного ветра, апробированная нами ранее [1], интегрирована в двухмерный осесимметричный МГД код. Модель включает распределенный нагрев верхней атмосферы реалистичным спектром коротковолнового ионизирующего излучения, кинетику нейтральных и ионизованных водородных компонент, инфракрасное охлаждение (H_3^+) и Лайман-Альфа охлаждение, гравитационное и приливное взаимодействие. Впервые проведены самосогласованные расчеты потери массы экзопланеты HD 209458b при наличии дипольного магнитного поля. Установлено, что экваториальное поле величиной порядка 1 Гс значительно уменьшает интегральную скорость потери массы. Подтверждена гипотеза [2], что планетарный ветер должен формировать за пределами области стагнации тонкий экваториальный магнитодиск. Впервые обнаружено, что магнитодиск не является статическим и испытывает периодические фазы накопления магнитного потока и релаксации в процессе быстрого магнитного пересоединения. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН (П.10.1.4.) и Российского фонда фундаментальных исследований (14-29-06036).

[1] Shaikhislamov I. F., M. L. Khodachenko, Yu. L. Sasunov, H. Lammer, K. G. Kislyakova «Atmosphere expansion and mass loss of close-orbit giant exoplanets heated by stellar XUV: I Modeling of hydrodynamic escape of upper atmospheric material» The Astrophysical Journal (2014) 795(2), 132(15pp).

[2] Khodachenko, M. L., I. Alexeev, E. Belenkaya, H. Lammer, J-M. Griessmeier, M. Leitzinger, P. Odert, T. Zaqarashvili, and H. O. Rucker. "MAGNETOSPHERES OF "HOT JUPITERS": THE IMPORTANCE OF MAGNETODISKS IN SHAPING A MAGNETOSPHERIC OBSTACLE" The Astrophysical Journal 744, № 1 (2012): 70.

МАГНИТНЫЙ ПОТОК ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ В ЭМПИРИЧЕСКОЙ И МГД-МОДЕЛЯХ

М.А. Шухтина, Н.А. Морачевский, Н.А. Цыганенко, Е.И. Гордеев

*Санкт-Петербургский Университет, г. Санкт-Петербург, Россия,
Maria-Shukht@yandex.ru.*

Рассмотрены две новые модификации эмпирического метода расчета магнитного потока хвоста (F) в приложении к искусственному событию с заданными вариациями ММП. Данное событие моделируется в трех вариантах: в модели Цыганенко T13 с зависящей от ММП магнитопаузой, а также в МГД-моделях центра CCMC (<http://ccmc.gsfc.nasa.gov/>) для двух разных кодов: BATS-R-US и OPENGGCM. Метод расчета F основан на работе (Petrinesc and Russell, J. Geophys. Res., 1996), далее PR96. В отличие от PR96, где расчет радиуса хвоста основан на модели, в нашем алгоритме радиус рассчитывается на основе измерений магнитного поля в долях хвоста. Предыдущая версия алгоритма позволяла рассчитывать величину F только по измерениям на геоцентрических расстояниях больше $15 R_E$, где выполняется 'хвостовое приближение'. Область применения новых модификаций расширена за счет более близких геоцентрических расстояний благодаря тому, что поле внешних источников в хвосте оказывается примерно однородным (в отличие от поля диполя). Прежде всего было проведено сравнение вариаций магнитного потока (полученных прямым интегрированием поля) для двух МГД-кодов и модели T13. Оказалось, что величины F по BATS-R-US и по OPENGGCM отличаются примерно на 0.2 GWb, а величина F по T13 лежит между ними. Значения коэффициента корреляции варьируют от 0.62 (OPENGGCM-T13) до 0.79 (BATS-R-US – T13) при корреляции 0.73 между двумя МГД-кодами. Тестирование эмпирического метода проводилось на модели T13. Все три модификации метода (F_0 , F_1 и F_2) основаны на предположении о балансе давлений на магнитопаузе и на представлении о расширяющемся хвосте. Радиус хвоста вычислялся на основе одновременных измерений двух спутников (в хвосте и в солнечном ветре), при этом радиус на терминаторе (при $X=0$) вычислялся по полученной нами формуле, которая дает несколько лучшие результаты (корреляции и регрессии), чем PR96. При расчете величины F_0 площадь сечения умножалась на величину 'измеренного' поля в долях B_L , а при расчете F_1 и F_2 – на величину внешнего поля $B_L - B_{dip}$, где B_{dip} - поле диполя в данной точке. При расчете величин F_0 и F_1 радиус магнитопаузы вычислялся из баланса давлений в солнечном ветре и в магнитосфере, а при расчете величины F_2 вычислялся радиус некоторой поверхности внутри магнитопаузы из баланса давления в солнечном ветре и полного давления за вычетом давления поля диполя в магнитосфере. Оказалось, что область определения величины F_2 существенно больше, чем F_1 , и величина F_2 более однородна (меньше зависит от точки наблюдения). Алгоритм расчета величин F_0 и F_1 предполагает, что изолинии полного давления перпендикулярны к магнитопаузе, а для расчета F_2 необходима перпендикулярность к магнитопаузе изолиний полного давления за вычетом поля диполя. Показано, что в модели T13 оба этих условия выполняются в обширной области хвоста до расстояний $X = -7 R_E$, а иногда и до $X = -3 R_E$. Величины F_0 , F_1 и F_2 вычислялась для 'измерений' в двух сечениях хвоста – $X = -15 R_E$ и $X = -7 R_E$ и сравнивались с величиной F , полученной прямым интегрированием в сечении $X = -15 R_E$. Все три приближения дают высокие коэффициенты корреляции (~0.9) и коэффициенты регрессии, близкие к 1. Значения F_0 везде превышают величину F и существенно неоднородны. Значения F_1 и F_2 близки к величине F , при этом величина F_2 более однородна и имеет более широкую область определения.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ФОНОВАЯ ТЕПЛОВАЯ ПЛАЗМА ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗОНДА ЛЕНГМЮРА НА КА ИНТЕРБОЛ-2)

В.В. Афонин¹, Jan Smilauer²

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vvafonin@iki.rssi.ru.

²IAP, of Acad. Sci., Prague, Czech Republic.

1. Знание параметров тепловой ($E \leq 10$ эВ) плазмы во внутренней магнитосфере (ВМ) в авроральной зоне и полярной шапке является критически важным для понимания много численных плазменно-волновых процессов, наблюдающихся в этой области. Наиболее востребованными являются сведения о концентрациях холодной N_c и горячей N_h плазмы.

2. Концентрация электронов N_e измерялась в ВМ различными методами на всех высокоапогейных КА в течение последних четырех декад S3-3 (1976), DE-1 (1981), Viking (1986), Freja (1992), POLAR (1995), FAST (1996), CLUSTER (2000) и «Интербол-2 (1997)». Из обширной литературы следует следующая картина ВМ: ВМ заполнена разреженной плазмой с $N_e < 10 \text{ см}^{-3}$ на $h=1\text{RE}$ и $N_e < 1 \text{ см}^{-3}$ на $h=3-4\text{RE}$; плазма состоит из сверхтепловых и кэВ-частиц; тепловая (холодная) плазма $E \leq 10$ эВ практически отсутствует; потенциал корпуса КА всегда положителен.

3. Практически все данные по N_e тепловой плазмы в полярной магнитосфере были получены методом плавающего потенциала (FPM) или различными волновыми методами. В настоящее время считается, что он способен «обеспечить почти рутинное получение непрерывной информации о концентрации тепловой плазмы» [Johnson et al., 2000]. Этот метод “has been perfected” и откалиброван по результатам других измерений N_e на КА GEOS, ISEE-1, CRESS, GEOTAIL and POLAR (Pedersen et al., 2001).

4. Эта точка зрения настолько сильна, что все упомянутые выше эксперименты проектировались для измерения только положительных ПК. EFI-прибор для POLAR (Harvey et al., 1995), приборы для активного контроля потенциала корпуса КА при помощи эмиссии пучков заряженных частиц для «Интербол-2» (Torkar et al., 1998) и для CLUSTER (Torkar et al., 2001) использовали только ионные пушки для контроля положительного ПК.

5. По своей природе метод FPM показывает положительный потенциал ПК всегда – даже если КА имеет отрицательный потенциал ПК. Поэтому практически все (за редким исключением) имеющиеся в литературе данные по N_e холодной плазмы являются просто неверными.

6. Эксперимент Интербол-2/КМ-7 показал в авроральной зоне преимущественно отрицательный потенциал, что противоречит результатам всех предыдущих экспериментов, использующих метод FPM или большинство волновых методов. Случаи, когда волновые методы позволяют надежно определить концентрацию холодной плазмы редки и ограничены по длительности (участку орбиты).

7. По измерениям параметров тепловой плазмы при помощи зонда-Ленгмюра на КА «Интербол-2» на статистически значимом материале показано.

- Во внутренней магнитосфере в целом (при усреднении по MLT, широтам и солнечно-геомагнитной активности) в высотном ходе N_e на высоте ~ 15500 км (2.43 RE) обнаружен широкий максимум, простирающийся от 14000 до 18500 км: N_e быстро спадает от 100 см^{-3} на $h=8000$ до 50 см^{-3} на $h=13000$ км и начинает возрастать до локального максимума $N_e = 62 \text{ см}^{-3}$ на $h=15500$ км, после чего продолжатся спад.

- Этот максимум N_e сопровождается аналогичным, но “противофазным” минимумом в высотном ходе электронной температуры T_e . Температура электронов $T_e = 0.5$ эВ на $h=7500$

км, быстро нарастает до 3.2 эВ на $h=13500$ км и затем падает до 2.8 эВ в вышеуказанном локальном минимуме на $h=15500$ км, за которым продолжается рост T_e приблизительно с той же скоростью, как в нижней части высотного профиля.

8. Тепловая плазма во внутренней магнитосфере на высотах до 3 RE представляет собой стабильный фон с концентрацией $N_e = 10 - 100 \text{ см}^{-3}$ и температурой $T_e = 1-3$ эВ. В авроральной зоне она практически всегда не является максвелловской и состоит из нескольких компонент (горячих “хвостов” и электронных пучков - движущейся плазмы) с энергией > 3 эВ.

ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛИЖНЕЙ МАГНИТОСФЕРЫ С ВАРЬИРУЕМЫМ ТРЕХМЕРНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В.А. Андреева, Н.А. Цыганенко

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

Исследуется возможность построения нового класса моделей, позволяющих воспроизводить на основе спутниковых данных распределение векторов магнитного поля в ближней магнитосфере ($R < 15R_e$) с заданной степенью разрешения по всем трем пространственным координатам. Предыдущие эмпирические модели, основанные на модульном подходе, разрабатывались с привлечением априорных сведений о геометрии крупномасштабных источников поля, что могло влиять на извлекаемую из спутниковых данных информацию об их реальной пространственной структуре. Предлагаемый подход снимает эти ограничения благодаря описанию внешней части поля разложениями по ортогональным функциям всех трех координат, с возможностью дальнейшей их надстройки гармониками более высоких порядков. В приложении к моделям магнитосферы, ближайшим аналогом и предшественником данного подхода была работа [Tsyganenko and Sitnov, 2007], где разложения, составленные из членов, ортогональных по двум координатам (радиусу и долготе), использовались для описания вклада в полное поле от экваториального токового слоя заданной толщины. Новизна метода, предлагаемого в нашей работе, состоит в представлении компонент поля разложениями по Фурье-гармоникам, ортогональным уже по всем трем пространственным координатам. Это повышает гибкость моделей и позволяет ожидать появления в результатах моделирования интересных и ранее скрытых деталей магнитосферной структуры на фоне вклада крупномасштабных токовых систем. Первые варианты модели тестировались с использованием трёхмерных массивов магнитного поля, полученных из МГД-симуляций магнитосферы по кодам BATSRUS, LFM и GUMICS в области радиальных удалений $3 < R < 15R_e$.

ДВУХМЕРНАЯ КОНФИГУРАЦИИ ТОКОВОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРНОГО ХВОСТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ МИССИИ THEMIS

А.В. Артемьев, А.А. Петрукович, R. Nakamura, Л.М. Зелёный

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ante0226@yandex.ru.

Мы используем одновременные наблюдения токового слоя тремя аппаратами THEMIS в хвосте земной магнитосферы на разных расстояниях от планеты для восстановления двухмерной конфигурации магнитосферного токового слоя. Вертикальные движения токового слоя позволяют получить оценку на толщину слоя и плотность тока. Из 20 событий одновременных наблюдений токового слоя на расстояниях от -12 до -25 R_E можно выделить две группы примерно с равным количеством слоёв в каждой. К первой группе относятся двухмерные токовые слои, толщина которых растёт при удалении от планеты, а плотность тока падает как $j_y \sim B_z$. Во второй группе собраны слои с постоянной толщиной на масштабе от -12 R_E до -25 R_E . Токовые слои из второй группы характеризуются меньшей толщиной и большей плотностью тока по сравнению с первой группой.

КОРРЕЛЯЦИОННО-СКЕЛЕТОННЫЙ МЕТОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ДИАПАЗОНА Pc4-5 НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

Н.А. Бархатов, С.Е. Ревунов, Д.В. Шадруков

НГПУ им. К. Минина, г. Нижний Новгород, Россия, nbarkhatov@inbox.ru.

Выполнено исследование пространственно-временного распределения геомагнитных возмущений МГД диапазона регистрируемых вдоль 210 меридиана на разных этапах геомагнитных бурь специально разработанным методом корреляционно-скелетонной обработки данных. В основу метода положено представление результатов расчета спектров в виде «скелета» вейвлет-картин возмущений компонент геомагнитного поля. Ранее было показано [Barkhatov and Revunov, 2014], что вейвлет-анализ позволяет обнаруживать факты регистрации однотипных гармоник в анализируемых данных в конкретный момент времени при учете количественной объективной оценки согласованности получаемых спектров. Предлагаемые идеи получили продолжение в настоящем исследовании в рамках корреляционно-скелетонного метода для пространственно-временного анализа возмущений диапазона Pc4-5 в периоды магнитных бурь в посекторном представлении 210-го меридиана. Разрабатываемый здесь метод ориентирован на попарное сопоставления скелетонных спектральных картин с усовершенствованной формой представления результатов этого сопоставления. Последнее заключается в усреднении результатов сопоставления фиксированными окнами вдоль 210 меридиана на графической панели в виде тоновой пиксельной кодировки. Уровень синхронизации геомагнитных возмущений на соседних станциях обозначается интенсивностью тонировки. Сопоставление полученных панелей в зависимости от уровня геомагнитной активности и значений параметров солнечного ветра позволяет наглядно оценить пространственно-временное распределение геомагнитных возмущений на разных этапах геомагнитных бурь. В предбуревом состоянии отмечается синхронизация долгопериодных колебаний в высоких широтах для горизонтальной компоненты геомагнитного поля и в приэкваториальных – для вертикальной. Так проявляются свойства пульсаций диапазона Pc4, возбуждение которых альвеновским резонансом силовых линий поля характерно для магнитоспокойных условий [Большакова и

др., 1995]. Наиболее отчетливо выражена синхронизация в областях, где абсолютные величины соответствующих компонент поля не велики (H в высоких широтах, Z в приэкваториальных). Это можно объяснить синхронизацией поперечных волн, распространяющихся вдоль силовых линий магнитного поля. Старт начальной фазы бури сопровождается вдоль меридиана синхронизацией анализируемых колебаний в H и Z компонентах поля. Причину такой синхронизации можно объяснить полоидальными пульсациями диапазона Pc4-5 обусловленными развитием неустойчивости Кельвина–Гельмгольца на магнитосфере поджатым действием подошедших неоднородностей солнечного ветра [Нишида, 1980].

[1]. N.A. Barkhatov and S.E. Revunov, Spectral Features of Solar Plasma Flows // Geomagnetism and Aeronomy, Vol. 54, No. 6, pp. 688–693, 2014.

[2]. Большакова О.В., Боровкова О.К., Троицкая В.А., Клейменова Н.Г. Интенсификация геомагнитных пульсаций Pc4 в условиях спокойной магнитосферы // Геомагнетизм и аэрномия, Т.35, №3, С.143-145, 1995.

[3]. Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. М.: Мир, 1980, 299 с.

РЕАКЦИЯ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ ЧЕРЕЗ ПОЛЯРНУЮ ШАПКУ ЗЕМЛИ НА СКАЧОК ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПРИ ПОСТОЯННОМ ЮЖНОМ ММП

Е.С. Беленькая, В.В. Калегаев, М.С. Блохина

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, elena@deci.sinp.msu.ru.

Исследуется влияние на высокоширотную ионосферу Земли скачка динамического давления солнечного ветра, вызванного только ростом плотности плазмы межпланетной среды при постоянном южном межпланетном магнитном поле. Анализируется реакция разности потенциалов через полярную шапку на скачок плотности солнечного ветра и на рост AL. Показано, что для случая 10 января 1997 г. основной вклад в скачок потенциала через полярную шапку дал рост AL-индекса. Таким образом, разность потенциалов через полярную шапку меняется в зависимости от AL и градиента плотности плазмы солнечного ветра, т.е. при таких условиях, когда межпланетное электрическое поле неизменно.

АТМОСФЕРНЫЕ ПОТЕРИ МАРСА, ИНДУЦИРОВАННЫЕ СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ – СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ С ЧИСЛЕННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

О.Л. Вайсберг

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, olegv@iki.rssi.ru.

Атмосферные потери Марса, индуцированные солнечным ветром, исследовались с 1970-х годов на первых спутниках Марса. Впоследствии более детальные исследования были проведены на Фобосе-2 и продолжают проводиться на Mars-Express. В 2016 г. На орбиту спутников Марса выведены спутники MAVEN и Mangalyaan (Mars Orbiter Mission), основной задачей которых является исследование атмосферы Марса и атмосферных потерь. Это показывает важность исследования процессов нетепловых потерь и массовой нагрузки солнечного ветра атмосферными ионами, которые играют важную роль в эволюции атмосферы Марса. Анализ и сравнение наблюдений на нескольких космических аппаратах показывают существенную зависимость потерь атмосферы Марса от солнечной активности. Однако, пока существуют значительные различия между данными разных космических

аппаратов, как в величинах плотности потоков убегающих ионов, так и в оценках полных потерь, индуцированных солнечным ветром, в пределах от $n \cdot 10^{24}$ до $n \cdot 10^{26} \text{ с}^{-1}$. МГД и кинетические модели взаимодействия солнечного ветра с верхней атмосферой и ионосферой Марса являются важным инструментом исследования и дают богатую пищу для сравнения с экспериментальными результатами. Существует значительное сходство между численными моделями и наблюдениями в ряде аспектов, включая размер и форму индуцированной (аккреционной) магнитосферы, влияние межпланетного магнитного поля на взаимодействие с солнечным ветром и роль различных механизмов атмосферных потерь. Однако, есть существенные расхождения между наблюдаемыми и рассчитанными распределениями захваченных ионов по скоростям, а также значительная разница (до 10 раз) в оценке полной величины потерь и в объяснении существования тонкой границы магнитосферы. В докладе проводится сопоставление различных наблюдений и теоретических моделей и обсуждаются направления дальнейших исследований.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА ДИАМАГНЕТИЗМА ПЛАЗМЫ В ФОРМИРОВАНИЕ ЯМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В НОЧНОМ СЕКТОРЕ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, a1246@rambler.ru.

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru.

Результаты анализа распределения магнитного поля в магнитосфере Земли приводят к выделению областей минимумов магнитного поля вдоль траектории полета спутника вблизи экватора. Ряд таких событий были выделены при анализе результатов наблюдений на высокоапогейных спутниках вблизи экваториальной плоскости. Традиционно формирование локальных минимумов магнитного поля вблизи полуночи связывается с искажением магнитосферного магнитного поля током хвоста вблизи приземного края хвостового тока. Однако, локальные минимумы магнитного поля могут формироваться и за счет локального возрастания давления плазмы (диамагнитный эффект). В данном случае должен наблюдаться локальный максимум давления плазмы. В ходе анализа зарегистрированных событий формирования ям магнитного поля выделены события вблизи полуночи, в которых одновременно наблюдались горбы давления. Привлечены данные одновременных близких пролетов авроральных спутников для уточнения вида профиля давления. Такое уточнение возможно в связи с наблюдаемой изотропией давления и его постоянством на магнитной силовой линии в условиях магнитостатического равновесия. В ходе нелинейного моделирования искажения поля диполя полученным распределением давления показано, что диамагнитный эффект вносит существенный вклад в формирование наблюдаемых ям магнитного поля.

АНАЛИЗАТОР ИОННЫХ МАСС ТДК-С ПРОЕКТА СТРАННИК

А. Григорьев¹, С. Барабаш², М. Висер², Ю. Свенссон²

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, aug@iki.rssi.ru.*

²*Шведский ИКФ (IRF), г. Кируна, Швеция.*

Анализатор ионных масс ТДК-С проекта Странник является ионным масс-спектрографом с широким энергетическим диапазоном и большим углом зрения. Приоритетными задачами анализатора являются определение динамических характеристик взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, изучение процессов ускорения плазмы во внешней магнитосфере и солнечном ветре, определение динамических характеристик магнитосферного циклотронного мазера. Поле зрения ионного анализатора охватывает 2 π полусферу. Прибор осуществляет как энергетический, так и массовый анализ ионов. Для решения научных задач эксперимента прибором проводятся измерения энерго-угловых распределений потоков ионов в диапазоне измеряемых энергий от 10 эВ до 15 КэВ и измерения массовых распределений потоков ионов с атомными массами в пределах 40 аму. Прибор ТДК-С оптимизирован для мониторингирования ионных потоков в условиях УФ фона. Особое внимание уделено работоспособности анализатора ионных масс во время работы в радиационных поясах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГЕОМАГНИТНОГО ИНДЕКСА Dst С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МЕТОДА ПРОЕКЦИЙ НА ЛАТЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ

С.А. Доленко, И.Н. Мягкова, К.А. Гущин, А.О. Ефиторов, И.Г. Персианцев

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, dolenko@srd.sinp.msu.ru.

Магнитосфера Земли представляет собой сложную динамическую систему, состояние которой может быть описано с помощью многомерного временного ряда (ВР), включающего значения наземных геомагнитных индексов Dst и Kp, параметров солнечного ветра (СВ) и межпланетного магнитного поля (ММП), измеренных в точке Лагранжа L1 между Землёй и Солнцем. Сложность проблемы прогнозирования ВР геомагнитных индексов связана со сложными и до сих пор до конца не понятыми взаимосвязями между параметрами магнитосферы, а также с возможным существованием нескольких существенно различных областей в фазовом пространстве состояний этой динамической системы, для которых наиболее эффективными могут оказываться отличные друг от друга модели прогнозирования. Для выделения этих областей в настоящей работе используются алгоритмы кластеризации данных (самоорганизующиеся карты Кохонена, k-средних), позволяющие осуществить сегментацию рассматриваемого многомерного ВР объективным методом. Качество полученной сегментации оценивается как экспертом (с точки зрения соответствия выделенных сегментов различным состояниям магнитосферы), так и с помощью специальных математических индексов, позволяющих объективно оценить качество кластеризации. Для учёта предыстории физических величин, составляющих многомерный ВР, используется погружение ВР на глубину в 24 часа, представляющуюся заведомо достаточной для описания состояния магнитосферы как динамической системы. Качество и физическую адекватность сегментации можно улучшить путём понижения размерности многомерного ВР, подаваемого на вход ИНС. Для этого необходимо определить оптимальную глубину погружения (диапазон задержек) для каждого параметра. Это можно сделать несколькими способами – с помощью корреляционного или кросс-энтропийного

анализа, метода группового учёта аргументов (МГУА), анализа весов нейронной сети, анализа нагрузок в методе проецирования на латентные структуры (ПЛС) и др. В работе представлены результаты сравнительного анализа качества сегментации многомерного ВР с использованием полного комплекта входных признаков с погружением ВР на 24 часа и после понижения размерности пространства входных признаков различными методами. Показано, что понижение размерности входного пространства действительно оказывает позитивное влияние на качество сегментации. Дальнейшие исследования будут направлены на сравнение качества прогноза геомагнитного индекса Dst с помощью единой нейросетевой модели и с помощью набора моделей, каждая из которых построена для своего типа сегментов (кластера). При этом выбор требуемой модели будет осуществляться с помощью того же алгоритма, с помощью которого осуществляется кластеризация. Ожидается, что такой комплексный подход позволит повысить качество прогнозирования Dst-индекса.

СОЛНЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ БОЛЬШИХ И ОЧЕНЬ БОЛЬШИХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ В ПЕРИОД 1996-2009 гг.

Л. А. Дремухина, Н.М. Руднева, П.М. Свидский, А.Ф. Харшиладзе

ИЗМИРАН, г. Троицк, МО, Россия, dremukh@izmiran.ru.

В работе рассмотрены солнечные источники для больших и очень больших геомагнитных бурь и их локализация в крупномасштабном магнитном поле Солнца в период 1995 – 2009 гг. Геомагнитные бури отбирались по значениям D_{st} , опубликованным на сайте <http://omniweb.gsfc.nasa.gov>. К большим геомагнитным бурям отнесены бури с максимальными значениями $-100 \text{ нТл} > D_{st} \geq -200 \text{ нТл}$, и таких бурь в рассматриваемый период наблюдалось 66. Очень большими геомагнитными бурями считались бури с максимальным значением $D_{st} < -200 \text{ нТл}$. В период с 1998 по 2005 годы насчитывается 16 таких геомагнитных бурь. В годы вблизи минимума солнечной активности (1995-1997 и 2006– 2009 гг.) очень большие бури не наблюдались. Для определения солнечного источника геомагнитного возмущения и его солнечных координат были использованы следующие данные: каталог корональных выбросов (СМЕ) (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/); ежедневные сводки состояния солнечной и геомагнитной активности прогностического центра в Боулдере (SWPC) (<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html>); данные об исчезновении волокон и протуберанцев сайта “Edited Solar Events Lists” (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/stp.html>); каталог корональных дыр (http://www/dxlc.com/solar/coronal_holes.html); изображения корональных дыр в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах (<http://www.spaceweather.com/>); карты крупномасштабного магнитного поля Солнца, рассчитанного на поверхности источника (2,5 радиуса Солнца). В качестве солнечных источников геомагнитных бурь рассматривались не только СМЕ, а также корональные дыры и волокна, и анализировалась их локализация на синоптических картах крупномасштабного магнитного поля Солнца. В результате анализа показано, что при наблюдении очень больших бурь только в одном случае не наблюдалось коронального выброса типа “halo”, что подтверждает представление о преимущественной связи таких бурь с выбросами этого типа. Корональные выбросы сопровождаются вспышками и исчезновениями волокон. Геоэффективные корональные выбросы расположены преимущественно вблизи центрального меридиана Солнца и имеют скорость солнечного ветра более 700 км./сек. Полученные данные подтверждают предположение о локализации корональных выбросов на границах между областями открытых и замкнутых силовых линий магнитного поля Солнца. В дополнение к результатам более ранних аналогичных исследований можно отметить следующее: не только вспышки высоких баллов, но и слабые вспышки могут вызывать большие геомагнитные бури; значительную роль в

развитии геомагнитных возмущений играют долготекущие вспышки; в рассматриваемый период явления исчезновения волокон без сопровождения вспышками редко (для 10% бурь) приводили к большим геомагнитным возмущениям; в 23 цикле корональные дыры играли преобладающую роль только в развитии 14 % больших геомагнитных бурь, в то время как в предыдущем цикле, согласно другим исследованиям, корональные дыры предшествовали 52 % больших геомагнитных бурь, классифицируемых по Ар – индексу; все вспышки и исчезновения волокон, за которыми следовали большие и очень большие геомагнитные бури, происходили на границах субсекторов (OR- областей) или вблизи гелиосферного токового слоя.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ СУББУРИ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ И УСЛОВИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И ММП

И.В. Дэспирак¹, А.А. Любчич¹, Н.Г. Клейменова²

¹ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, despirak@gmail.com.

²ИФЗ РАН, г. Москва, Россия.

Суббуревые возмущения, наблюдающиеся в высоких и авроральных широтах, можно разделить на 3 типа. Первый тип - суббури, которые наблюдаются только в авроральных широтах (“классические” суббури). Второй тип - суббури, которые перемещаются из авроральных (<70°) в полярные (>70°) геомагнитные широты (“expanded” суббури). Третий тип - суббури, которые наблюдаются только на широтах выше ~70° при отсутствии одновременных геомагнитных возмущений на широтах ниже ~70° (“polar” - полярные) суббури). Приводятся результаты исследования условий в солнечном ветре и ММП, при которых наблюдаются выделенные 3 типа суббурь. Для этого использовались данные меридианного профиля магнитометров IMAGE и базы OMNI за 1995-1996, 2000, 2006-2011 годы. Установлено, что «полярные» (“polar”) суббури появляются при положительных или небольших отрицательных значениях B_z ММП и низкой скорости солнечного ветра ($V < 500$ км/с). Для развития второго типа суббурь в высоких широтах (“expanded”) необходимы высокая ($V > 500$ км/с) скорость солнечного ветра и относительно небольшие отрицательные значения B_z ММП (от 0 до примерно -4 нТл). При этом найдено, что даже при высокой скорости солнечного ветра, но при *больших отрицательных* значениях B_z ММП распространения «классических» суббурь в высокие геомагнитные широты (>70°) не отмечено.

НАБЛЮДЕНИЕ LLBL ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕВЕРНОМ ММП ПО ДАННЫМ СПУТНИКА THEMIS-C 17 МАЯ 2008 ГОДА

С.С. Знаткова¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}, М.С. Пулинец¹

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия, svetlana.znatkova@yandex.ru;
elizaveta.antonova@gmail.com.

В работе исследуются пересечения LLBL спутником THEMIS-C 17 мая 2008 года в период 05 – 07 UT по данным приборов ESA и MGF. Данное событие интересно тем, что в течение трех часов до пересечений LLBL, во время пересечений и 2 часа после них компонента ММП B_z имела северную ориентацию. Параметры межпланетного поля были получены по данным спутника THEMIS-B. Данные условия ММП способствуют наполнению авроральной шапки,

но вопрос формирования и структуры LLBL при данных условиях слабо изучен. В работе анализируются внешние и внутренние части LLBL, толщина слоя, скорости плазмы внутри слоя. Анализируются возможные способы формирования слоя при данных условиях.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В ГЛАВНУЮ ФАЗУ НЕТИПИЧНОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ 24 НОЯБРЯ 2001г.

**Н.Г. Клейменова¹, Л.И. Громова², Л.А. Дремухина², Н.Р. Зелинский¹,
А.Е. Левитин², С.В. Громов², Н.Э. Васильева¹**

¹*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kleimet@ifz.ru.*

²*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия.*

Исследовались высокоширотные геомагнитные эффекты нетипичного развития сильной магнитной бури 24 ноября 2001г. при экстремальных условиях космической погоды. В главной фазе этой бури наблюдались огромные положительные (до $\sim +60$ нТл) значения B_z ММП при больших знакопеременных значениях B_y ММП (от $+40$ нТл до -40 нТл) на фоне высокого динамического давления солнечного ветра до $50-70$ нПа. В результате огромных положительных значений B_z ММП в главной фазе бури не наблюдалось интенсивных ночных суббурь, как это характерно для магнитных бурь, наоборот, АЕ-индекс упал от $2500-3500$ нТл в 07 UT до $\sim 200-300$ нТл в 09–10 UT. Нетипичным явлением главной фазы этой магнитной бури г. было развитие очень интенсивной (~ 2000 нТл!) дневной полярной суббури, не проявляющейся в АЕ-индексе. Суббуря сопровождалась геомагнитными пульсациями в диапазоне (2–7) мГц в полярных широтах, которые не наблюдались в авроральной зоне, но регистрировались вблизи экватора. Мы предполагаем, что источником пульсаций были флуктуации высокоширотных продольных электрических токов, усиление которых в данном районе предсказывалось в модельных расчетах. Колебания на экваторе могли быть результатом проникновения электрических токов из полярных широт.

ОБРАЗОВАНИЕ И РАСПАД ИОННЫХ СТРУКТУР В ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ АВРОРАЛЬНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ

Р.А. Ковражин¹, Г.А. Владимирова¹, А.Л. Глазунов¹, Ж.-А. Сово²

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, rkovrazh@iki.rssi.ru.*

²*IRAP, г. Тулуза, Франция.*

Проведено исследование вариаций ионных высыпаний в энергетическом диапазоне 0.1–33 кэВ по данным измерений космическими аппаратами CLUSTER на геоцентрических расстояниях 4–5 R_E (R_E - радиус Земли). Измерения ионных потоков на последовательных сечениях авроральной зоны тремя спутниками SC-1, SC-3, SC-4 позволяют проанализировать процессы рождения и распада ионных структур вблизи полярного края плазменного слоя. Используя задержки по времени прохождения выделенных областей этими спутниками, удается найти время существования ионных структур. Оценки времени жизни структур свидетельствуют о генерации ионных пучков в течение 7–15 мин и мощных рекуррентных инжекций в течение 2–3 мин. Структуры обладают как прямой, так и обратной дисперсией энергия-инвариантная широта, а в некоторых случаях дисперсия отсутствует. В работе обсуждаются возможные механизмы ускорения и генерации ионов при образовании структур.

ДИАМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ ЧАСТИЦ В УТРЕННЕМ СЕКТОРЕ МАГНИТОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ THEMIS

Т.В. Козелова, Б.В. Козелов

ПГИ, г. Анапты, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com.

По данным спутников THEMIS в утреннем секторе изучается диамагнитный эффект протонов и электронов, инжектированных в околоземную магнитосферу на 7.5-11 Re. Получено, что одни только изменения локального тока намагничивания не могут полностью объяснить наблюдаемые вариации магнитного поля в магнитосфере. Необходимы отдаленные от спутников («внешние») токи. Действие этих токов проявляется в возрастании магнитного поля во время инъекции частиц. Одной из причин такого возрастания поля на спутниках является усиление кольцевого или частично кольцевого тока во время суббуревой интенсификации. Появление 'nose' и 'wedge-like' структур ионов с энергиями 0.2-28 кэВ на 5.8-7.5 Re в рассматриваемом случае подтверждает такое предположение.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКОВ СПИРАЛИ КРУПНОМАСШТАБНОГО ММП ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ 20-24 И ИХ СВЯЗЬ С ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Т.В. Кузнецова

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

Ранее мы предложили модель взаимодействия электрических (E) и магнитных (B) полей солнечного ветра с геомагнитным полем с учетом эффектов годового и суточного движений Земли и на ее основе геоэффективные параметры. Поскольку геометрические эффекты изменения взаимной ориентации магнитного момента Земли, E и B полей солнечного ветра должны проявиться в годовой и UT вариации геомагнитной активности (ГА), нам удалось предложить новое объяснение этого факта, известного уже более 150 лет (Adv.Space Res., v. 47, 2011). Было показано также на основе анализа магнитных индексов для больших уровней ГА, что по мере увеличения уровня возмущенности на известном профиле годового распределения частоты появления индексов с максимумами в равноденствия появляются дополнительные пики в июле и ноябре. Объяснение появления новых максимумов во второй половине года, когда в соответствии с нашей моделью геоэффективна азимутальная компонента ММП западного направления ($B_y > 0$ в GSE) - одна из целей этого исследования. Кроме того, долготный угол спирали ММП ϕ соответствует восточно-западной компоненте B_y , которая играет важную роль в пересоединении на магнитопаузе и развитии ГА не только в нашей модели. Исследовались электромагнитные параметры потоков секторной структуры ММП для циклов N20-24 и их связь с ГА. Мы ставили цель найти зависимость э/м параметров солнечного ветра B , $E = [V \times B]$, где V – скорость; вектора Пойтинга плотности э/м энергии $P = [E \times B]$ от угла спирали ϕ для солнечных циклов 20-24. Такой подход позволяет описать квазистационарные потоки солнечного ветра структуры крупномасштабного ММП э/м параметрами. Использовались B , V , измеренные на ~ 1 а.е. вблизи плоскости эклиптики в 1963-2014 гг. (база omni). Полученная структура крупномасштабного ММП зависит от фазы 22-л магнитного цикла солнца таким образом, что максимумы B при $B_y > 0$ не связаны с амплитудой солнечного цикла W_m , а больше в нечетных, чем в четных циклах. В секторе с $B_y < 0$ максимумы B коррелирует с амплитудой W_m солнечных циклов. Так нечетные циклы 21 ($W_m=164$) и 23 ($W_m=121$) дают самые большие максимумы B в секторе с $B_y > 0$, а при

$V_y < 0$ близкий по величине максимум B есть только для самого высокого цикла 21. Результат согласуется с представлениями о том, что возмущенные потоки на 1 а.е. обусловлены 2 главными типами солнечных возмущений - CMEs и вспышками. Кроме того, абсолютный максимум E и P при $V_y > 0$ среди всех циклов принадлежит нечетному 23 циклу с относительно низкой амплитудой. Показано, что эти большие E и P возникают на границе плотного потока холодной плазмы, где V_x меняет знак, что указывает на кромку гелиосферного токового слоя (HCS). Поскольку характеристики потоков E и P связаны со скоростью передачи энергии к магнитопаузе (а в нашей модели взаимодействия со скоростью пересоединения), их абсолютные максимумы должны иметь отклик в ГА. Действительно мы обнаружили, что $Dst(\phi)$ дает абсолютный максимум вблизи тех же ϕ при $V_y > 0$ в 23 цикле. И наконец индекс полярной шапки P_c , полученный на основе магнитных измерений на ст. Туле имел абсолютный максимум P_c тоже в 23-м цикле. Таким образом показано, что самые большие геомагнитные возмущения и связанные с ними электрические поля E в потоках солнечного ветра наблюдались при ММП с $V_y > 0, V_x > 0$ в нечетных солнечных циклах (23,21) независимо от их амплитуды: так абсолютные максимумы E и соответствующих геомагнитных индексов принадлежат относительно малому 23 циклу. Работа выполнена при частичной поддержке гранта программы П-22 РАН.

УТ И ГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПОЯВЛЕНИЯ SSC

Т.В. Кузнецова, А.И. Лаптухов

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

SSC (внезапное начало бури), обусловленное приходом ударной волны, является элементом последующего развития геомагнитной активности (ГА), следовательно УТ и годовое распределение числа SSC также является распределением числа возмущений, рост которых начинается с взаимодействия сжатой на фронте ударной волны плазмы с магнитосферой. Актуальность этого исследования вызвана тем, что Mauaud (1973) на основе данных SSC за 100 лет (1868-1967) сделал вывод о зависимости частоты появления SSC от солнечной активности, но не нашел ее зависимости от УТ и сезона года. Несмотря на то, что он использовал данные только 3 обсерваторий, а сейчас задействованы более 40 для идентификации SSC, ничего не изменилось на данный момент. С точки зрения нашего подхода это кажется странным, так как в развиваемой нами модели взаимодействия с учетом геометрических эффектов изменения взаимной ориентации геомагнитного момента, магнитного (B) и электрического (E) полей солнечного ветра при годовом и суточном движениях Земли параметр, определяющий геоэффективность взаимодействия, зависит от УТ и месяцев в году. Мы ставили цель получить УТ и годовое распределение частоты появления SSC и сравнить его с полученными нами аналогичными распределениями магнитных индексов для различных уровней ГА. Использовались данные SSC за 1968-2011 гг, а также данные о ММП, скорости солнечного ветра V (omni base). УТ распределение SSC показывает четкий средний максимум в 13.5 ч. Расчеты УТ вариации геоэффективного параметра модели на основе необходимых данных, измеренных на орбите Земли, показывают, что средний максимум в 13.5 ± 3 ч. реализуется в период с июля по ноябрь при ММП с азимутальной компонентой, направленной на запад ($V_y > 0$ в GSE). Результат указывает на то, что основной вклад в полученную УТ вариацию вносят SSC, наблюдаемые во 2-ой половине года с июля по ноябрь. Годовое распределение числа SSC дает 2 группы полугодовых максимумов в апреле, октябре и мае, ноябре, а также абсолютный максимум в июле. Чтобы понять это распределение мы исследовали годовую вариацию K_p с уровнем $K_p > 4$ при различных знаках компонент V_y, V_x ММП. Эта годовая вариация K_p показывает четкие максимумы в мае ($V_y < 0, V_x < 0$), июле и ноябре ($V_y > 0, V_x > 0$). Такая ориентация ММП

говорит о нарушении знака компонент спирали Паркера и указывает на магнитные поля, драпирующие выброс солнечной плазмы в области непосредственно за ударным фронтом, вызвавшим SSC. Для уровней ГА, значительно превышающий средний, на основе анализа магнитных индексов Кр, aa, Dst нами было показано ранее, что по мере увеличения ГА на известном профиле годового распределения частоты появления этих индексов присутствуют дополнительные пики в июле и ноябре. Показано, что годовое распределение частоты появления SSC имеет профиль, подобный годовому распределению ГА для ее сильно возмущенных уровней, когда появляются дополнительные максимумы во второй половине года в июле и ноябре. Работа выполнена при частичной поддержке гранта П-22 РАН.

МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ПРОДОЛЬНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ В РАЗРЕЖЕННОЙ АТМОСФЕРЕ ГАНИМЕДА

А.С. Лаврухин^{1,2}

¹ФФ МГУ, г. Москва, Россия, lavrukhin@physics.msu.ru.

²НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

Полярные свечения на Ганимеде являются результатом взаимодействия высыпавшихся электронов с молекулами кислорода в разреженной атмосфере Ганимеда (столбцовая плотность $(1-10) \times 10^{14}$ молекул/см²). Максимум сечения взаимодействия электронов с молекулярным кислородом для наблюдающихся линий 1304 Å и 1356 Å приходится на энергию электронов в 100 эВ. Между тем электроны магнитосферной плазмы Юпитера по измерениям космического аппарата Вояджер в районе Ганимеда характеризуются температурой в 20 эВ, $n_e = 5-20$ см⁻³. Было рассчитано, что для наблюдаемого максимума интенсивности свечения в 300 Рэлей необходима плотность электронов у поверхности Ганимеда в $n_e = 300$ см⁻³, а температура электронов должна быть в диапазоне 100-200 эВ. Необходимое ускорение электроны могут получить в результате прохождения продольной разности потенциалов на пучке открытых силовых линий магнитосферы Ганимеда. Эта продольная разность потенциалов возникает поскольку плотность тепловых электронов недостаточна для создания требуемого полного тока в Альфеновских «крыльях», образованных двумя (северным и южным) пучками открытых силовых линий. Эти токи возбуждаются в результате движения магнитосферной плазмы относительно Ганимеда, увлекаемой в совместное вращение с Юпитером. Приложенная к ионосфере Ганимеда ЭДС равна приблизительно 220 кВ. Её величина определяется поперечными размерами магнитосферы Ганимеда, магнитным полем магнитосферы Юпитера (сумма дипольного поля Юпитера и поля экваториального токового диска на орбите Ганимеда) и скоростью плазмы относительно Ганимеда. Предполагая, что Альфеновский радиус, который ограничивает зону коврашения плазмы вместе с планетой больше размеров орбиты Ганимеда, получим для скорости 139 км/сек. Ионосферный ток можно рассчитать, как произведение разности потенциалов на Педерсеновскую проводимость ионосферы Ганимеда (около 2 Сименс), Полученный ток в 440 кА оказывается больше силы тока, рассчитанной для электронов, как произведение их плотности n_e на e и скорость электронов v . Поскольку максимальный ток на тепловых электронах (157 кА), оказывается примерно в 3,5 раза ниже требуемого тока в цепи, часть поперечного потенциала перераспределяется в скачок продольного потенциала электрического поля, ускоряющего электроны. Рост плотности электронов связан с фокусировкой из-за уменьшения сечения токонесущей силовой трубки (примерно в семь раз 100 нТ/700 нТ). Оба эффекта и приводят к появлению авроральных сияний замыканию в ионосфере токи Альфеновских крыльев.

ДИНАМИКА ГРАНИЦЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОНОВ И КОНФИГУРАЦИЯ МАГНИТОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ

Л.Л. Лазутин

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, l.l.lazutin@gmail.com.

Для понимания многих аспектов развития магнитных бурь важно в качестве опоры иметь модель динамики магнитного поля Земли на разных стадиях бури. Для этой цели создаются все более сложные модели, учитывающие влияние всех основных токовых систем на магнитосферную конфигурацию. Главным способом проверки правильности модели является сопоставление предсказанной и наблюдаемой на поверхности Земли в экваториальной области вариации магнитного поля (Dst-вариации). В настоящей работе исследуется дополнительный метод - сопоставление Dst вариации с динамикой границы проникновения солнечных протонов в центральную магнитосферу. Анализ показывает, что восстановление предбуриевой границы проникновения происходит до того, как Dst индекс возвращается в нормальное положение. Повидимому кольцевой ток, сдвигается к Земле и ослабевает медленно, в то время как токовые системы, определяющие конфигурацию внешней магнитосферы, возвращаются к нормальному состоянию намного раньше.

ЭНЕРГИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ И ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ

Л.Л. Лазутин, Ю.И. Логачев, Е.И. Дайбог

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, l.l.lazutin@gmail.com.

Проведен сравнительный анализ параметров энергичных электронов в хвосте магнитосферы, принадлежащих трем источникам – солнечного происхождения, генерированных в магнитосфере Юпитера и в земной магнитосфере. Рассмотрены отличия временного хода и энергетических спектров трех типов электронов, связь с потоками вне магнитосферы и периоды появления потоков электронов каждого типа.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ БАРСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ АКР

И.Л. Моисеенко, М.М. Могилевский

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, moiseenko.i@mail.ru.

Авроральное километровое излучение (АКР) представляет собой мощное естественное электромагнитное радиоизлучение в диапазоне частот от 30 кГц до ~ 1 МГц, генерируемое в приземной плазме и распространяющееся от Земли. АКР генерируется пучками энергичных электронов, инжектируемых из хвоста магнитосферы в авроральную область. Общеизвестным механизмом генерации излучения является циклотронная мазерная неустойчивость на локальной гирочастоте электронов, развивающаяся в областях с пониженной плотностью плазмы – каверне Кальверта, в которой плазменная частота f_{pe} ниже гирочастоты электронов f_{ce} . Динамические спектры АКР весьма разнообразны и изменчивы, как по частоте, так и по времени. Обычно АКР наблюдается в частотном диапазоне 100-700

кГц, и ширина его спектра медленно изменяется в течение несколько десятков минут. В данной работе на основе измерений электромагнитного излучения в диапазоне частот 4 кГц – 1 МГц, сделанных на борту спутника ИНТЕРБОЛ-2 при помощи прибора ПОЛЬРАД, исследуются широкополосные квазипериодические всплески АКР, которые по аналогии с астрофизическими всплесками были названы «барстерами». Характерными особенностями этих всплесков является различие времени нарастания и спада – время нарастания много меньше, чем время спада. Период повторений данных всплесков составляет порядка 6-10 минут. Стоит отметить, что барстеры наблюдаются в начале или конце цуга колебаний. Показано, что при установлении режима генерации развитие циклотронной неустойчивости очень чувствительно к внешним условиям, а именно изменению концентрации фоновой плазмы.

ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР В 2006-2010 гг.

И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, morozova.evgeniya2014@yandex.ru.

В этой работе мы исследуем динамику периодических структур высокоскоростных потоков солнечного ветра, индексов геомагнитной активности (Dst и Kp) и потоков электронов с энергией $> 0,6$ МэВ на геостационарной орбите для периода 2006 - 2010 гг. Спектральная плотность мощности флуктуаций вычислена для всех параметров (скорости солнечного ветра, потоков электронов $> 0,6$ МэВ и геомагнитных индексов). Проведен анализ динамики распределения мощности среди гармоник периодической структуры высокоскоростных потоков солнечного ветра (СВ) и показана связь динамики периодических структур с динамикой корональных дыр и гелиосферного токового слоя для минимума солнечной активности 2007 - 2009 гг. Как мера геоэффективности корональных дыр рассмотрена связь периодических структур потоков солнечного ветра и соответствующих периодических структур геомагнитных параметров. Найдено, что в рекуррентных высокоскоростных потоках при увеличении спектральной плотности мощности 26 дневной гармоники на 10-15 % значительно до $\sim 100\%$ увеличивается мощность в этих гармониках для Dst и Kp индексов и практически не изменяется для потоков электронов. При этом для 13,5 дневной гармоники увеличение мощности в периодической структуре СВ на $\sim 50\%$ сопровождается \sim таким же увеличением для Kp индекса и практически не меняет мощность в этих гармониках для Dst индекса и потоков электронов. Показано, что уменьшение угла наклона гелиосферного токового слоя (с 30 до 20 градусов в 2008 г.) приводит к увеличению мощности 13,5 дневной гармоники у всех параметров. К такому изменению очень чувствительны структуры потоков электронов, мощность 13,5 дневной гармоники увеличивается \sim в 5 раз, при этом в потоках СВ мощность 13,5 дневной гармоники увеличивается только на $\sim 60\%$. Показано, что уменьшение угла наклона гелиосферного токового слоя приводит к значительному перераспределению мощности между 27 и 13,5 дневной гармониками, увеличение отношений мощности этих гармоник в 2008 г. относительно 2007 г. было \sim в 2 раза для СВ, \sim в 3 раза и \sim в 5 раз для Kp и электронов. Сравнение отношений мощности 27 и 13,5 дневной гармоник для Dst и Kp индексов и потоков электронов с этим отношением в потоках СВ (всегда меньше, чем в СВ) показало, что в 2006, 2007, 2009 и 2010 г. магнитосферу Земли можно рассматривать как хороший низкочастотный фильтр для этих параметров. Проведено сопоставление динамики общей площади низкоширотных корональных дыр с динамикой скорости СВ, показано близкое подобие временных профилей этих величин в 2007-2009 г.: уменьшение площади сопровождается уменьшением скорости СВ. Для этого периода обнаружена почти 100%

корреляция 26-дневных вариаций полной площади низкоширотных корональных дыр и 26-дневных вариаций скорости СВ.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ НА СПУТНИКЕ DEMETER: СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

**Д.Л. Пасманик¹, А.Г. Демехов¹, М. Гайош², Ф. Немец^{2,3},
О. Сантолик³, М. Парро⁴**

¹*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, pdl@aurora.appl.sci-nnov.ru.*

²*Institute of Atmospheric Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic.*

³*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, Prague, Czech Republic.*

⁴*LPC2E/CNRS, Orléans, France.*

Работа посвящена сопоставлению наблюдательных данных о параметрах квазипериодических (QP) КНЧ/ОНЧ излучений, зарегистрированных на борту спутника DEMETER, с результатами теоретического анализа. Для статистического анализа использованы данные за шесть лет, среди которых были визуально отобраны события с QP излучениями с периодами более 10 секунд и полосой частот более 200 Гц. Отобранные события наблюдались преимущественно на дневной части орбиты спутника во время спокойных геомагнитных условий, следующих за периодами повышенной геомагнитной активности. QP излучения наблюдаются в диапазоне частот от 500 Гц до 8 кГц и имели период повторения от 10 до 300 сек. Статистический анализ показал, что с ростом периода QP излучений наблюдается тенденция к уменьшению частотного дрейфа QP элементов, а также уменьшение интенсивности волн. В работе проведено численное моделирование QP излучений на основе теоретической модели проточного циклотронного мазера. Моделирование проводилось для широкого набора параметров системы (таких как концентрация холодной плазмы, L-оболочка источника, мощность источника энергичных частиц и др.). Результаты расчетов подтверждают основные тенденции зависимостей параметров QP излучений, полученные из статистического анализа экспериментальных данных. На основе сопоставления теоретических и экспериментальных указаны типичные диапазоны параметров источника QP излучений, наблюдаемых на спутнике DEMETER.

ГЕОМАГНИТНЫЙ ОТКЛИК НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАГНИТОСФЕРЫ С ВОЛОКНОМ СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ

В.А. Пархомов¹, Н.Л. Бородкова², В.Г. Еселевич³, М.В. Еселевич³

¹*БГУЭП, г. Иркутск, Россия, pekines_41@mail.ru.*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

³*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Приводятся результаты исследования взаимодействия волокна солнечной плазмы с магнитосферой 28 июня 1999 г. Даты исследования выбрана на основе анализа параметров солнечного ветра по наблюдениям на 4 спутниках и внутри магнитосферных параметров на 7 спутниках. Анализ позволил идентифицировать наличие диамагнитных структур солнечного происхождения, движущихся с высокой скоростью (600-900 км/с) внутри магнитного облака

при положительной ориентации вертикальной компоненты ММП в течение 4 часов до начала большой суббури ($AE \sim 1000$ нТл). Суббуря началась на полуденной стороне магнитосферы усилением свечения на широтах $74-76^\circ$ в 05.04 UT. В течение 10 минут свечение усиливалось в долготном диапазоне 09-15 часов MLT. В 05.12 происходит резкое усиление активности и движение активных форм к югу и востоку. В 05.17 начинается движение западной кромки свечения в полуночный сектор и в 05.30 свечение охватывает весь овал сияний от 62 до 72 параллели. Наземные наблюдения геомагнитные наблюдения вдоль овала полярных сияний показывают развитие мощной суббури, начало которой связано с резким скачком концентрации СВ. В полуночном секторе регистрируются авроральное поглощение и полярные сияния. Анализ наблюдений подтверждает выводы авторов об инициации суббури, начинающейся на полуденном меридиане при взаимодействии магнитосферы с волокнами солнечной плазмы, достигающими орбиты Земли.

СИСТЕМА МГД-УРАВНЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В ГЕОМАГНИТОСФЕРЕ

П.А. Седых

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

К сожалению, непосредственные наблюдения распределения плазмы в магнитосфере связаны с большими трудностями, потому что плазменное давление надо знать повсюду на ночной стороне магнитосферы с высоким разрешением, которое невозможно пока обеспечить имеющимися спутниками. Как показал Waters et al. (2001, Geophys. Res. Lett.), для картографирования систем продольных токов с часовым разрешением необходимо создать группировку из 66 спутников (Iridium System). Используя результаты спутникового проекта, базирующегося на данных 66 спутников (Iridium System; эксперимент под названием AMPERE), Anderson et al. (Geoph. Res. Letters, 2014) провел наблюдение продольных токов и получил интересные результаты. Хотя многоспутниковые проекты активно развиваются и необходимы, но все же проект данных от 66 спутников – очень дорогой проект. Экспериментальное изучение распределения давления плазмы затруднено в силу огромных размеров и нестационарности исследуемой области. Возникает необходимость в моделировании процессов в околоземном космическом пространстве, и важно только правильно выбирать исходную систему уравнений и далее корректно ее применять. Моделирование распределения плазменного давления может быть использовано при исследовании магнитосферно-ионосферного взаимодействия и, в перспективе, может найти применение в системе прогноза космической погоды. В практическом отношении созданный метод расчета поля плазменного давления, плотности потока энергии высыпавшихся частиц и продольных токов представляют ценность для разработки эмпирических и полуэмпирических моделей магнитосферных возмущений, позволяя оптимизировать такие модели.

ПОТЕНЦИАЛ И ФОТОЭМИССИЯ В АВРОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ МАГНИТОСФЕРЫ НА ВЫСОТАХ 2-3 R_E НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СО СПУТНИКА ИНТЕРБОЛ-2 ПРИ НИЗКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Н.Ф. Смирнова, Г. Станев, Т.М. Мулярчик

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nsmirnova@romance.iki.rssi.ru.

Данных о зарядении высокоапогейных космических аппаратов очень мало, поэтому имеет смысл представить наиболее полно результаты измерения потенциала и фотоэмиссионные характеристики спутника «Интербол-2». Зарядение спутника «Интербол-2» определяется в основном его функционированием в период низкой солнечной активности в начале 23-го цикла и особенностями орбиты: апогей 19211 км, перигей 769 км, пересечение радиационных поясов. Сопоставление одновременных измерений потенциала спутника Интербол-2 зондовыми приборами ИЭСП-2 (измеритель электрических полей) и КМ-7 (датчик электронной температуры) позволяет оценить величину плотности фотоэлектронного тока. В дополнении к приведенным ранее исследованиям анализировался фототок на спутнике «Интербол-2» во время геомагнитных возмущений с октября 1996 по март 1998 г. Этот период характеризуется слабой геомагнитной активностью: возмущения с $K_p > 7$ не наблюдались, а с $K_p = 7$ только 12 раз, а в среднем за цикл согласно NOAA Space Weather Scales $K_p = 7$ регистрируются 200 раз. Выявлено повышение фототока при увеличении геомагнитной активности, но этот эффект необходимо сопоставлять с другими факторами. Согласно полученным ранее результатам фотоэмиссия возрастает со временем нахождения на орбите «Интербол-2», а также зафиксировано кратковременное увеличение фототока во время рентгеновской вспышки класса С при $K_p = 1$. Измерения прибором ИЭСП-2 показывают, что потенциал Интербол-2 в основном положительный и находится в пределах 2-5 В, но имеются пики и более длительные повышения потенциала до 8-9 В, которые составляют приблизительно 5% измерений. В этом докладе рассматриваются эти отклонения подробно, сопоставляются с измерениями потенциала прибором КМ-7 и обсуждаются возможные причины их присутствия в данных. Орбита Интербол-2 проходит через радиационные пояса Земли, через самый центр внешнего радиационного пояса. В проведенных ранее исследованиях был сделан вывод, что в радиационных поясах эквипотенциал «Интербол-2» нарушается. Это результат основывается на анализе данных, полученных прибором АНОД при пересечении спутником радиационных поясов более 50 раз в период активной ориентации.

МОДЕЛЬ СТАЦИОНАРНОГО ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ПОЯСА 1960-Х ГОДОВ КАК ДОПОЛНЕНИЕ АЕ-8

В.В. Тёмный

ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН г. Москва, Россия, vtemnyi@mail.ru.

Интенсивные потоки электронов с энергиями $E_e > 10$ кэВ во внутренней низкоширотной магнитосфере были впервые обнаружены в 1958 году в эксперименте группы Красовского В.И. на III советском спутнике. Эти результаты замедлили создание представлений научных групп Ван Аллена и С.Н. Вернова о двух радиационных поясах – внутреннем «протонном» и внешнем «электронном» до 1961 года [Вернов и др., 1961; Van Allen, 1962]. Исследования необычной для внутреннего «протонного» радиационного пояса электронной компоненты были продолжены группой Красовского В.И. в 1962 году на спутниках КОСМОС-3 и КОСМОС-5. На них регистрировались потоки захваченных электронов естественного

происхождения с $E_e > 40$ кэВ ($E_e \sim 160$ keV) до 9 июля 1962 года – момента термоядерного взрыва в космосе STARFISH. На основе этих измерений удалось получить распределение этой компоненты в координатах (B,L) [Тёмный, 1965] для $J_e > 2,5 \cdot 10^7$ см⁻²с⁻¹. Интенсивности $J_e < 1,2 \cdot 10^7$ см⁻²с⁻¹ существенно менялись при одинаковых (B,L)-параметрах. Потребовалось введение третьего параметра – минимальной высоты дрейфовой траектории над поверхностью Земли (h_{\min}) над Южно-Атлантической магнитной аномалией (ЮАМА). h_{\min} помог отобразить эти изменения J_e от δA для всего внутреннего пояса. Они характеризуют смещение уровня J_e по высоте по мере дрейфа электронов к востоку от ЮАМА. Для $J_e = 1,2 \cdot 10^7$ см⁻²с⁻¹ оно составляет ~ 100 км, для $J_e = 3 \cdot 10^6$ см⁻²с⁻¹ ~ 400 км и для $J_e = 7,6 \cdot 10^5$ см⁻²с⁻¹ ~ 900 км. Очевидно, что попадающие на дрейфовые траектории с $h_{\min} < 100$ км потоки J_e поглощаются при подходе к ЮАМА. Причиной такого смещения по B $J_e < 1,2 \cdot 10^7$ см⁻²с⁻¹ вдоль геомагнитной долготы может быть рассеяние электронов по питч-углам [Тёмный, 1965, 2003]. Рассматривался и вариант смещения $J_e < 1,2 \cdot 10^7$ см⁻²с⁻¹ в скрещенных полях [ВхЕ] [Красовский и др., 1966]. После 9 июля 1962 года дальнейшие исследования захваченных электронов «естественного происхождения» стали невозможны и на наших, и на американских спутниках из-за радиоактивного загрязнения магнитосферы Земли продуктами высотного термоядерного взрыва STARFISH. Только в 1964 году удалось продолжить измерения электронов на спутниках ЭЛЕКТРОН-1,-3 с помощью детекторов, подобных использовавшимся на КОСМОС-3 и КОСМОС-5, но надёжно селективирующими J_e ($E_e \sim 160$ кэВ) от протонов всех возможных энергий [Bolunova A.D. et al. 1966]. Оказалось, что интенсивности захваченных электронов $3 \cdot 10^7$ см⁻²с⁻¹ $< J_e(E_e \sim 160$ кэВ) $< 2 \cdot 10^8$ см⁻²с⁻¹ в одинаковых (B,L)- областях, охватываемых орбитами КОСМОС-3,-5 и ЭЛЕКТРОН-1,-3, полностью совпали. Поэтому был сделан вывод о возврате их интенсивностей к естественному уровню во всём внутреннем поясе [Тёмный, 1968, 2003]. Созданная модель интенсивности электронов внутреннего радиационного пояса дополняет модель АЕ-8 в центре пояса. Отсутствие подобных характеристик внутреннего электронного пояса у зарубежных исследователей можно объяснить методическими трудностями селекции интенсивных потоков электронов с $E_e \sim 160$ кэВ узконаправленными детекторами на фоне проникающих в них протонов с $E_p > 40$ МэВ из полного телесного угла.

Вернов С.Н. и др. ДАН. Т. 136. № 4. С. 322.

Van Allen J.A. Transactional Astronomical Union, 1962. V. 11b. P. 99-136.

Тёмный В.В. Исследования космического пространства. М.: НАУКА. С. 209-213. 1965.

Тёмный В.В. Историко-астрономические исследования. М.: НАУКА. Вып. XXVIII. С. 279–324. 2003.

Krassovsky V.I. et al. Space Res. VI. P. 714-721. 1966.

Тёмный В.В. Космические исследования. Т. 6. Вып. 2. С. 234-241. 1968.

Bolunova A.D. et al. Space Res. VI. P. 649-661. 1966.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВМОРОЖЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.Ф. Шайхисламов, Ю.П. Захаров, В.Г. Посух, Э.Л. Бояринцев, А.В. Мелехов и А.Г. Пономаренко

ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, ildars@ngs.ru.

Межпланетное Магнитное Поле Солнечного Ветра вызывает разнообразные эффекты в магнитосфере Земли, которые имеют важное значение для предсказания космической погоды. Корональные Выбросы Массы, порождаемые вспышками на Солнце, оказывают значительное воздействие на техно- и биосферу Земли, и эффект такого воздействия во многом зависит от ММП. Лабораторное моделирование взаимодействия экстремально

энергичных КВМ с магнитосферой Земли, и роли ММП в интенсивности такого взаимодействия, дает новую информацию, недоступную иными средствами. Возможности стенда КИ-1 ИЛФ СО РАН позволили создать лабораторный аналог потока плазмы с поперечным замороженным магнитным полем новым способом с применением в одном опыте двух источников плазмы. Плазма тета-пинча заполняет камеру, распространяясь вдоль приложенного внешнего поля. Для создания поперечного импульса применяется лазерная плазма, которая разлетается поперек поля и увлекает за счет электромагнитного взаимодействия фоновую плазму. Основным результатом работы является обнаружение нового эффекта, вызванного наличием ММП южного направления. В магнитосфере, образованной без замороженного поля между внешней областью и внутренней магнитосферой всегда существует значительный скачок потенциала величиной порядка нескольких кинетических энергии ионов. В присутствии ММП южного направления оказалось, что потенциалы между внешней и внутренней областью быстро выравниваются. Причем процесс выравнивания протекает через центральную «подсолнечную» точку со скоростью близкой скорости Альфвена [1]. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН (П.10.1.4.), Российского фонда фундаментальных исследований (14-29-06036), и программы 22 Президиума РАН.

[1] Shaikhislamov et al «Laboratory model of magnetosphere created by strong plasma perturbation with frozen-in magnetic field» Plasma Physics and Controlled Fusion 56 (2014) 125007.

ПОПЕРЕЧНЫЙ НАГРЕВ ИОНОВ НА ДВИЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

Д.В. Чугунин, М.М. Могилевский, И.Л. Моисеенко, Т.В. Романцова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, dimokch@iki.rssi.ru.

Представлены результаты измерений нагрева ионов на полярной границе аврорального овала по данным спутника Интербол-2 (Авроральный зонд). Были отобраны случаи пересечения границы спутником, когда имелись одновременные изображения свечения полярной ионосферы прибором UVI, который стоял на спутнике POLAR. Используя последовательность изображений аврорального овала, были получены скорости смещения полярной границы относительно спутника Интербол-2. По данным приборов Гиперболоид и Ион (Интербол-2) были получены скорости поперечного нагрева ионов H^+ и O^+ на полярной границе. Из анализа данных делается вывод, что чем больше скорость смещения полярной границы, тем сильнее происходит поперечный нагрев ионов, достигая сотен эВ/с в некоторых случаях. Авторы предполагают, что нагрев происходит не за счет циклотронного резонанса с электростатической турбулентностью, которая присутствует в этой области, а за счет изменения тока на полярной границе.

ВЫСЫПАНИЯ ЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ К ЭКВАТОРУ ОТ ИЗОТРОПНОЙ ГРАНИЦЫ НА ДНЕВНОЙ СТОРОНЕ

Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин, Н.В. Семенова

ПГИ, г. Анапты, Россия, tyahkina@gmail.com.

По данным низкоорбитальных спутников рассмотрены особенности высыпаний энергичных протонов к экватору от изотропной границы на дневной стороне. Показано, что кроме ранее описанных в литературе локализованных высыпаний на относительно низких L-оболочках, на $L > 5$ часто наблюдаются протяженные как по широте, так и долготе области высыпаний энергичных протонов. Морфология этих высыпаний сходна с морфологией дневных ионно-циклотронных волн, наблюдающихся в экваториальной магнитосфере. Для нескольких событий удалось показать прямую связь ЭМИЦ волн в магнитосфере и протяженных высыпаний протонов в сопряженных областях. Это указывает на то, что причиной высыпаний является ионно-циклотронная неустойчивость. Развитие ионно-циклотронной неустойчивости на дневной стороне естественно связать с постоянно существующей здесь поперечной анизотропии пичч-углового распределения протонов.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ»

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ВОЛН В РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСАХ ЗЕМЛИ: БЫСТРЫЙ ПЕРЕНОС РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТИЦ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А.В. Артемьев, А.А. Васильев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

В докладе представлена модель быстрого переноса релятивистских электронов в фазовом пространстве за счёт резонансного взаимодействия со свистовыми волнами в неоднородном магнитном поле радиационных поясов Земли. Мы рассматриваем характеристики такого взаимодействия для параметров волн, полученных в ходе спутниковых наблюдений. Аналитическое описание процесса захвата в резонанс Ландау и ускорения захваченных электронов позволяет получить выражения для вероятности захвата и для характерных изменений энергии и питч-угла частиц. Данные выражения используются для построения описания эволюции функции распределения частиц.

О МАГНИТНОМ ПЕРЕСОЕДИНЕНИИ В НЕРАВНОВЕСНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ

С.И. Безродных^{1,2}, Б.В. Сомов¹

¹*ГАИ им. П.К. Штернберга МГУ, г. Москва, Россия.*

²*ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, г. Москва, Россия.*

В физике нейтронных звезд и космических гамма-всплесков фундаментальной задачей является расчет формы магнитосферы и магнитного поля в ней после прохождения мощной ударной волны, образованной взрывом сверхновой звезды. Обладая огромной энергией, ударная волна быстро сжимает магнитосферу в её головной части и формирует вытянутый хвост. Механическая энергия ударной волны преобразуется в энергию токовых слоев, подверженных воздействию нескомпенсированных магнитных сил. Граница такой существенно неравновесной магнитосферы определяется равенством газового давления за фронтом ударной волны и давления магнитного поля звезды. При этом внутри магнитосферы выполняются условия приближения сильного поля. Механизмом освобождения избытка магнитной энергии является вынужденное магнитное пересоединение. Из приведенных физических предположений вытекает постановка задачи о нахождении неизвестной формы магнитосферы и магнитного поля. Ее решение позволяет оценить возможность формирования направленных релятивистских выбросов плазмы и импульсных всплесков жесткого электромагнитного излучения. В настоящей работе построено аналитическое решение этой задачи в двумерном модельном приближении. Решении подобных задач со свободной границей в связи с астрофизическими приложениями имеет давнюю историю и проводилось многими авторами. Однако решения в замкнутой аналитической форме для моделей с токовыми слоями неизвестны.

Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares. Springer SBM, New York, 2013.

Безродных С.И., Сомов Б.В. Аналитическое решение задачи о взаимодействии ударной волны с магнитосферой нейтронной звезды // Докл. академии наук. 2014. Т. 457, № 4. С. 406-410.

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА 3D АЛЬФВЕНОВСКИХ СОЛИТОНОВ В ПЛАЗМЕ

В.Ю. Белашов¹, Е.С. Белашова²

¹*Казанский ФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com.*

²*Казанский НИТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия.*

Аналитически и численно исследуется динамика 3D уединенных альфвеновских волн, распространяющихся в ионосферной и магнитосферной плазме под углами, близкими к направлению внешнего магнитного поля, на основе модели уравнения 3-DNLS. В пренебрежении диссипативными эффектами аналитически, на основе исследования трансформационных свойств гамильтониана системы, для всего диапазона изменений коэффициентов уравнения получены достаточные условия устойчивости 3D решений. На основе методов асимптотического анализа исследованы асимптотики 3D решений. При изучении эволюции 3D альфвеновских уединенных волн, включая распространение альфвеновских пучков в замагниченной плазме, уравнение 3-DNLS интегрировалось с использованием специально развитых нами ранее численных подходов. Результаты показывают, что в бездиссипативном случае уравнение 3-DNLS может иметь устойчивые решения вида 3D альфвеновских солитонов, а также, наряду с этим, 3D решения, коллапсирующие или расплывающиеся в процессе эволюции. В терминах явления самофокусировки полученные результаты могут быть интерпретированы, как формирование устойчивого пучка альфвеновских волн, распространяющегося параллельно магнитному полю, самофокусирующегося или рассеивающегося пучка. Численно исследовано влияние на структуру уединенных волн и их эволюцию диссипативных процессов вязкостного типа.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПОТОКОВ СВИСТОВЫХ ВОЛН И РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВРАЩЕНИЕМ МАГНИТОСФЕРЫ ЮПИТЕРА

П.А. Беспалов¹, О.Н. Савина²

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

²*НИУ - ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия.*

Синхронизованные колебания в потоках энергичных электронов и интенсивности свистовых электромагнитных излучений с периодом вращения планеты наблюдались внутри и вблизи магнитосферы Юпитера. В данной работе рассматривается теоретическое описание ответственных за эти осцилляции пространственно-временных процессов в средней части магнитосферы Юпитера. Эти осцилляции соответствуют чередующимся стадиям накопления релятивистских частиц в электронных радиационных поясах и их высыпанием в ионосферу во время импульсов свистовых электромагнитных излучений. Эти осцилляции описываются самосогласованной системой релятивистских квазилинейных уравнений, в которых принята во внимание диффузия частиц в пространстве адиабатических инвариантов и эволюция электромагнитных излучений. Анализ линеаризованных уравнений показывает, что собственная частота осцилляций параметров радиационных поясов Юпитера почти не зависит от магнитной оболочки и близка к угловой скорости вращения планеты. Это является предпосылкой глобального резонанса. Мы показываем, что эти близкие к резонансу

осцилляции могут раскачиваться периодической модуляцией декремента затухания свистовых волн в ионосфере. Декремент затухания в общем случае зависит от местного времени в магнитосфере и от азимутального угла, учитывающего асимметрию быстро вращающейся ионосферы. Учет обеих этих зависимостей показывает существование в декрементах затухания не зависящей от местного времени периодической составляющей. Рассмотрены некоторые свойства и проявления вращением магнитосферы Юпитера установившихся синхронизованных периодических осцилляций потоков свистовых волн и релятивистских электронов.

ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КИНЕТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ ЭЦР РАЗРЯДА В УСЛОВИЯХ ДВОЙНОГО ПЛАЗМЕННОГО РЕЗОНАНСА

М.Е. Викторов, С.В. Голубев, В.В. Зайцев, Д.А. Мансфельд

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru.

Исследования кинетических неустойчивостей неравновесной плазмы, создаваемой в открытой магнитной ловушке мощным электромагнитным излучением микроволнового диапазона в условиях электронно-циклотронного резонанса (ЭЦР), представляют фундаментальный интерес, в том числе позволяя моделировать физические процессы, протекающие в солнечной короне, в магнитосферах Земли и других планет. Например, плазменные неустойчивости в магнитных ловушках на Солнце являются источниками мощного широкополосного радиоизлучения (так называемых всплесков IV типа), которое интерпретируется как излучение плазменных волн быстрыми электронами на частоте верхнего гибридного резонанса с последующей трансформацией этих волн в электромагнитные, например, в результате рассеяния на тепловых ионах. В случае выполнения условия двойного плазменного резонанса, когда частота верхнего гибридного резонанса совпадает с одной из гармоник гирочастоты электронов, инкременты неустойчивостей плазменных волн сильно возрастают, что приводит к появлению ярких узких полос радиоизлучения вблизи гармоник электронной гирочастоты – так называемые зебра-структуры. Следует отметить, что возможные проявления эффекта двойного плазменного резонанса не являются редкими в астрофизической плазме. Достаточно сказать, что феномен зебра-структур наблюдается не только на Солнце, но и в декаметровом радиоизлучении Юпитера, в километровом излучении Земли и даже в радиоизлучении пульсаров. В связи со сказанным, подтверждение эффекта двойного плазменного резонанса в лабораторном плазменном эксперименте представляется весьма актуальной задачей. Неравновесная плазма, создаваемая в магнитной ловушке в условиях ЭЦР, позволяет в лаборатории исследовать плазменные неустойчивости в условиях двойного плазменного резонанса. В эксперименте эти условия достигаются сразу после окончания процесса ЭЦР нагрева, т.е. в самом начале стадии распада плазмы. Обнаруженная неустойчивость сопровождается импульсно-периодической генерацией мощного электромагнитного излучения на частоте близкой к частоте верхнего гибридного резонанса и к удвоенной гирочастоте электронов, а также синхронными высыпаниями быстрых электронов из ловушки. Показано, что наблюдаемая неустойчивость связана с возбуждением плазменных волн в условиях двойного плазменного резонанса в распадающейся плазме ЭЦР разряда. Пульсирующий режим генерации плазменных волн и синхронные пульсирующие высыпания быстрых электронов из ловушки в данном случае могут быть связаны либо с конкуренцией неустойчивости и индуцированного рассеяния при генерации плазменных волн, либо с возбуждением быстрых магнитозвуковых колебаний магнитной ловушки.

ЗАРЯДКА ДВУХ ПРОВОДЯЩИХ СФЕР В ПОТОКЕ СЛАБОИОНИЗОВАННОЙ СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ

В.С. Грач

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

Рассматривается зарядка двух проводящих сфер в потоке слабоионизованной столкновительной плазмы. Предполагается, что сферы расположены вдоль потока, плазма состоит из двух сортов ионов с одинаковыми по величине, но противоположными по знаку зарядами. При анализе учитываются внешнее электрическое поле и поток нейтрального газа, зарядка сфер вследствие оседания ионов плазмы, поле зарядов на сферах и пространственного заряда, процессы рекомбинации и молекулярная диффузия. Система уравнений, описывающая взаимодействие сфер с плазмой, состоит из уравнений движения и непрерывности для ионов плазмы, уравнения зарядки для каждой из сфер и уравнений Максвелла в отсутствие магнитного поля. Анализ взаимодействия проводился на основе численного решения нестационарной задачи (начальные условия соответствуют появлению сфер и включению потоков) в бисферической системе координат методом конечных разностей. Получены стационарные значения зарядов на сферах, а также распределения концентраций ионов и плотности пространственного заряда в зависимости от расстояния между сферами и параметров плазмы. Показано следующее. Для ионов с одинаковыми подвижностями $\mu/\mu_+ \sim 1$ разнесенные сферы не заряжаются, при сближении сферы приобретают одинаковые по величине заряды противоположного знака. В случае $\mu/\mu_+ > 1$ разнесенные сферы заряжаются отрицательно (при $\mu/\mu_+ < 1$ - положительно). При сближении сфер при любом соотношении подвижностей заряд на сфере слева (сфера 1) повышается, на сфере справа (сфера 2) – уменьшается (электрическое поле направлено слева направо). При достаточно малом расстоянии между ними сферы также могут приобретать заряды противоположного знака; величина этого расстояния определяется параметрами плазмы. В окружающей плазме слева от сферы 1 образуется положительно заряженная область, справа от сферы 2 – отрицательная. Плотность заряда в области между сферами меняет знак; абсолютные значения минимума и максимума плотности заряда в этой области уменьшаются с уменьшением расстояния между частицами. Начиная с определенного расстояния, по порядку величины близкого к радиусу сфер, пространственный заряд в области между сферами почти отсутствует. В случае далеко разнесенных частиц результаты совпадают с полученным ранее решением для уединенной сферы.

О ВЛИЯНИИ БЕЗРАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОТОК ГОРЯЧЕЙ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ, НА ПОКАЗАНИЯ МАГНИТНОГО ДАТЧИКА И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ

В.М. Губченко

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

Проведен предварительный анализ работы магнитного датчика, находящегося в потоке горячей бесстолкновительной плазмы, или поступательно движущегося в ней с космическими скоростями, в режиме, когда скорость потока меньше тепловых скоростей электронов плазмы. В этих условиях показания магнитного датчика могут отличаться от его показаний в отсутствие потока плазмы или его движения. Токовые системы магнитного датчика, находящегося во взаимодействии с потоком, индуцируют в потоке экранирующие

магнитосфероподобные токовые системы, которые изменяют, измеряемые магнитные поля. Эти эффекты выражаются через интегральные импедансные характеристики магнитного датчика, зависящие от параметров плазменного окружения. Импеданс датчика, в соответствии с теоремой взаимности, вычисляются в представлении датчика, как индуктора с заданным током. Проведены вычисления в кинетическом приближении опорных импедансов датчика по постоянному току в случае потоков с максвелловской функцией распределения частиц (ФРЧ). Здесь можно пренебречь параметром электромагнитной добротности потока G и провести измерения датчиком магнитного числа Рейнольдса потока и соответствующего аномального скин-масштаба потока плазмы. Получены поправки к активной части опорного импеданса, связанные с конечностью параметра G и с учетом диамагнетизма потока, возникающего при специальных немаксвелловских ФРЧ. В этих случаях магнитный датчик может служить также измерителем безразмерных параметров плазмы и оценки формы ФРЧ.

[1]. *V.M. Gubchenko*. Global magnetosphere-like 3D structures formation in kinetics by hot magnetized plasma flow characterized by shape of the particle distribution function. Thes. of the Committee on Space Research, 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, Russia, 2–10 August 2014, COSPARMOSCOW2014, D2.1-0040-14.

[2]. *В.М. Губченко*. К трехмерному кинетическому описанию электромагнитного индукционного поля сфомированного потоком горячей плазмы. «Мощная импульсная электрофизика». Международная конференция XIV Харитоновские тематические научные чтения, 12-16 марта 2012 г., ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров. Сб.: докладов. С. 21-30. 2013 ISBN 978-5-9515-0214-8.

[3]. *V.M. Gubchenko*. К кинетическому описанию формирования 3d магнитосфероподобных структур замагниченными потоками плотной плазмы. Тезисы и труды XII международной конференции «Забабахинские научные чтения», 2-6 июня 2014, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Снежинск, Челябинская обл., Россия. <http://www.vniitf.ru/images/zst/2014/Tezis%20ZNCH-2014.pdf>. <http://www.vniitf.ru/images/zst/2012/s3/3-13.pdf>.

ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЙ ($\sim < 3 \times 10^{15}$ ЭВ) ИСТОЧНИК КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В МЕСТНОМ ПУЗЫРЕ

**Н.С. Ерохин., В.М. Лозников., Н.Н. Зольникова,
Л.А. Михайловская**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nerokhin@iki.rssi.ru.

В работе для описания спектра космических лучей (в диапазоне $\sim 30 - 3 \times 10^{15}$ ГэВ) предлагается трехкомпонентная феноменологическая модель. Первая компонента соответствует постоянному фону, вторая – “мягкому” ($E < 10^3$ ГэВ) источнику на периферии гелиосферы за TS , третья – “жесткому” ($E < 10^{15}$ ГэВ) источнику внутри Местного Пузыря (LB) в облаках LIC (Локальном Межзвёздном Облаке) и G-Cloud (G-облаке). Размеры источника определяют величину максимальной энергии КЛ. Источником энергии для генерации квазипродольных (верхнегибридных) плазменных волн служит столкновение облаков LIC и G-C. Все особенности спектров КЛ наблюдаются при одинаковой жесткости. Предсказано появление аналогичных особенностей с энергиями вплоть до “колена” $\sim 3 \times 10^{15}$ ГэВ и в спектрах электронов и позитронов, поскольку “жесткий” источник расположен близко, на расстоянии < 1 пс. На основе численных расчетов рассмотрено ультрарелятивистское ускорение протонов в космической плазме квазипродольной электромагнитной волной, распространяющейся поперек магнитного поля. Проведен анализ условий захвата протонов волной, динамики компонент скорости и импульса частицы, зависимости темпа ее ускорения от исходных параметров задачи. Исследована структура

фазовой плоскости ускоряемого протона. Сформулированы оптимальные условия для реализации ультрарелятивистского серфотронного ускорения p и He электромагнитной волной.

ВКЛАД ЗАХВАЧЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭКРАНИРОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО ТЕЛА В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

А. А. Киселёв^{1,2}, М. С. Долгоносов¹, В. Л. Красовский¹

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

²*МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, МО, Росси, alexander.kiselyov@stonehenge-3.net.ru.*

Определению заряда поглощающей сферы в плазме уделяется большое внимание в связи с необходимостью определения заряда индивидуальной частицы пыли в физике пылевой плазмы. Применительно к условиям сильно разреженной космической плазмы, описываемой уравнением Власова, на протяжении многих лет оставался открытым вопрос об определении функции распределения захваченных частиц плазмы, движущихся по финитным орбитам около заряженного тела, что являлось главным препятствием на пути последовательного анализа состояния равновесия возмущенной плазмы. Функции распределения захваченных частиц можно найти путем решения задачи с начальными условиями. Пусть в некоторый момент времени в бесстолкновительной плазме возникла сфера, поглощающая электроны и ионы. Цель нашей работы – наблюдение динамики процесса приобретения заряда поглощающей сферой вплоть до установления асимптотического состояния равновесия возмущенной плазмы. Исходными уравнениями являются уравнения Власова и Пуассона. Начальные и граничные условия задаются в виде невозмущенных функций распределения заряженных частиц. Ввиду сложности аналитического описания сильно нелинейной динамики плазмы используется численное моделирование методом «частиц-в-ячейках», адаптированным к условиям сферической симметрии. Ключевым новым элементом развитого алгоритма моделирования является использование канонической формы уравнений движения частиц плазмы, что приводит к значительному сокращению времени вычислительного процесса по сравнению с часто применяемыми схемами решения тематически близких задач. В ходе моделирования найдены пространственно-временные зависимости физических величин. С течением времени наблюдалась релаксация плазмы к устойчивому состоянию равновесия. На больших временах формируется облако захваченных ионов в виде сгустка в фазовом пространстве. Как результат, определена функция распределения и суммарный заряд захваченных ионов, и заряд поглощающей сферы. Установлено, что полный заряд захваченных частиц соизмерим с зарядом сферы, вопреки утверждениям, иногда встречающимся в литературе.

О НЕЛИНЕЙНОМ ЭКРАНИРОВАНИИ ТОЧЕЧНОГО ЗАРЯДА В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

В.Л. Красовский

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vkrasov@iki.rssi.ru.

Возможная постановка задачи о явлении экранирования внешнего заряда предполагает мгновенное возникновение точечного заряда в однородной изотропной плазме. Решение задачи приводит на больших временах к известной формуле Дебая. Такой вывод формулы использует диэлектрическую проницаемость плазмы в линейном приближении. В то же

время, согласно выражению Дебая для электрического потенциала, напряженность поля может принимать большие значения вблизи заряда. Таким образом, результат расчета, вообще говоря, противоречит предпосылкам для применения линейного приближения. Поэтому, представляет интерес анализ этой же задачи с отказом от методов теории возмущений. Хотя с выходом за рамки линейного приближения задача с начальными условиями необычайно сложна для аналитического рассмотрения, анализ асимптотического состояния равновесия возмущенной плазмы все же возможен. В данной работе, в качестве примера, рассмотрено экранирование положительного точечного заряда электронной компонентой плазмы при упрощающем предположении о неподвижности ионов. Проведен расчет концентрации пролетных электронов, и решено уравнение Пуассона в пренебрежении вкладом облака захваченных частиц, окружающих внешний заряд. Найденные профили электрического потенциала сопоставляются с формулой Дебая. Особое внимание уделяется захваченным электронам, которые также вносят вклад в экранирование, но игнорируются в рамках линейной теории. В отличие от пролетных электронов, функция распределения которых определяется граничным условием на бесконечности, распределение захваченных частиц находится путем приближенного решения задачи с начальными условиями. При этом электрическое поле вблизи внешнего заряда аппроксимируется статическим кулоновским полем. На больших временах концентрация захваченных электронов определяется так называемой эргодической, усредненной по периодам радиальных колебаний частиц в ямах эффективного потенциала, составляющей функции распределения. Показано, что на больших расстояниях от внешнего заряда вклад захваченных частиц в полное возмущение плотности заряда плазмы мал, в то время как, на малых расстояниях, где электрический потенциал велик, вклад облака захваченных электронов (пропорциональный трем четвертям электрического потенциала) доминирует, хотя все же меньше линейного возмущения плотности заряда плазмы. В целом, нелинейное экранирование слабее линейного, описываемого формулой Дебая. Это проявляется, в частности, в том, что область сильного (экспоненциального) падения потенциала смещается в сторону больших расстояний от внешнего заряда благодаря дефициту поляризационного заряда плазмы вблизи внешнего заряда по сравнению с линейным экранирующим зарядом. Отклонение профиля потенциала от линейного, дебаевского, тем сильнее, чем больше отношение величины точечного заряда к одноименному заряду невозмущенной плазмы в сфере Дебая, которое служит естественным параметром нелинейности.

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ВОЛН И НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В БЕСТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ МГД, ОСНОВАННОЙ НА 16-МОМЕНТНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

В.Д. Кузнецов, Н.С. Джалилов

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

Приводятся результаты анализа линейных волн и неустойчивостей в бесстолкновительной МГД, основанной на 16-моментном приближении. Используемая система МГД уравнений допускает существование ненулевых начальных тепловых потоков, направленных вдоль магнитного поля, что приводит к асимметрии волн при их распространении вдоль и против направления теплового потока и возникновению потоковой МГД-неустойчивости для определенных условий, аналога потоковой неустойчивости в кинетике. Используемая МГД дает совпадающие с кинетическим описанием значения фазовых скоростей и порогов для шланговой, второй шланговой и зеркальной неустойчивостей.

НОВЫЙ МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ВЛАСОВА-МАКСВЕЛЛА

О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, М.Н. Мельник

¹*ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru.*

Разработан новый численный метод решения уравнения Власова, который является лагранжево-эйлеровым, и имеет важное свойство «локальности в оперативной памяти». Оно состоит в том, что в ходе вычислений каждая нить работает только с ограниченным и заранее известным объемом данных в оперативной памяти. Это свойство позволит на порядки уменьшить объем обменов между вычислительными узлами (которые ограничивают скорость параллельных вычислений), а также создаст предпосылки для разработки алгоритмов с выполнением основной части вычислений либо на графических процессорах (GPU), либо на сопроцессорах Intel Xeon Phi. В этом методе используется функция распределения, и для её аппроксимации рассматривается движение модельных частиц в фазовом пространстве, в то время как в методе частиц (PIC) рассматривается их движение в координатном пространстве. На основе нового метода разработана неявная схема 2-го порядка точности по времени для решения системы уравнений Власова-Максвелла. В схеме используется новая форма уравнений Максвелла для плазмы в ограниченной области с разложением электрического поля на потенциальную и соленоидальную части, для которых получаются отдельные уравнения. Потенциальные части электрического поля и тока смещения определяются соответственно текущими мгновенными распределениями плотности заряда и дивергенции плотности тока в результате решения соответствующих краевых задач Неймана для уравнений Пуассона. Для такой переформулированной системы Власова-Максвелла в принципе отсутствует проблема нарушения уравнения непрерывности заряда в ходе численного решения, возникающая при использовании обычной формы уравнений Максвелла для плазмы. В схеме используется экстраполяция плотностей тока и заряда при помощи вытекающих из уравнения Власова уравнений для моментов (неявный моментный метод), что вместе с неявностью снимает условие устойчивости Куранта, и позволяет получить осреднение плазменных колебаний. Также используется показавший очень высокую эффективность алгоритм расчета траектории заряда, основанный на точном решении в случае нерелятивистского движения заряда в постоянных (по пространству и времени) электрическом и магнитном полях. Этот алгоритм имеет нулевую фазовую ошибку, снимает условие необходимости достаточно большого числа шагов по времени на период циклотронного вращения частицы, и в случае плавно изменяющихся полей и достаточно сильного магнитного поля допускает шаг по времени в десятки или более периодов циклотронного вращения. В результате новая схема допускает достаточно большие шаги по времени и пространству, что позволяет создавать с её помощью крупномасштабные модели для изучения процессов в бесстолкновительной космической плазме с учетом реальных значений скорости света и отношения заряда к массе для электронов, в частности, модели токового слоя в хвосте магнитосферы.

СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНОГО СЛОЯ ГАЗА С УЧЁТОМ САМОПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВСПЫШЕК НА КРАСНЫХ КАРЛИКАХ

Е.С. Морченко, К.В. Бычков, М.А. Лившиц

ФФ МГУ, г. Москва, Россия, morchenko@physics.msu.ru.

Вычислен спектр излучения однородного слоя газа, состоящего из чистого водорода. Приняты значения размеров, плотности, ионно-атомной и электронной температур, возможные для изотермического слоя в модели Костюк-Пикельнера в применении к условиям во время вспышки на красном карлике. Состояния ионизации и возбуждения определялись путём решения уравнений стационарности с учётом континуума и всех дискретных уровней, реализуемых в слое. В расчётах учитывались переходы под действием электронных ударов, спонтанные и вынужденные радиационные переходы, а также ионизация тормозным и рекомбинационным излучением самого слоя. Учёт рассеяний в частотах дискретных переходов выполнялся в приближении Бибермана-Холстейна. Получены асимптотические формулы для вероятности выхода кванта в случае модельного симметричного контура, учитывающего эффекты Штарка и Доплера. Обоснована аппроксимация ядра линии $H\alpha$ в спектре вспышки dM5.6e гауссовой кривой. Акцентируется внимание на роль электронного уширения в формировании крыльев нижних членов серии Бальмера. Рассчитаны интенсивность излучения в непрерывном спектре, в частотах линий бальмеровской серии и величина бальмеровского скачка. Определены условия, при которых бальмеровский скачок, а также интенсивность эмиссионных линий над континуумом уменьшаются до столь малых значений, что спектр излучения можно считать практически непрерывным, а также условия, при которых спектр излучения становится близок к чернотельному. Кратко обсуждается приложение модели к интерпретации современных спектральных наблюдений вспышек на dMe звёздах, а также её обобщение для условий вспышек на G-карликах.

К ТЕОРИИ КОРОТКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ

Ю.В. Чугунов

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

В настоящей работе предложен метод решения задачи о нахождении распределения заряда вдоль короткой (в масштабах длины волны) цилиндрической антенны, излучающей в анизотропной среде, и ее импеданса. Этот метод основан на решении соответствующего интегрального уравнения с использованием приближения «тонкой» антенны для различных углов ориентации диполя относительно осей анизотропии. Подробно рассмотрен случай возбуждения квазиэлектростатических волн в резонансных частотных интервалах, например, в свистовом диапазоне частот. Результаты расчетов совпадают с результатами, полученными ранее другими способами, если угол ориентации не слишком близок к углу, определяющему асимптоту раскрытой поверхности волновых векторов. Отдельно проанализирован случай ориентации антенны вдоль этой асимптоты, в окрестности которой резко меняется угловая зависимость и величина реальной и мнимой части импеданса. Работа имеет весьма широкое практическое значение для диагностики параметров и излучений околоземной плазмы, плазмы солнечного ветра и плазменных оболочек других планет.

ТРИГГЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛЕНГМЮРОВСКИХ ВОЛН

М.А. Евдокимова, Д.Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, david@iki.rssi.ru.

Триггерное излучение монохроматических ОНЧ сигналов представляет собой излучение переменной частоты, инициированное основным сигналом [1, 2]. Согласно существующим представлениям, триггерное излучение возбуждается неустойчивой функцией распределения, которая формируется в результате резонансного взаимодействия энергичных электронов с монохроматическим ОНЧ сигналом в неоднородной плазме [3]. Несмотря на то, что исследованию триггерного излучения посвящено большое количество работ, и численное моделирование воспроизводит его основные черты (см. , например, [4]), ясная и полная самосогласованная картина явления , которая бы включала как формирование неустойчивого распределения основным сигналом, так и возбуждение триггерного излучения по-прежнему отсутствует. Частично это связано с тем, что последние результаты по триггерному излучению ОНЧ волн получены на основе численного моделирования. Последнее воспроизводит основные особенности возбуждаемого излучения, такие как ход частоты излучения и зависимость явления от амплитуды ОНЧ сигнала и параметров плазмы, но не раскрывает физический механизм формирования триггерного излучения. В настоящем докладе мы исследуем триггерное излучение для более простого случая ленгмюровских волн. Мы полагаем, что триггерное излучение может быть представлено в виде суммы собственных волн неоднородной плазмы, амплитуды которых изменяются во времени и пространстве; и учитываем нелинейную самосогласованную динамику функции распределения энергичных резонансных частиц, ответственных за возбуждение излучения. При таком подходе основная масса тепловых частиц включается в рассмотрение через диэлектрическую проницаемость плазмы, что кардинально упрощает численные расчеты. Исследование механизма формирования триггерного излучения фактически сводится к задаче о неустойчивости модулированного пучка в неоднородной плазме, который формируется перед фронтом квазимонохроматического пакета ленгмюровских волн. Для решения этой задачи разработан и реализован численно-аналитический подход, который позволяет воспроизвести и понять основные особенности триггерного излучения. В силу известной аналогии в математическом описании ленгмюровских волн и свистовых волн, распространяющихся вдоль внешнего магнитного поля, полученные результаты могут быть обобщены на случай триггерного излучения, возбуждаемого монохроматическими сигналами ОНЧ передатчиков в магнитосфере.

[1]. Helliwell, R. A. (1965), *Whistlers and Related Ionospheric Phenomena*, Stanford University Press, Stanford, California.

[2]. Helliwell, R. A. (1983), Controlled stimulation of VLF emissions from Siple Station, Antarctica, *Radio Sci.*, **18** (6), 801-814.

[3]. Sudan, R. N. and E. Ott (1971), Theory of triggered VLF emissions, *J. Geophys. Res.*, **76** (19), 4463 - 4476.

[4]. Hikishima, M., Y. Omura, and D. Summers (2010), Self-consistent particle simulation of whistler mode triggered emissions, *J. Geophys. Res.*, **115**, A12246, doi:10.1029/2010JA015860.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ»

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ПОЛЕ ПЛОСКОЙ ЦИРКУЛЯРНО ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ И ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Н.С. Акинцов, Г.Ф. Копытов, А.А. Мартынов, Г.М. Акопян

ФГБОУ ВПО КубГУ, г. Краснодар, Россия, akintsov777@mail.ru.

Изучения уравнения движения релятивистской заряженной частицы в поле плоской циркулярно поляризованной электромагнитной волны и постоянном магнитном поле представляет интерес с развитием физики плазмы и техники модуляции лазерного излучения. Исследование этой задачи обусловлено широким практическим применением высокотемпературной плазмы, образующейся на поверхности мишени и поисками новых режимов взаимодействия лазер-плазма. В настоящей работе рассматривалась динамика взаимодействия электрона со сверхкороткими лазерными импульсами фемтосекундной длительности и с интенсивностями излучения до 10^{22} Вт/см². Сделан анализ для средней кинетической энергии частицы, усредненной по периоду её колебаний в поле плоской монохроматической электромагнитной волны и постоянном магнитном поле. Введен параметр n как отношение циклотронной частоты к частоте несущей волны. Для значений $I\lambda^2 = 10 \times 10^{18}$ Вт·мкм²·см⁻² с увеличением параметра n средняя кинетическая энергия заряженной частицы в поле плоской монохроматической волны левой круговой поляризации увеличивается: для $n = 0.1 - 4.6$ МэВ, а для $n = 0.2 - 5.9$ МэВ. С увеличением параметра n средняя энергия заряженной частицы в поле плоской монохроматической волны правой круговой поляризации уменьшается: для $n = 0.1 - 3$ МэВ, а для $n = 0.2 - 2.5$ МэВ. При отсутствии магнитного поля ($n = 0$) получаем формулу средней кинетической энергии частицы, которые как частный случай содержат хорошо известные результаты авторов статьи «О движении заряженной частицы в плоской монохроматической электромагнитной волне» Андреев С.Н., Макаров В.П., Рухадзе А.А. для круговой поляризации волны. Приведенные результаты так же могут использоваться для интерпретации экспериментов с плазмой, помещенной во внешнее электромагнитное поле.

ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ НУЛЕВЫХ ТОЧЕК 2-ГО И ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ

И.С. Веселовский^{1,2}, А.Т. Лукашенко¹

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, a_lu@mail.ru.*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

В процессах на Солнце важную роль играет топологическая структура магнитного поля, частью которой являются нулевые точки. Вблизи нулевой точки компоненты магнитного поля можно разложить в ряд Тейлора по однородным гармоническим полиномам. На основе данного разложения проводится обзор геометрии линий потенциального магнитного поля в окрестностях нулевых точек всех порядков на плоскости и 1-го порядка – в трёхмерном пространстве, обсуждаются вопросы их классификации. Сформулированы принципы

классификации и описания нулевых точек 2-го и высших порядков в трёхмерном случае. Дается характеристика геометрии линий поля в окрестностях нулевых точек 2-го порядка с разными типами симметрии. Если на плоскости нулевые точки одного и того же порядка имеют однотипную геометрию окрестностей с точностью до поворота, и вырождение возможно лишь по порядку нуля, то в пространстве возможно вырождение как по порядку, так и геометрическое. Уравнения линий поля в окрестности нулей 2-го порядка или выше зачастую не удается проинтегрировать аналитически. На частных примерах, для которых аналитическое исследование возможно, показано, что нули 2-го и высших порядков демонстрируют большее разнообразие геометрии линий поля в их окрестностях по сравнению с 1-м порядком. В целях описания этой геометрии используются обобщения понятий собственного вектора и собственного значения, а также понятий, введенных ранее в литературе для нулей 1-го порядка.

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ЗАКОН КУЛОНА

В.М. Корюкин, А.В. Корюкин

Марийский ГУ, г. Йошкар-Ола, Россия, vmkoryukin@gmail.com.

Закон обратных квадратов достаточно интенсивно обсуждался в прессе в 90-х годах XIX века. Начало этой дискуссии положили Шезо и Ольберс (так называемый парадокс Ольберса: почему в бесконечной однородной Вселенной ночное небо все же темное?). Ольберс в качестве решения предложил рассматривать поглощение света, для учета которого ввел экспоненциальный множитель $\exp(-\lambda r)$ (для интенсивности приходящего света, r - расстояние от источника света до наблюдателя, λ - постоянный множитель). В стандартной формулировке квантовой механики, основную роль играет уравнение Шредингера, при построении гамильтониана в котором мы должны придерживаться его соответствия с энергией данной физической системы в классической механике. И здесь немаловажную роль будет играть выбор формы потенциальной энергии, которая, как правило, задается по определению. Для двух далекодействующих сил, как в гравитации, так и в электростатике простота формы потенциалов, определяющих бесконечность их радиуса действия, долгое время была неоспоримой, поэтому мы придаем революционное значение возрожденной Н.А. Черниковым гипотезе о конечности радиуса действия гравитационных сил. Для утверждения своей гипотезы Н.А. Черников [1] предложил заменить 3-х мерное фоновое пространство Евклида на пространство Лобачевского постоянной отрицательной кривизны. Решая уравнение Лапласа в пространстве Лобачевского, можно получить потенциал гравитационного поля для точечного источника в том виде, который отвечает необходимым свойствам на больших расстояниях, а в пределе при стремлении кривизны пространства Лобачевского к нулю переходит в гравитационный потенциал Ньютона. Мы считаем, что потенциал Лобачевского – Черникова имеет самостоятельную ценность, и предложили [2] его получение на основе постулата квантовой теории произвольных взаимодействий (взаимодействие между частицами генерируется обменом бозонов). Более того, мы считаем, что любые взаимодействия на достаточно больших расстояниях (у каждого взаимодействие это расстояние будет свое) должны обладать свойством асимптотической свободы (напомним, что свойство асимптотической свободы присуще кваркам в импульсном пространстве внутри адронов при бесконечно больших импульсах). Аналогичный формализм получения потенциала $\lambda q / (\exp(\lambda r) - 1)$ (q - электрический заряд частицы) должен быть применен и в электростатике. Поэтому электромагнитные силы в вакууме также должны иметь конечный, хотя и достаточно большой, радиус действия. Отметим, что применяемый в теории плазмы потенциал Юкавы можно получить в асимптотическом

приближении из данного потенциала. Для описания физической системы, характеризующейся конечным радиусом экранирования, удобно воспользоваться симметрией, групповая структура которой становится точной лишь в асимптотических пределах, а в общем случае зависит от координат пространства. Именно это сделало актуальной задачу по разработке расширенного калибровочного формализма [3], который имеет смысл применить для описания фундаментальных взаимодействий.

[1] Черников Н.А. В кн.: Труды V Семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 16-18 мая 1992. - Дубна: ОИЯИ, ЛТФ, 1993. - С. 250.

[2] Корюкин В.М. Известия вузов. Физика, **55**, N 6, (2012), 81.

[3] Koryukin V.M., in proceedings of the Fifteenth Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics, Editor Alexander I. Studenikin, World Scientific, Singapore, 2013. P. 436.

УСКОРЕНИЕ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫМИ ВОЛНАМИ, ГЕНЕРИРУЕМЫМИ МОЛНИЕВЫМИ РАЗРЯДАМИ

Д.Р. Шкляр^{1,2}, И.В. Кузичев¹

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

²*МФТИ, г. Москва, Россия.*

Излучения, связанные с молниевыми разрядами, играют важную роль в динамике ионов в низко- и среднеширотной магнитосфере. В частности, резонансное взаимодействие ионов с нижнегибридными волнами, возбуждаемыми в ионосфере молниевыми разрядами, приводит к нагреву ионов. Такое взаимодействие эффективно для ионов с энергиями, значительно превышающими температуры ионов, характерные для верхней ионосферы. В качестве механизма предварительного нагрева ионов часто рассматривается резонансное взаимодействие с ионно-циклотронными волнами, так же возбуждаемыми молниевыми разрядами. Резонансное взаимодействие волн и частиц обычно рассматривается в двух приближениях: в рамках квазилинейной теории, когда предполагается взаимодействие с волнами широкого спектра и с достаточно малыми амплитудами, и в приближении заданного поля для взаимодействия с одной квазимонохроматической волной. В данном докладе рассматривается резонансное взаимодействие ионов с особыми волновыми пакетами ионно-циклотронных волн, которое не соответствует ни одному из этих случаев. Расчёты траекторий ионно-циклотронных волн, генерируемых молниевыми разрядами, показывают, что часть волн в верхней ионосфере/магнитосфере доходит до области, где частота волны становится близка к локальной ионной циклотронной частоте. В рамках геометрической оптики в приближении холодной плазмы эти волны «застревают» в соответствующей области. Частота и волновой вектор таких застревающих волновых пакетов зависят и от времени, и от координаты, причём волновой вектор линейно нарастает со временем. Очевидно, что эти волны должны поглощаться частицами за счёт резонансного взаимодействия. В работе были выведены уравнения, описывающие резонансное взаимодействие ионов с описанными выше особыми пакетами ионно-циклотронных волн, получены резонансные условия. Показано, что резонансное условие для первого циклотронного резонанса, который играет основную роль во взаимодействии с надтепловыми ионами, определяется отстройкой частоты волны от локальной ионной циклотронной частоты. Результаты численного моделирования рассматриваемого резонансного взаимодействия демонстрируют существенное отличие от случая взаимодействия с волнами с широким спектром, описываемого квазилинейной теорией. Последнее приводит к диффузии частиц в фазовом пространстве, в то время как ускорение ионов в исследуемом случае имеет недиффузионный характер. Полученные результаты дают веские основания полагать, что низкочастотное излучение молниевых разрядов является

достаточно эффективным постоянно действующим источником энергии для нагрева ионов верхней ионосферы в средних и приэкваториальных широтах.

МГД РАЗРЫВЫ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ: НЕПРЕРЫВНЫЕ ПЕРЕХОДЫ И НАГРЕВ ПЛАЗМЫ

Л.С. Леденцов, Б.В. Сомов

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

Законы сохранения на поверхности разрыва в идеальной магнитной гидродинамике (МГД) допускают возможность смены типа разрыва при постепенном (непрерывном) изменении условий течения плазмы. При этом должны существовать так называемые переходные решения, удовлетворяющие одновременно двум типам разрывов. На основе полной системы граничных условий для уравнений МГД получен конкретный вид переходных решений, а также выражение, в явном виде описывающее изменение внутренней энергии плазмы, протекающей через разрыв. Это позволяет, во-первых, построить обобщенную схему незапрещенных переходов между МГД-разрывами, а во-вторых, изучить зависимость нагрева плазмы от значений плотности и конфигурации магнитного поля вблизи поверхности разрыва (т.е., от типа МГД-течения). Обсуждается вопрос о нагреве “сверхгорячей” (с электронной температурой больше 10 кэВ) плазмы в солнечных вспышках. Показано, что наилучшие условия для такого нагрева осуществляются в окрестности пересоединяющего токового слоя, вблизи областей обратных токов. Лит.: Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares. Springer SBM, New York, 2013.

О БИФУРКАЦИЯХ НУЛЕВЫХ ТОЧЕК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.С. Веселовский^{1,2}, А.Т. Лукашенко¹

¹ *НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, a_lu@mail.ru*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Нулевые точки магнитного поля в трёхмерном пространстве классифицируются по собственным значениям матрицы градиента вектора поля (соответственно, матрицы вторых производных потенциала, если поле потенциально). Невырожденными при этом являются такие нулевые точки, у которых все собственные значения отличны от нуля и различны между собой. Невырожденные нулевые точки 1-го порядка могут сливаться, образуя вырожденный нуль 1-го порядка с одним нулевым собственным значением матрицы вторых производных потенциала (так называемый *D*-нуль). Также возможно образование нулевой точки 2-го порядка. И наоборот, возможно возникновение вырожденной нулевой точки и последующий её распад на невырожденные. Такого рода процессы ведут к изменению топологии магнитного поля, которая, как известно, играет важнейшую роль в происходящих на Солнце процессах. На основе сформулированных нами принципов классификации и описания нулевых точек потенциального магнитного поля 2-го и высших порядков даётся характеристика геометрии линий поля вблизи *D*-нулей, а также указанных бифуркаций

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ЧАСТОТ КОСОГО НГР РЕЗОНАНСА В ПЛАЗМЕ УМЕРЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ

Б.В. Лундин¹, К. Краффт²

¹*ИЗМИРАН, г.о. Троицк, г. Москва, Россия, lundin.bv@gmail.com*

²*LPP ECOLE POLYTECHNIQUE, Palaiseau, France*

Найдены простые аналитические соотношения, определяющие пространственные распределения интенсивности волновых полей в областях плазмы умеренной плотности верхней ионосферы, зондируемых низкочастотными квазиэлектростатическими волнами как природного происхождения, так и излучаемых с борта космического аппарата. Для более точной оценки значения локальной нижегибридной частоты или ионной плазменной частоты возможно использование поляризационных измерений волнового магнитного поля с учетом того, что на ионной плазменной частоте в плазме умеренной плотности происходит эффект взаимной перестановки большой и малой осей эллипса поляризации магнитного поля с переходом через круговую поляризацию точно на ионной плазменной частоте.

ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В. В. Хожателев, П.Г. Плеханов, Л.Н. Михайлова, В.Л. Макеев

ГБОУ СПО СМК, АЛ. «Космос», г. Самара, Россия, skb.smk@yandex.ru.

По гипотезе [4] предполагается формирование Солнечной планетной системы одновременной аккумуляцией всех планет и только планет и только в пределах околосолнечного газопылевого диска. По указанной гипотезе принято считать окраину Солнечной системы на расстоянии более 75 а.е. от Солнца. В указанных параметрах рассматривается существование в ней плазмы. Однако в настоящее время это предположение противоречит двум наблюдаемым подсистемам группам планет по четыре планеты в каждой группе, поясу астероидов, поясу Койпера и открытию объекта «Седна». Противоречит наблюдаемой в Солнечной системе последовательности подсистем «группа планет - пояс малых тел». Исследование наблюдаемой закономерности увеличения расстояний планет в группах показало соотношение расстояний соседних планет в группе близкое к числу два (больше единицы, но меньше или равно числу два). Получен вывод о том, что группы планет аккумуляровались в группах протопланетных поясов, средние расстояния которых имели закономерность увеличения в соотношении равному числу два [1]. По закономерности получены средние расстояний групп протопланетных поясов. Приводится механизм формирования группы протопланетных поясов, который основан на неизвестном ранее свойстве комет и законах: Кеплера, Лагранжа и Лаверье [2]. Сопоставление средних расстояний пояса астероидов, пояса Койпера показало существование закономерности увеличения в соотношении равному числу 20. Получено среднее расстояние третьего пояса малых тел и облака комет Оорта. Обосновывается предположение существования в Солнечной системе за пределами пояса Койпера на теоретически установленных расстояниях неизвестных ранее: группы разряженных протопланетных поясов (группа планет не сформировалась из-за недостатка материала) и третьего пояса малых тел, существование которого подтвердило открытие его первого объекта «Седна» [3]. Приводится модель строения всей Солнечной системы и ее параметры, а также среднее расстояние облака комет Оорта.

- [1] Плеханов П.Г. Солнечная система (строение и кометная гипотеза происхождения): монография (научная гипотеза) – Самара: Издательство Инкома- пресс, 2011–116с.
- [2] Плеханов П.Г. Механизм формирования группы из четырех поясов – зоны аккумуляции группы планет. Ж.: научный аспект № 32, 2012, 5-8с.
- [3] Плеханов П.Г. «Седна» - первый объект третьего пояса Солнечной системы. Доклады научной конференции СМК выпуск 6 - 2009 год, стр. 101-105.
- [4] Шмидт О.Ю. Четыре лекции о происхождении Земли /АН СССР, 1957.

ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ПОГРАНИЧНОЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРЫ С УЧЁТОМ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ И НАЛИЧИЯ ШИРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ

М.М. Шевелёв, Т.М. Буринская

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, troSimba@gmail.com.

Исследована линейная стадия развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца для волн, распространяющихся под произвольным углом к скорости потока, с учётом конечной ширины переходного слоя и наличия шира магнитного поля. Основное внимание уделено изучению зависимости направления распространения наиболее неустойчивых колебаний от ориентации магнитного поля в магнитослое и отношения поперечного размера шира магнитного поля к ширине пограничной области магнитосферы. Показано, что при отклонении поля в магнитослое от строго северного или строго южного направления более чем на 30 градусов, возможно развитие колебаний, распространяющихся под острым углом к магнитному полю магнитосферы. Установлено, что эффект выражен сильнее всего для случая тангенсиального разрыва магнитного поля на магнитопаузе, на внешней границе пограничного слоя, и наименее значим для случая, когда масштаб изменения магнитного поля совпадает с поперечным размером переходного слоя по скорости. При этом длина волны наиболее неустойчивых колебаний определяется исключительно поперечным размером переходного слоя потоковой скорости.

ДИНАМИКА ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВЫХ КАНАЛОВ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ В УСЛОВИЯХ РЕЗОНАНСА

Е.А. Широков, Ю.В. Чугунов

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, evshirok@gmail.com.

В работе рассматривается динамика плазменно-волновых каналов в магнитоактивной плазме. Плазменно-волновой канал представляет собой дакт плотности плазмы, вытянутый вдоль внешнего магнитного поля. Он создается при ионизации газа или фоновой плазмы в области сильного поля антенны. Рост канала поддерживается распространяющимися в нем плазменными волнами, которые излучаются антенной в резонансном (например, свистовом) диапазоне частот. Акцент в работе делается на построенную нестационарную модель динамики плазменно-волнового канала. Она основана на предположении, что канал сравнительно быстро приходит в стационарное состояние, которое поддерживается процессами амбиполярной диффузии вдоль магнитного поля и ионизации электронным ударом. При этом подразумевается, что единственная существенно нестационарная область – это сравнительно малая окрестность переднего фронта канала, который движется вдоль магнитного поля с групповой скоростью квазиэлектростатических волн. На основе данной

модели и построенной линейной теории возбуждения квазипотенциальных волн в плазменном волноводе рассчитывается пространственно-временная структура поля и концентрации. Плазменно-волновые каналы могут использоваться для эффективного возбуждения низкочастотных электромагнитных волн в условиях амплитудной модуляции сигнала на антенне, что позволяет использовать их для диагностики параметров фоновой околоземной плазмы. Таким образом, работа не только представляет общефизический интерес, но и имеет большое практическое значение.

РАССЕЯНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ФЛУКТУАЦИЯХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: ЭФФЕКТ НЕГАУСОВСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, p.shustov@gmail.com.

ФФ МГУ, г. Москва, Россия.

В этой работе мы исследуем пространственный транспорт и ускорение заряженных частиц в двумерной системе с однородным электрическим полем и стационарными флуктуациями магнитного поля. Основная идея этого исследования состоит в рассмотрении зависимостей темпов транспорта и ускорения от свойств распределения флуктуаций магнитного поля. Мы используем упрощенную модель магнитных флуктуаций с регулируемым отклонением распределения от гаусовского. Параметры системные выбираются таким образом, чтобы имитировать условия, характерные для динамики ионов в дальнем хвосте магнитосферы Земли. Показано, что для фиксированной плотности мощности флуктуаций магнитного поля ускорение частиц постоянным электрическим полем является более эффективным в системе, где частицы взаимодействуют с флуктуациями малой амплитуды, но такое взаимодействие происходит часто. В системах с большой амплитудой флуктуаций магнитного поля, редкое рассеяние частиц менее эффективно, а ускорение частиц слабее.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ ТОКОВЫХ СЛОЕВ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИНАМИКА ТОКОВОГО СЛОЯ БЛИЖНЕГО ХВОСТА НА КИНЕТИЧЕСКИХ МАСШТАБАХ, НАБЛЮДАЕМАЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОТОКА В МАЛОПОДВИЖНУЮ ПЛАЗМУ

Е.Е. Григоренко, Ж.-А. Сово, Л. Палин,
Р. Колева, Л.М. Зеленый

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, elenagrigorenko2003@yahoo.com.

На основе многоспутниковых наблюдений THEMIS и Cluster установлен факт возбуждения неустойчивых мод (изгибной и тиринг-моды) в токовом слое ближней области магнитосферного хвоста ($X \geq -10 R_E$) при внедрении высокоскоростного потока в малоподвижную плазму. Источником свободной энергии для возбуждения неустойчивых мод являлся тонкий (с толщиной $\sim 320 \text{ км} < \rho_i$, где ρ_i - характерный ионный гирорадиус) вложенный токовый слой, формирование которого совпало с приходом высокоскоростного потока и связанным с ним усилением электрического поля конвекции. Многоточечные наблюдения позволили также установить, что развитие неустойчивых мод привело к ослаблению электрического тока утро-вечер в пространственно-локализованной области ближнего хвоста и к формированию мелкомасштабных магнитных островов с характерными размерами $\sim 200 \text{ км} < \rho_i$. Данные наблюдения свидетельствуют о доминирующей роли динамики электронов в эволюции токового слоя.

МГД – МОДЕЛЬ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ

Р.А. Кислов, О.В. Хабарова, Х.В. Малова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru.

В рамках одножидкостной МГД построена самосогласованная стационарная модель осесимметричного плазменного слоя, в центре которого расположен тонкий токовый слой с радиальным током. Исследовано распределение магнитного поля и плотности тока, определены границы плазменного слоя, учтены 3 компоненты скорости и поток массы вдоль магнитных силовых линий и токового слоя. Модель применена к описанию крупномасштабной структуры гелиосферного токового слоя (ГТС). В результате в распределении межпланетного магнитного поля в ГТС и в солнечном ветре были найдены отличия, связанные с влиянием теплового давления на структуру плазменного слоя, был объяснён наблюдаемый эффект эксцесса магнитного потока, найдена величина радиального тока в токовом слое. Показано, что между плазменным слоем и солнечным ветром может располагаться сепаратриса, разделяющая область замкнутых (в плазменном слое) и открытых силовых линий (в солнечном ветре). Величины плотности тока, магнитных полей и толщин слоя не противоречат экспериментальным данным.

ТЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩЕГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Н.П. Колесников, С.И. Безродных, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, nick206265@gmail.com.

Рассматривается двумерная модель [1] магнитного пересоединения, включающая токовый слой Сыроватского и присоединённые к его концам МГД-разрывы. Система уравнений идеальной магнитной гидродинамики для магнитного поля \mathbf{V} , скорости течения плазмы \mathbf{v} и её плотности ρ в приближении сильного поля сводится к (независящей от \mathbf{v} и ρ) краевой задаче для магнитного поля, а также к системе дифференциальных уравнений для \mathbf{v} и ρ , коэффициенты которой зависят от \mathbf{V} . В работе [2] построено аналитическое решение задачи для магнитного поля. В настоящей работе дан расчёт распределения скоростей течения плазмы и её плотности в окрестности токовой конфигурации. Получены распределения скачков плотности и скорости вдоль ударных волн. Показано, что исходя из характера изменения магнитного поля и течений плазмы на МГД-разрыве, при рассмотренных значениях параметров ударные волны включают в себя транс-альфвеновскую, быструю и медленную области.

[1]. В.В.Сомов. Plasma Astrophysics. N.-Y.: Springer, 2013. [2] С.И.Безродных, В.И.Власов, Б.В.Сомов. Обобщённые аналитические модели токового слоя Сыроватского //Письма в астрофиз. журн. 2011. Т. 37, № 2. С. 133-150.

О МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ НЕЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В КВАЗИЛИНЕЙНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

В.В. Ляхов, В.М. Нешадим

ДТОО «Институт ионосферы», НКА РК, Россия, v_lyahov@rambler.ru.

Предложена методика исследования низкочастотных неустойчивостей токового слоя в квазилинейном приближении с учетом эффекта поляризации плазмы. Это дает возможность изучать механизм обратного воздействия развивающихся мод неустойчивости неэлектронейтрального токового слоя на фоновую функцию распределения. Вычислены параметры условий применимости приближения слабой турбулентности к плазме токового слоя хвоста магнитосферы. В рамках квазилинейной теории выведено уравнение Власова, для “быстрой” и “медленной” частей функции распределения. Получено эволюционное уравнение для равновесной функции распределения плазмы токового слоя. Получено эволюционное уравнение для возмущений электромагнитного поля в токовом слое. Построены алгоритмы решений эволюционных уравнений.

О ВЛИЯНИИ ЗАРЯДА НА МАГНИТОПАУЗЕ НА ПЕРЕДАЧУ ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ: ТЕОРИЯ - ЭКСПЕРИМЕНТ

**В.В. Ляхов¹, С.П. Савин², В.М. Нецадим¹, С.И. Климов²,
Л.А. Лежен²**

¹*ДТОО «Институт ионосферы», Республика Казахстан.*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

Работа посвящена сравнению теории заряженной магнитопаузы с экспериментальными данными проекта КЛАСТЕР. Учет заряда на магнитопаузе (который почти всегда необходим для выполнения граничных условий между движущимися средами, вытекающих из уравнений Максвелла) открывает новые возможности объяснения передачи импульса и энергии через магнитопаузу, независимо от присутствия пересоединения магнитных силовых линий. Пересоединение, безусловно, обеспечивает передачу импульса и энергии. Однако, практически постоянное наличие заряда (и, соответственно, нормального поверхности магнитопаузы электрического поля) позволяет ускорять плазму внутри магнитопаузы просто из-за наличия обратно направленного электрического поля (по отношению к наружному, которое в дрейфовом приближении в системе координат магнитопаузы должно подстраиваться под внешний поток, несущий энергию) внутри нее. Измерения КЛАСТЕРА позволили перейти в реальное пространство, исходя из измеренных временных рядов. Теперь мы пытаемся осмыслить полученный результат, пользуясь появившейся реалистичной моделью, демонстрирующей необходимость наличия обратно направленных электрических полей на магнитопаузе и позволяющей перейти к количественному предсказанию для процессов передачи импульса и энергии внутрь магнитосферы в отсутствие пересоединения. Ставится задача сравнить эффективность двух механизмов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ РАВНОВЕСИЯ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Х.В. Малова^{1,2}, А.А. Улькин², В.Ю. Попов², Л.М. Зеленый²

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, hmalova@yandex.ru.*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, hmalova@yandex.ru.*

Работа посвящена самосогласованному моделированию равновесного тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы Земли, толщина которого сопоставима с ионными гирорадиусами. Построена численная гибридная самосогласованная модель тонкого токового слоя (ТТС), в которой натяжение магнитных силовых линий уравновешивается инерцией ионов, движущихся через слой. Динамика ионов рассматривается в квазиadiaбатическом приближении, а движение электронов - в приближении проводящей жидкости. В численном эксперименте исследована структура ТТС и динамика частиц в нем в зависимости от изменения параметра адиабатичности и нормальной компоненты магнитного поля для двух возможных сценариев, когда один из параметров постоянен, а второй меняется (один из сценариев соответствует эффективному уменьшению энергии частиц при фиксированной величине нормальной компоненты поля; второй означает изменение нормальной компоненты при фиксированной энергии частиц). Показано, что в первом сценарии уменьшение энергии ионов, и, соответственно, их гирорадиусов, способствует уменьшению толщины ТТС при увеличении параметра адиабатичности. Уменьшение радиуса кривизны магнитных силовых линий приводит к росту электронных токов, возникающих за счет дрейфа кривизны. Чем ближе величина параметра адиабатичности к

верхней границе, тем больший вклад вносят электронные токи в полную плотность тока в магнитосферном хвосте. При некотором значении параметра адиабатичности ТТС поддерживается только электронными токами кривизны, в то время как ионное движение становится хаотическим и вклада в ток не дает. При еще бóльших значениях параметра равновесных решений в рамках данной одномерной модели не существует, т.е. в работе определены границы применимости одномерной квазиадиабатической модели токового слоя. Во втором сценарии происходит накопление квазизахватенной плазмы вблизи ТТС, его утолщение и уменьшение амплитуды как ионных, так и электронных токов. В результате, равновесные решения существуют в гораздо более узкой параметрической области.

ЗАВИСИМОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С ПОСТОЯННОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ

О.В. Мингалев¹, И.В. Мингалев¹, Х.В. Малова^{2,3}, М.Н. Мельник¹, Л.М. Зеленый²

¹*ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru.*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

³*НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ, г. Москва, Россия.*

При помощи численной модели тонкого токового слоя (ТТС) в хвосте магнитосферы, основанной на методе крупных частиц, исследуется зависимость полученных ранее квазистационарных конфигураций ТТС от значений двух входных параметров модели: отношения $B_z / \Delta B_x$ заданной постоянной нормальной компоненты магнитного поля B_z к изменению в слое тангенциальной компоненты $B_x(z)$, а также от отношения V_D / V_{T0} гидродинамической скорости V_D образующего слой падающего потока плазмы к его тепловой скорости V_{T0} .

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ТОКОВОГО СЛОЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ТОКОВ ХОЛЛА

А.Г. Франк, С.Н. Сатунин

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru.

Известно, что токовые слои, как в космической, так и в лабораторной плазме, подвержены разнообразным динамическим эффектам, к числу которых относятся возбуждение токов Холла, деформации слоя в 3D магнитных конфигурациях, генерация сверхтепловых потоков плазмы, генерация токов обратного направления, «утолщение» слоя и т.п. [1-4]. Наряду с основным током, в слое могут возбуждаться токи Холла, обусловленные движением электронов относительно инерционных и малоподвижных ионов. В 3D магнитных конфигурациях, в присутствии продольной компоненты, направленной вдоль X линии, токи Холла ответственны за разнонаправленные отклонения боковых концов слоя от срединной плоскости, или за поперечный изгиб слоя. При изменении направления продольной компоненты изменяются знаки отклонений, т.е. происходит переориентация слоя. Отклонения максимальны на ранней стадии и постепенно уменьшаются со временем, что связано с затуханием токов Холла. Под действием сил Ампера ионы ускоряются вдоль поверхности слоя, от центра к обоим боковым краям, в результате возникают сверхтепловые сверхальфвеновские плазменные потоки, движение которых в магнитном поле приводит к уменьшению основного тока у боковых краев слоя и к появлению токов обратного

направления. В результате уменьшаются силы сжатия, и на краях происходит «утолщение» слоя. Неожиданное явление было обнаружено на поздней стадии эволюции токовых слоев, когда боковые концы слоя отклоняются от срединной плоскости в противоположных направлениях по сравнению с начальной стадией [5,6]. Это указывает на возбуждение токов Холла противоположных направлений, которые, в свою очередь, должны быть однозначно связаны с локальным направлением основного тока в слое. Действительно, в последнее время была обнаружена пространственно-временная корреляция между генерацией токов обратного направления и изменением направления токов Холла в токовом слое, который развивался в 2D магнитном поле, т.е. в отсутствие продольной компоненты. В этих условиях появление продольной компоненты магнитного поля свидетельствует о возбуждении токов Холла, направление которых характеризуется знаком продольной компоненты. Отсюда следует, что гипотеза о том, что переориентация токового слоя является, в конечном счете, результатом возбуждения в слое обратных токов, получила экспериментальное подтверждение. Таким образом, можно констатировать, что токи Холла оказывают существенное влияние на структуру магнитоплазменной конфигурации токового слоя, а колебания периферийных областей слоя, возникающие при возбуждении разнонаправленных токов Холла, являются естественной составной частью динамических процессов в токовых слоях.

- [1] A.G. Frank, S.Yu. Bogdanov, G.V. Dreiden et al. *Phys. Lett. A* **348** (2006) 318.
- [2] С.Ю. Богданов, Г.В. Дрейден, В.С. Марков и др. *Физика плазмы* **33** (2007) 1014.
- [3] А.Г. Франк, С.Н. Сатунин. *Физика плазмы* **37** (2011) 889.
- [4] A.G. Frank, N.P. Kyrie, S.N. Satunin. *Phys. Plasmas* **18** (2011) 111209.
- [5] А.Г. Франк, С.Н. Сатунин. Письма в ЖЭТФ **100** (2014) 83.
- [6] Г.В. Островская, А.Г. Франк. *Физика плазмы* **40** (2014) 24.

ОСЦИЛЛЯЦИИ ТОКОВОГО СЛОЯ В БЛИЖНЕМ ХВОСТЕ МАГНИТОСЕФРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ МИССИИ CLUSTER

Е.В. Юшков, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович

*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, yushkov.msu@mail.ru.
ФФ МГУ, г. Москва, Россия.*

Мы исследуем осцилляции токового слоя (flapping) в ближней области магнитосферного хвоста на расстояниях порядка 10-15 R_E . Спутниковые наблюдения миссии Cluster в 2005–2009 гг. позволяют определить характеристики вертикальных (вдоль направления север-юг) движений токового слоя и горизонтального (вдоль направления утро-вечер) распространения осцилляций токового слоя в области магнитосферного хвоста с относительно сильными градиентами магнитного поля вдоль направления Земля-Солнце. В докладе представлены результаты обработки статистики наблюдений колебаний токового слоя. Показано, что колебания токового слоя не приводят к возмущению B_z компоненты магнитного поля. На флангах магнитосферы колебания слоя распространяются к Земле, а не на фланги, как было ранее получено для осцилляций на расстояниях 20 R_E . Длина волны колебаний не меньше $2\pi L$, где L толщина токового слоя.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ ТОКОВЫХ СЛОЕВ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ И НАГРЕВА ПЛАЗМЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ

**Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк, Д.Г. Васильков,
Е.В. Воронова**

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, kyrie@fpl.gpi.ru.

В настоящей работе впервые исследована структура течений и нагрева плазмы в лабораторных токовых слоях, развивающихся в двумерных (2D) и трехмерных (3D) магнитных конфигурациях с особой линией X-типа при разряде в аргоне и гелии. Как известно [1], особенности как нагрева, так и течений плазмы могут стать определяющими факторами при переходе токового слоя из метастабильного состояния к импульсной фазе магнитного пересоединения. В экспериментах использовались методы спектроскопии. Температура и энергия направленного движения ионов определялись из доплеровских уширений спектральных линий Ar II 480.6 нм и He II 468.6 нм, измеренных одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к токовому слою. Вдоль электрического тока в слое (ось z) измерялась температура ионов T_i , а вдоль ширины слоя (большого поперечного размера слоя) определялась суммарная энергия теплового и направленного вдоль оси x движения ионов $T_i + W_x$ [2-4]. При исследовании структуры течений плазмы, т.е. зависимости $W_x(y)$, излучение плазмы в x-канале диафрагмировалось и принималось из трех областей: центральной, $\Delta y = 0 \pm 0.5$ см, и двух периферийных, сдвинутых по оси y относительно плоскости симметрии слоя на ± 1 см. Анализ результатов показал, что энергия направленного движения ионов аргона Ar II была минимальной ($W_x \approx 30$ эВ) вблизи центральной плоскости слоя ($y = 0$) и увеличивалась до $W_x \approx 50$ эВ в периферийных областях слоя (условия эксперимента: $p = 28$ мТорр, $J_z = 45$ кА, $h = 0.57$ кГс/см, $B_z = 2.9$ кГс, $t \approx 3.0$ мкс). Распределения температуры ионов аргона Ar II вдоль ширины слоя как в 2D, так и 3D магнитных конфигурациях были практически однородными в процессе эволюции токового слоя: $T_i \approx 40 \pm 5$ эВ и $T_i \approx 50 \pm 6$ эВ, соответственно. При формировании слоя в гелии в 2D магнитной конфигурации ($p = 320$ мТорр, $J_z = 45$ кА, $h = 0.50$ кГс/см, $B_z = 0$) распределения концентрации электронов $N_e(x)$ и температуры ионов гелия $T_i(x)$ в сформированном токовом слое были также практически однородными по ширине слоя: $N_e = (1.7 \pm 0.1) 10^{16}$ см⁻³, $T_i = 90 \pm 9$ эВ. Радикальные изменения параметров плазмы наблюдались в токовом слое, сформированном в гелии в 3D магнитной конфигурации ($B_z = 2.9$ кГс), в моменты времени, близкие к максимуму электрического тока, $t \approx 3$ мкс. Температура ионов гелия T_i в центре слоя в течение интервала времени менее 1 мкс увеличивалась в ~ 8 раз до $T_i \approx 360$ эВ, а концентрация электронов уменьшалась в ~ 5 раз до $N_e = 0.15 \times 10^{16}$ см⁻³. Быстрый интенсивный нагрев плазмы [1] может приводить к тепловому микровзрыву в центре слоя, который вызывает расширение слоя, срыв метастабильной стадии существования слоя и переход к импульсной фазе магнитного пересоединения. Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 12-02-00553а, и Программой РАН ОФН-15 «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории».

- [1] Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г., Письма в ЖЭТФ 56, 82 (1992).
- [2] Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г., Физика плазмы 36, 387 (2010).
- [3] Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г., Письма в ЖЭТФ, 95, 17 (2012).
- [4] Кирий Н.П., Франк А.Г., Физика плазмы 38, 1042 (2012).

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ В ЗАМКНУТЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

А.Ю. Малыгин, Е.Е. Григоренко, Х.В. Малова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, anmaurdreg@gmail.com.

Многочисленные спутниковые наблюдения показали, что в хвосте магнитосферы Земли довольно часто наблюдаются замкнутые магнитоплазменные конфигурации типа плазмоидов и магнитных островов. Также сообщалось о регистрации возрастных потоков энергичных ионов при прохождении таких структур мимо спутника. Целью данной работы является изучение кинетических особенностей динамики неадиабатических ионов в токовом слое (ТС) внутри плазмоида(ов) и эффективности их ускорения в таких конфигурациях. Для этого были исследованы траектории тестовых ионов различных масс (H^+ и O^+) в заданной магнитной конфигурации с единичным стационарным плазмоидом, находящимся с хвостовой стороны от ближней магнитной X-линии. В работе использовалась модель обращённого магнитного поля, на невозмущённую конфигурацию которого ($B_x(z)$, $B_y=0$, $B_z=\text{const}$) накладывалась $B_z(x)$ -вариация, обеспечивающая нам плазмоидо-подобную конфигурацию. Также везде в системе присутствовало постоянное и однородное электрическое поле утро-вечер ($E_y=0.1$ мВ/м). Считалось, что ионы приходят в ТС из высокоширотных долей хвоста с начальными энергиями 200эВ. Было показано что в плазмоиде, размер которого превышает ларморовский радиус ионов в ТС, характер движения ионов зависит от начальных параметров (масса, энергия, питч-угол, фаза) и от X-координаты точки влёта в ТС. В зависимости от перечисленных параметров ионы могут либо затягиваться в плазмоид, либо огибать его. Ионы, попавшие внутрь плазмоида, захватываются в нём, и в результате неадиабатического взаимодействия с ТС, движутся вдоль электрического поля утро-вечер, набирая энергию. Ограничение плазмоида в направлении утро-вечер накладывает ограничение на величину энергии набираемой ионами. Однако, наш анализ показал что существует группа ионов, которая выходя через вечерний фланг плазмоида, может вновь затянуться в него. Этот результат важен для наших дальнейших исследований, в которых будет рассмотрен эффект дополнительного ускорения ионов внутри плазмоида, при наличии в нём электромагнитной турбулентности.

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОДИНОЧНЫЕ И ДВОЙНЫЕ УКВ РАДИОИМПУЛЬСЫ ИЗ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ МИКРОСПУТНИКА "ЧИБИС-М"

**Л.М. Зеленый, В.М. Готлиб, С.И. Климов, В.Н. Каредин,
Д.И. Вавилов, М.С. Долгонос**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, cactus@iki.rssi.ru.

В начале 2012 г. был выведен на орбиту микроспутник «Чибис-М», основная задача которого заключалась в комплексном исследовании процессов, протекающих во время электрической активности в грозовой области. В данной работе мы хотели бы представить исследование свойств коротких микросекундных импульсов радиоизлучения в диапазоне 26-48 МГц, источник которых ассоциирован с молниевой активностью, по данным радиочастотного анализатора на борту микроспутника. Основные вопросы, которые мы планируем осветить в данном докладе, заключаются в следующем: классификация регистрируемых событий и их характеристики, оценка высоты электрического разряда над поверхностью Земли, объяснение дискретной природы молниевых радиоимпульсов, а также будут приведена оценка движения ступенчатого лидера.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАЗМЫ ВОЛНОВЫМИ ПАКЕТАМИ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

С.А. Романов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sroman@iki.rssi.ru.

Рассмотрена модель волновой формы турбулентных состояний плазмы, согласно которой турбулентная волновая форма представляется суперпозицией разномасштабных волновых пакетов. Модель воспроизводит инерционные области известных из теории и экспериментов МГД турбулентных спектров, характеризующихся определенным степенным законом. В рамках этой модели степенной характер зависимости спектральной плотности от частоты оказывается прямым следствием самоподобия волновых пакетов, причем показатель степени, определяющий наклон спектра, выражается простой зависимостью от числа пространственных степеней свободы на множестве волновых векторов. Модель предсказывает утечки мощности в области низких частот при проведении спектральных преобразований экспериментальных данных на выборках ограниченной длины. Показано, что величина утечек находится в обратной зависимости от частоты, в результате чего Фурье – анализ дает искаженные спектры с двумя наклонами и точкой излома искусственного происхождения.

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТОСЛОЕ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ

**М.О. Рязанцева^{1,2}, В.П. Будаев^{1,3}, Л.С. Рахманова², М.С. Пулинец¹,
С.С. Знаткова¹, Г.Н. Застенкер², Я. Шафранкова⁴,
З. Немечек⁴, Л. Прех⁴**

¹НИИЯФ МГУ г. Москва, Россия, *orearm@gmail.com*.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

³РНЦ «Курчатовский Институт» г. Москва, Россия.

⁴Charles University in Prague, Czech Republic.

Проведен анализ характеристик турбулентности магнитослоя и процессов проникновения плазмы в магнитосферу Земли с использованием данных наблюдений прибора БМСВ на космическом аппарате СПЕКТР-Р и международной миссии THEMIS. Турбулентные флуктуации в магнитослое формируются как в результате торможения и термализации солнечного ветра на околоземной ударной волне, так и в результате развития плазменных неустойчивостей внутри самого магнитослоя. В ходе проникновения плазмы магнитослоя через магнитопаузу на низких широтах формируется низкоширотный погранслои (LLBL). Проводился статистический, спектральный и корреляционный анализы характеристик турбулентных флуктуаций параметров плазмы и магнитного поля, а также анализ отдельных пролетов. Использование измерений прибора БМСВ с уникально высоким разрешением (вплоть до 0.03 с) дало возможность проследить динамику характеристик плазменных турбулентных флуктуаций внутри магнитослоя в широком диапазоне частот, провести их сравнения с аналогичными характеристиками, наблюдаемыми в солнечном ветре и сравнить с предсказаниями различных статистических моделей турбулентности. Использование данных пятиспутниковой миссии THEMIS дало возможность провести анализ модификации плазменных и магнитных структур солнечного ветра различных масштабов при прохождении магнитослоя. Показано, что внутри магнитослоя структуры солнечного ветра могут как значительно модифицироваться, так и сохранять ряд своих характеристик. Получены первые результаты по определению влияния турбулентности магнитослоя на толщину LLBL и соблюдению условий баланса давлений на магнитопаузе.

РАЗВИТИЕ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТИ В ПОТОКЕ ПЛАЗМЫ: ОТ СПОКОЙНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ДО НОЧНОЙ ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ

**С.П. Савин¹, В.П. Будаев^{1,2}, Л.М. Зеленый¹, Я. Шафранкова³,
З. Немечек³, Я. Бленцки⁴, Л.А. Лежен¹**

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

²РНЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, Россия.

³Charles University, Prague, Czech Republic.

⁴ЦБК ПАН, Польша.

Исследуется перемежаемость и другие свойства дискретных и турбулентных каскадов по данным потока ионов одновременно в солнечном ветре (WIND, THEMIS, CLUSTER) на границе геомагнитного хвоста (GEOTAIL и СПЕКТР-Р), а также в форшоке и внешнем каспе (CLUSTER). Упор сделан на частотах 0.02-10 мГц. Основные статистические свойства обусловлены сверхмощными плазменными струями. Впервые выделены максимумы ~ 0.03-0.07 мГц, усиленные на 2.5 порядка на границе геомагнитного хвоста по сравнению с солнечным ветром. Предложен механизм усиления за счет резонансов границы

геомагнитного хвоста. На 0.2-3 мГц наблюдаются мембранные и полостные моды, как и в динамическом давлении. С увеличением частоты начинает формироваться непрерывный спектр с наклоном около -1. На 3-20 мГц, в отличие от предыдущих результатов, в геомагнитном хвосте наблюдается наклон -1.7. Мы связываем это с релаксацией более высокочастотных флуктуаций потока плазмы по мере движения его вдоль магнитопаузы в сторону геомагнитного хвоста. В солнечном ветре в либрационной точке L1 в данном случае перемежаемости не наблюдается. Перед перпендикулярной ударной волной в солнечном ветре, включая орбиту Луны, она появляется, указывая на умеренную супердиффузию с $\gamma \sim 1.4$ ($\langle \delta x^2 \rangle \propto \tau^\gamma$). Обсуждается возможный механизм возникновения перемежаемости – появление в солнечном ветре отраженных ионов от ударной волны. Проведено также в разных точках сравнение размерностей диссипативных структур, определяющих основные свойства турбулентности. В большинстве случаев они оказываются нитевидными, как и в предыдущих исследованиях. Однако, для CLUSTER в дневном магнитослое размерность плохо определена, оказываясь несколько ближе к двумерной (листообразной). Мы связываем это с наличием ударных волн и магнитопауз, в выборке данных CLUSTER, необходимой для изучения сверхнизких частот, что, в данном случае, наилучшим образом обеспечивается орбитой СПЕКТР-Р. Для предполагаемого источника ускорения плазменных струй – ударной волны с возмущенной формой - $\gamma \sim 3$. Это означает супер-баллистический режим, что подтверждает результат предыдущих исследований по динамическому давлению. На границе геомагнитного хвоста (СПЕКТР-Р) наблюдается сильная супердиффузия: $\gamma \sim 1.79$, что свидетельствует о возможности эффективного заполнения пограничных слоев. Результаты анализа могут быть применены для усовершенствования предсказаний космической погоды, а также для понимания природы турбулентных каскадов в разных средах, включая термоядерные установки, краткое сравнение с перемежаемостью в которых мы также приводим. Выражаем глубокую благодарность проф. Г.Н. Застенкеру за предоставление данных СПЕКТР-Р и крайне полезные обсуждения.

СЕКЦИЯ «НИЗКОЧАСТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

О ВОЗДЕЙСТВИИ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНЫХ РЕЗОНАНСОВ ВО ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ НА ИОНОСФЕРУ

**В.Б. Белаховский¹, С.П. Савин², В.А. Пилипенко^{3,2},
Л.А. Лежен¹**

¹ПГИ КФ РАН, Россия.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

³ИФЗ РАН, г. Москва, Россия.

Экспериментально исследовано влияние низкочастотных резонансов (0.2-10 мГц) на границе магнитосферы на флуктуации магнитного поля внутри магнитосферы, включая ионосферу. Продемонстрировано на данных динамического давления и потока плазмы со спутников CLUSTER, DOUBLE STAR, GEOTAIL, ACE, СПЕКТР-Р, WIND, THEMIS, а также GOES и арктических и антарктических полярных станций вблизи полярного каспа, что за счет доминирующей кинетической энергии солнечного ветра:

- пограничные резонансы и их гармоники проникают внутрь магнитосферы и достигают ионосферы в области полярного каспа;
- дискретные резонансы имеют близкие частоты, их разница, возможно, связана с эффектом Допплера, проявляющегося, в основном, в спутниковых измерениях в быстрых потоках плазмы;
- корреляция между флуктуациями динамического давления на границе магнитосферы и магнитными возмущениями в ионосфере достигает 50%. Это представляется значимым, поскольку большая корреляция ожидается только в случае магнитного сопряжения наземной станции и участка магнитопаузы, на который воздействуют плазменные струи, несущие основные возмущения и энергию. Для выявления таких сопряжений необходимо проведение соответствующего моделирования. Кроме того, возможно влияние эффекта Допплера.
- частота проникающих резонансов достигает более низкочастотной области (менее 0.2 мГц), чем отмечалось в предыдущих исследованиях Рс5. Привлечение новых данных потока плазмы со СПЕКТРА-Р позволяет расширить диапазон сравнительного анализа до 0.02 мГц, что, однако, не позволяет сравнивать спутниковые данные с одной станцией в области каспа, хотя может быть полезным для глобальных магнитосферных возмущений (например, собственных колебаний геомагнитного хвоста).

ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ИОНОСФЕРНОГО СОСТАВА С ВЫСОТОЙ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОТОННЫХ СВИСТОВ

Д. И. Вавилов, Д. Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vavilov86@yandex.ru.

Волновые моды, которые присутствуют в магнитоактивной плазме в диапазоне частот ниже протонной гирочастоты, существенно определяются ионным составом плазмы [1]. В ионосферной плазме, начиная с высот ~ 300 км, основными ионами являются ионы кислорода O^+ , ионы гелия He^+ и ионы водорода H^+ (протоны). Вблизи гирочастоты каждого сорта ионов показатель преломления $N = kc/\omega$ (k - волновой вектор, ω - частота волны и c - скорость света), вычисленный в приближении "холодной" плазмы, обращается в бесконечность для одной из двух возможных волновых мод и остается конечной для другой. В то же время, в диапазоне между гирочастотами двух "соседних" ионов существует так называемая частота отсечки, для которой квадрат показателя преломления N^2 одной из волновых мод обращается в ноль и ниже которой $N^2 < 0$, так что между гирочастотой более тяжелого иона и частотой отсечки существует только одна распространяющаяся мода [2]. При изменении относительного ионного состава изменяется топология зависимости показателя преломления от частоты, так что в зависимости от относительной концентрации ионов, на одной и той же частоте могут существовать либо одна, либо две распространяющиеся моды. Такое изменение ионного состава происходит в ионосфере с ростом высоты: внизу доминирующими являются тяжелые ионы кислорода O^+ , а с ростом высоты увеличивается концентрация протонов. При этом возникает естественная задача о распространении волны определенной частоты в ионосфере при "возникновении" на этой частоте второй распространяющейся моды. Решению этой задачи, которая имеет непосредственное отношение к теории формирования протонных свистов в верхней ионосфере, и посвящен настоящий доклад. Поскольку появление распространяющейся моды происходит при прохождении N^2 через ноль, то есть при очень малых значениях волнового вектора k , решение этой задачи требует, очевидно, волнового подхода. Как известно, численное решение волновой задачи в области, где квадрат показателя преломления одной из мод отрицательный, сопряжено с серьезными трудностями, связанными с экспоненциальным ростом решения. В то же время, решение задачи именно в этой «переходной» области необходимо для определения амплитуды волны в области, где распространение становится уже возможным. В докладе развит подход для преодоления указанной трудности, который использует естественный малый параметр, связанный с малой шириной переходной области, и позволяет решить соответствующую систему уравнений аналитически. Решая систему уравнений для поля аналитически в переходной области и численно вне ее (где квадрат показателя преломления для обеих мод положительный), удастся получить корректное решение задачи во всей интересующей области. В докладе обсуждаются приложения полученных результатов к теории формирования протонных свистов.

[1]. Smith, R. L., and J. J. Angerami (1968), Magnetospheric properties deduced from OGO 1 observations of ducted and nonducted whistlers, *J. Geophys. Res.*, **73**, 1 - 20.

[2]. Stix, T. H. (1992), *Waves in Plasmas*, Springer-Verlag, New York.

[3]. Pitteway, M. L. V. (1965), The numerical calculation of wave-fields, reflexion coefficients and polarizations for long radio waves in the lower ionosphere I, *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, **257**(1079), 219 - 241.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МГД-ВОЛН В ОПТИЧЕСКИ ТОНКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ С ИЗОЭНТРОПИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ

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

СГАУ, СФ ФИАН, г. Самара, Россия, dimanzav@mail.ru.

В данной работе проводится исследование эволюции и взаимодействия магнитоакустических и альфвеновских волн в плазменной среде с изоэнтропической неустойчивостью. Наличие интереса к данной проблематике связано, прежде всего, с наблюдением различного рода волновых структур, в частности автоволн, в солнечной атмосфере. Исследование динамики волн проводилось с помощью основной системы уравнений магнитной гидродинамики, дополненной для учета неадиабатических процессов охлаждения и нагрева среды, в приближении оптической тонкости среды. Данное приближение обычно применяется для описания процессов радиационного охлаждения межзвёздных сред и верхних слоев атмосферы солнца (корона, иногда даже для хромосферы). Важно отметить, что процессы охлаждения и экзотермического нагрева зависят от температуры и плотности среды. Как известно наличие подобной зависимости может приводить к наличию в среде так называемых тепловых неустойчивостей [1]. В частности, наличие в межзвездной среде изоэнтропической (акустической) неустойчивости, может приводить к генерации серии автоволновых импульсов[2]. В ходе исследования показано, что наличие акустической неустойчивости может приводить к усилению быстрых и медленных магнитоакустических волн, при этом инкремент усиления в низкочастотном пределе зависит от частоты самого возмущения. С помощью теории возмущений были получены нелинейные уравнения, описывающие одномерную динамику слабых магнитозвуковых волн. Влияние вязкостных процессов не учитывалось, коэффициент теплопроводности считался малым. Также считалось, что волны распространяются вдоль оси z , а вектор магнитного поля направлен под некоторым углом в плоскости x - z . Аналитически были определены решения нелинейного уравнения и определены условия возникновения и параметры для решения в виде автоволнового импульса. Исследование динамики волн также проводилось с помощью численного решения полной системы уравнений и полученных нелинейных уравнений. Кроме того, была исследована возможность параметрического усиления альфвеновских волн при взаимодействии их с неустойчивыми акустическими волнами. На основе полной системы были получены упрощенные системы уравнений, описывающее трехволновое взаимодействие МГД-волн. Аналитически были определены условия усиления альфвеновских и определены условия, при которых возможна параметрическая генерация альфвеновских волн. Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проекты № 608, ГР 114091840046, грантом РФФИ 14-02-97030 p_поволжье_a, и стипендией Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики 2013-2015 год.

[1]. *Field G.B., Thermal instability/ G.B. Field // Astrophysical Journal. 1965 - V. 142. - P. 531–567.*

[2]. *Molevich, N. E. Traveling self-sustained structures in interstellar clouds with the isentropic instability/ N. E. Molevich, D. I. Zavershinsky, R. N. Galimov, V. G. Makaryan // Astrophysics and Space Science. 2011 - V. 334, Issue 1.- P. 35-44.*

НЕОБЫЧНЫЕ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В АВРОРАЛЬНЫХ ШИРОТАХ

Ю. Маннинен¹, Н.Г. Клейменова² Т. Турунен¹

¹ГО Соданкюля, Финляндия.

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

Обсуждаются неизвестные ранее виды ОНЧ излучений продолжительностью от минуты до нескольких часов, обнаруженные во время зимних кампаний высокочувствительных ОНЧ наблюдений в 2011-2013 годах в выносной точке (Kannuslehto-KAN), свободной от промышленных помех и расположенной ~ 40 км к северо-западу от авроральной обсерватории Соданкюля (Финляндия). Применялась специальная высокочастотная фильтрация импульсных атмосферных помех (sferics). Показано, что, как правило, периодические и квазипериодические ОНЧ излучения в полосе частот ~ 2-3 кГц были левополяризованными и волны приходили в точку регистрации с направления восток-запад. На частотах ~ 6-10 кГц после «очистки» от sferics в дневное время были обнаружены необычные правополяризованные дискретные ОНЧ излучения длительностью меньше минуты («птички»). Теоретическая интерпретация генерации и распространения таких излучений пока не разработана. Наиболее яркие события дискретных ОНЧ излучений наблюдались зимой в отсутствие значительной геомагнитной активности. Приводятся примеры необычной сложной временной динамики спектральных форм отдельных ОНЧ излучений.

СПЕЦИФИКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ КНЧ-ОНЧ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МАГНИТНО-ВОЛНОВЫМ КОМПЛЕКСОМ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

С.И. Климов¹, Д.И. Вавилов¹, Т.В. Гречко¹, Д.Ф. Дудкин², В.Е. Корепанов²,
Д.И. Новиков¹, П. Сегеди³, Ч. Ференц⁴

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sklimov@iki.rssi.ru.

²ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина.

³VL-Electronics, Венгрия.

⁴Университет Этвёша, г. Будапешт, Венгрия.

Измерение электрической компоненты плазменных излучений является сложной методической задачей, что подтверждается малым количеством успешных экспериментов на космических аппаратах. Используя положительный опыт, накопленный в результате проведенных ранее экспериментов по методу комбинированной волновой диагностики (КВД) [1], на микроспутнике (МС) «Чибис-М» были установлены два комбинированных волновых зонда (КВ31, КВ32), входящие совместно с процессором спектрального анализа (ПСА) в состав магнитно-волнового комплекса (МВК) [2]. Полученные в режиме «мониторинг» за период 25.01.2012 – 14.10.2014 динамические (120 дБ) спектрограммы (0.01-40 кГц), позволяют исследовать амплитудно-частотные характеристики КНЧ-ОНЧ излучений в зависимости от сезона, времени суток, геомагнитных условий, геомагнитных координат и т.д. Особенностью данных в этом режиме является выделение «пространственных зон» с минимальной интенсивностью фона во всей полосе частот. В работе рассматриваются специфические особенности метода КВД, в том числе режима «волновая форма» обеспечивающего высокое временное разрешение, что способствует надёжной физической интерпретации наблюдаемых плазменно-волновых процессов на высотах 300-500 км в среднеширотной и приэкваториальной ионосфере [3, 4].

- [1]. Климов, С.И., М.Н. Ноздрачев, П. Триска, и др. Исследование плазменных волн с помощью комплекса комбинированной волновой диагностики БУДВАР ("Прогноз-10-Интеркосмос"). Космические исследования, т.24, No. 2, с.177-184, 1986.
- [2]. Новиков, Д.И., С.И. Климов, В.Е. Корепанов, и др. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, серия «Механика, управление и информатика»/Под ред. Р.Р.Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009, с. 78-89.
- [3]. Зелёный Л.М., А.В. Гуревич, С.И. Климов, В.Н. Ангаров, и др. Академический микроспутник Чибис-М. Космические исследования, 2014, том 52, № 2, с. 93–105.
- [4]. Dudkin D., V. Pilipenko, V. Korepanov, S. Klimov, R. Holzworth. Electric field signatures of the IAR and Schumann resonance in the upper ionosphere detected by Chibis-M microsatellite. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 117 (2014) 81–87. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682614001254>.

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КНА «РЭЛЕК» ПРОЕКТА «ВЕРНОВ»

С.И. Климов¹, А.В. Богомолов², В.В. Богомолов^{2,3}, Д.И. Вавилов¹, Т.В. Гречко¹, В.А. Грушин¹, Д.Ф. Дудкин⁴, В.Е. Корепанов⁴, И.Н. Мягкова², Д.И. Новиков¹, М.И. Панасюк^{2,3}, Х. Ротхель⁵, С.И. Свертилов^{2,3}, П. Сегеди⁶, Ч. Ференц⁶

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sklimov@iki.rssi.ru.

²НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

³Физ. фак-т МГУ г. Москва, Россия.

⁴ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина.

⁵ЦКИ ПАН, г. Варшава, Польша.

⁶Университет Этвёша, г. Будапешт, Венгрия.

Научной программой проекта «Вернов», для аппаратуры «РЭЛЕК», предусмотрено получение новых данных, в частности, о доминирующих электромагнитных процессах в системе атмосфера-ионосфера-магнитосфера, а также о взаимодействиях типа «волна-частица» и об ускорении и потерях электронов высоких энергий. Комплекс научной аппаратуры «РЭЛЕК» установлен на борту спутника «МКА-ФКИ (ПН2)» (с 03.12.2014 спутник «Вернов»), выведенного 8 июля 2014 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой 620-820 км и наклоном 98.4°. В докладе изложены результаты комплексного анализа данных с высоким (~ 1мксек) временным разрешением, полученных 10 декабря 2014 г. в высокоширотной ионосфере по:

- амплитудно-частотному анализу электрической и магнитной компонент УНЧ-КНЧ-ОНЧ (0.1Гц-40кГц);
- амплитудно-частотному анализу электрической компоненты ВЧ (0.1-15МГц);
- потокам электронов 50-850кэВ;
- гамма квантам 0.01-30МэВ;
- гамма-излучениям 50-420кэВ.

СТАТИСТИКА НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ СИСТЕМОЙ КАМЕР MAIN ЗА 2011-2014 ГОДЫ

Б.В. Козелов

ПГИ, г. Апатиты, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com.

В докладе представлен обзор наблюдений полярных сияний системой камер MAIN за 2011-2014 гг. Система MAIN, установленная в Апатитах, состоит из 5 авроральных камер с различным полем зрения и позволяет регистрировать как крупномасштабное распределение аврорального свечения в окрестности с радиусом ~ 400 км, так и мелкие ~ 100 м детали вблизи магнитного зенита. Наблюдения из двух точек дают возможность оценить высоту области свечения вблизи магнитного зенита. Проведена статистическая обработка данных наблюдений по числу интервалов наблюдений каждой камерой и триангуляционными парами камер, по типу авроральных событий, получены статистические распределения индексов геомагнитной активности Dst и AE для интервалов наблюдений полярных сияний камерами системы MAIN. Приведены примеры численного анализа пространственно-временной динамики полярных сияний с использованием фрактальных характеристик и методов математической морфологии. Обсуждаются возможности анализа данных MAIN совместно с одновременными наземными (Ловозеро) и спутниковыми (RBSP, THEMIS) наблюдениями КНЧ-ОНЧ электромагнитных волн.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПРИ НАГРЕВЕ МОДУЛИРОВАННЫМ ВЧ ИЗЛУЧЕНИЕМ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ СО СПУТНИКА КОСМОС-1809

В.М. Костин, Г.П. Комраков, Г.Г. Беляев, Я.П. Соболев, Е.П. Трушкина, О.Я. Овчаренко

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, kostin@maryno.net.

Представлены результаты экспериментов по нагреву ионосферы ВЧ излучением стенда Сура и подмосковного стенда НИИ Радио, регистрируемых со спутника Космос-1809 как в режиме запоминания, так и при прямой передаче широкополосных данных ОНЧ-комплекса на приемный пункт ИЗМИРАН. Показано, что в освещенной ионосфере при высокой солнечной активности $F_{10,7} > 200$ на частоте модуляции ВЧ излучения (канал 140 Гц) наблюдаются две возмущенные области. Одна, более интенсивная, $D \sim 100$ км с центром на L-оболочке, проходящей через область нагрева, другая – эллиптическая с центром на L-оболочке, проходящей через E-слой над стендом. Она вытянута от $L=2,6$ на юг ~ 500 км и восток ~ 1500 км. В центре этой области выделяется канал заполненный свистящими атмосфериками (СА). Множественные каналы, заполненные как восходящими, так и отраженными СА наблюдались в области ~ 2000 км через 20-40 мин после одновременного выключения стенда Сура и подмосковного стенда (16.04.1991 – эксперимент по наблюдению релаксационных эффектов). Выключение стенда Сура приводило к замиранию на 2,5 мин КНЧ-турбулентности (140 Гц). В магнитосопряженной области после выключения стенда Сура также наблюдалось экспоненциальное спадание КНЧ-турбулентности через $\leq 2,56$ с. В режиме ЗАП4 – это разрешение, время опроса каналов ОНЧ-комплекса. При низкой солнечной активности $F_{10,7} < 100$ в освещенной ионосфере картина несколько меняется. Во второй области КНЧ-турбулентность менее выражена, но к северу от области нагрева до $L=3,6$, каустики на частоте канала 4600 Гц, наблюдались рост на 20% электронной плотности и давления. В неосвещенной ионосфере указанные эффекты не выявлены.

ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ, УСТАНОВЛЕННЫМ НА БОРТУ СПУТНИКА

Ю.М. Михайлов

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

Представлены результаты исследования ОНЧ-сигналов в ионосфере, возбуждаемых электрическим генератором ПВП, установленным на спутнике «Интеркосмос-24». Спутник «Интеркосмос-24» был запущен 28 сентября 1989 г. с апогеем 2500 км, перигеем 500 км, наклоном 82,5°. Основой ПВП являлся генератор электрических импульсов длительностью 250 мс со скважностью 4. Этот генератор работал циклами длительностью 20с. В пределах каждого цикла несущая частота импульсов изменялась каждую секунду от 1,5 до 19,5 кГц с шагом $\Delta f = 1$ кГц. Амплитуда импульсов в четырёх последовательных циклах равнялась 50, 100, 150, 200В. Излучающая антенна генератора представляла собой два луча длиной по 7,5м и была расположена на расстоянии 7м от приёмной антенны широкополосного волнового комплекса. Возбуждаемые ОНЧ-сигналы были зарегистрированы 05.01.90 на витке 1238 в 17:00 МСК на $L = 3,2$ и $h = 920$ км в момент прохождения импульсами ПВП частот от 8 до 19,5 кГц. Каждому импульсу ПВП соответствовал эхо-сигнал с частотой, падающей от 4,5 до 1 кГц, запаздывающий относительно импульса ПВП на 1,2с. Производная частоты от времени при df/dt равнялась 5 кГц/с при $f = 4$ кГц, вторая производная была положительной, дисперсия оценивалась как 10 $1/c^2$. Было высказано предположение, что эти сигналы являются результатом нелинейного триггирования при больших линейных инкрементах. Выполнено поэтапное сравнение результатов эксперимента с теоретическими оценками: циклотронный резонанс, образование ступеньки в функции распределения и формирование пучка, вторичное излучение, распространение сигналов в точку регистрации. Экспериментальные результаты согласуются с теорией.

РАЗВИТИЕ КОМПРЕССИОННЫХ Pc5 ПУЛЬСАЦИЙ НА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ФАЗЕ МАГНИТНОЙ БУРИ 23 МАЯ 2007 г.

А.В. Моисеев, В.А. Муллаяров, С.Н. Самсонов, А. Йошикава

ИКФИА им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия, mullayarov@ikfia.sbras.ru.

Рассматриваются вопросы развития и модуляционные свойства компрессионных геомагнитных Pc5 пульсаций в период магнитной бури 23.05.2007. Область возбуждения пульсаций была локализованной в пространстве: максимальная амплитуда (~300 нТл) наблюдалась на широтах 63-66° в полуночно-утреннем секторе 22-06 MLT, за пределами этой области амплитуда колебаний резко уменьшалась. В спектрах колебаний в межпланетной среде, в магнитосфере и на Земле выявлены два максимума ~1.3 мГц и ~1.7 мГц. По наблюдениям в магнитосфере максимальная амплитуда колебаний магнитного поля была сосредоточена в компрессионной компоненте. В интервале пульсаций наблюдалась модуляция потоков энергичных протонов и плотности плазмы с тем же периодом. По наземным наблюдениям в утреннем секторе (05-06 MLT) риометрического поглощения (РП) на широте 66° и ОНЧ-излучения на широте 56° геомагнитные пульсации сопровождалась модуляцией интенсивности РП и ОНЧ-излучения. Спектры вариаций РП и ОНЧ-излучения имели максимум на частоте ~1.5 мГц. Сопоставление вариаций в данных наземных

магнитометрических и радиофизических наблюдений с вариациями магнитного поля на спутнике ETS-VIII, находившимся в утреннем секторе, показало наилучшую корреляцию с вариациями модуля магнитного поля на спутнике. По наземным наблюдениям отмечалось распространение пульсаций в утреннем секторе в восточном направлении со скоростью (~2.4км/с), соответствующей скоростям магнитного дрейфа частиц.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНОСФЕРНОГО АЛЬВЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА МАГНИТОСФЕРНЫМИ И АТМОСФЕРНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

**В.А. Пилипенко¹, Е.Н. Федоров², Н.Г. Мазур², Е.Н. Ермакова³,
С.И. Климов¹**

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, *pilipenko_va@mail.ru; sklimov@iki.rssi.ru.*

²ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, *enfedorov1@yandex.ru; ngmazur@mail.ru.*

³НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, *l.ermakova@nirfi.sci-nnov.ru.*

Характерной особенностью верхней ионосферы является наличие ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) и волновода для быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн, в которых может накапливаться электромагнитная волновая энергия в ультра-низкочастотном (УНЧ) частотном диапазоне от долей до десятка Гц. В результате электромагнитные излучения и шумы УНЧ диапазона имеют многополосную спектральную структуру, а ионосферное прохождение и отражение ионно-циклотронных (ИЦ) волн показывает сильную частотную зависимость. Для количественной интерпретации особенностей этих явлений нами разработана численная модель взаимодействия УНЧ электромагнитных волн с ионосферой. В рамках модели численно решаются зацепленные волновые уравнения для МГД мод в реальной ионосфере, вертикальная структура параметров которой для заданного события рассчитывается с помощью модели IRI. Разработанная модель применена для решения следующих задач:

- спектр и диссипативные свойства собственных вытекающих мод ИАР;
- искажение спектра магнитосферных ИЦ волн при прохождении к земной поверхности и отражении от ионосферы;
- особенности возбуждения ИАР и БМЗ волновода магнитосферными источниками и атмосферными электрическими разрядами.

Развиваемые теоретические представления применены для интерпретации импульсных возмущений электрического поля, зарегистрированных в верхней ионосфере микроспутником Чибис-М.

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СПЕКТРА РЕГУЛЯРНОГО ШУМОВОГО ФОНА В ДИАПАЗОНЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

С.В. Поляков, Е.Н. Ермакова

ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, svp@nirfi.sci-nnov.ru.

Тонкая структура спектра (ТСС) была обнаружена в 1992 году на Крите (Греция) [1]. Позднее ТСС была обнаружена и на среднеширотном пункте «Новая Жизнь» (Россия, Нижегородская область) [2]. В отличие от двух других ранее обнаруженных спектральных структур (резонансная структура спектра – РСС, широкополосный спектральный максимум-ШСМ) ТСС является нелокальной. Это означает, что параметры ТСС не связаны с

ионосферным альвеновским резонатором в точке наблюдения. Новый механизм основан на граничном условии для нестационарного горизонтального ионосферного тока на терминаторе с учетом излучения альвеновских волн [3]. Решена задача о прохождении и отражении крайне низкочастотных полей на терминаторе. При этом происходит перенос резонансных свойств ионосферы в районе терминатора на наблюдаемое поле вне терминатора. Для решения задачи используется модифицированный метод изображений. Выполнены численные расчеты магнитных полей на основе численных (IRI-2012) и аналитических моделей ионосферных параметров с учетом горизонтальной неоднородности ионосферы (терминатор). Обсуждается соответствие результатов численных расчетов данным эксперимента.

[1] *Bösinger T., Demekhov A.G., Trakhtengerts V.Yu.* Fine structure in ionospheric Alfvén resonator spectra observed at low latitude ($L = 1.3$). // *Geophys. Res. Lett.* 2004. V.31. Art.no. L18802. doi:10.1029/2004GL020777, 2004.

[2] *Е.Н. Ермакова, С.В. Поляков, Н.В. Семенова,* Исследование резонансных структур с разными частотными масштабами в спектре фонового КНЧ шума на средних широтах, *Изв. вузов. Радиофизика*, № 12, 2011, т. 54, с 881-890.

[3] *С.В.Поляков,* Граничное условие для нестационарного горизонтального ионосферного тока на терминаторе с учетом затекания части тока в верхнюю ионосферу и магнитосферу. // *Изв. ВУЗов. Радиофизика.* 2015. т.58, №1.

ДИСПЕРСИЯ И УСИЛЕНИЕ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛН В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

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

СГАУ, СФ ФИАН, г. Самара, Россия, ryashchikovd@gmail.com.

В данной работе проводится исследование дисперсии магнитогиродинамических волн и возможности их усиления в солнечной короне, с учетом влияния процессов тепловыделения и теплопроводности. Распространение магнитогиродинамических волн в среде описывается системой МГД-уравнений, модифицированной для учета неадиабатических процессов протекающих в среде [1]. Ключевую роль в описании процессов, происходящих в подобных средах, играет обобщённая функция тепловыделения, зависящая от температуры и плотности, которая представляет собой разность функции охлаждения и функции нагрева среды. Ранее было показано [2], что в зависимости от параметров источника тепловыделения, в среде могут реализовываться три типа неустойчивостей: изобарическая, изохорическая и изэнтропическая (акустическая). На основе исходной системы МГД-уравнений были получены дисперсионное соотношение для альвеновской волны, а также общее уравнение, описывающее дисперсию тепловой волны, а также быстрой и медленной магнитоакустических волн. В работе было показано, что в приближении малости коэффициента теплопроводности общее уравнение, может быть разделено на дисперсионные соотношения, описывающее тепловую волну и магнитоакустические моды в отдельности. Важно отметить, что в ходе исследования было показано, что теплопроводность не влияет на условие возникновения в среде того или иного типа тепловой неустойчивости. Также было получено спектральное условие усиления магнитоакустических волн и максимальная частота, выше которой неустойчивости не наблюдаются. С помощью современных моделей, описывающих охлаждение солнечной короны и возможных сценариев нагрева [3,4] были получены зависимости скорости магнитоакустических волн и декремента их затухания (или инкремента их усиления) от температуры в случае распространения волн перпендикулярно вектору индукции магнитного поля. Кроме того, в работе были определены сценарии нагрева, при реализации которых в среде возможно усиление магнитоакустических волн.

Также определены температурные диапазоны, в которых происходит усиление и найдены максимальные частоты усиления магнитоакустических волн.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проекты № 608, ГР 114091840046 и грантом РФФИ 14-02-97030 р_поволжье_a.

[1]. R. Chin, E. Verwichte, G. Rowlands, V.M. Nakariakov, Self-organization of magnetoacoustic waves in a thermally unstable environment, *Physics of Plasmas* 17 (2010) 032107.

[2]. G.B. Field, Thermal instability, *ApJ* 142 (1965) 531–567.

[3]. S.M.H. Ibanez, T.O.B. Escalona, Propagation of hydrodynamic waves in optically thin plasmas, *ApJ* 415 (1993) 335–341.

[4]. E. Landi, G. Del Zanna, P. R. Young, K. P. Dere, and H. E. Mason, CHIANTI – An Atomic Database for Emission Lines. XII. Version 7 of the Database, *ApJ* 744 (2012) 99.

ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ НА СПУТНИКЕ RBSP И НА ЗЕМЛЕ

Е. Е. Титова, Б. В. Козелов, А.Г. Демехов, Ю. Маннинен

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатумы, Россия, lena.titova@gmail.com.

Многие свойства квазипериодических (QP) ОНЧ излучений были выявлены в ранних наземных экспериментах [1]. В последние годы характеристики QP излучений активно изучались на низколетящих спутниках и на больших удалениях от Земли [2,3]. В докладе представлены результаты одновременных наблюдений QP излучений на спутнике RBSP, находившемся в области экватора ($MLAT=5^{\circ}-7^{\circ}$) и на наземной станции в северной Финляндии ($L=5.3$). Квазипериодические ОНЧ эмиссии наблюдались на спутнике RBSP-A 25 января 2013 с 23 UT в течение часа в области L оболочек $L=3-4,5$ в ночном секторе (22–23 MLT). Спутник находился вблизи экватора и двигался к северу в область больших широт. При этом верхняя частота QP эмиссий увеличивалась от 4.5 кГц до 6.5 кГц, а временной интервал между QP элементами уменьшался в два раза от 5 мин. до 2.5 мин. Одновременные наблюдения ОНЧ излучений на станции в Северной Финляндии показали взаимно однозначное соответствие между QP элементами и подобие их частотных характеристик на спутнике RBSP и на Земле, что позволило разделить пространственные и временные вариации на ИСЗ и установить, что изменения частоты и периодов следования QP элементов не были связаны с изменением положения спутника в пространстве, а носили исключительно временной характер и были связаны, по-видимому, с интенсивной суббури ($AE \approx 400$ nT), развивавшейся в ночном секторе. По данным спутника RBSP-A в области наблюдения QP излучений обнаружено возрастание потоков и анизотропии функции распределения электронов с энергиями 3–30 кэВ, которые могут быть ответственны за генерацию этих сигналов. Отметим, что на спутнике RBSP-B, пролетавшем по близкой траектории через 1 час на восстановительной фазе суббури, QP излучения не регистрировались, а потоки и анизотропия энергичных электронов были заметно ниже. На основе наблюдаемых в эксперименте свойств QP излучений и их связи с характеристиками электронов обсуждается возможное положение области генерации сигналов и механизм формирования квазипериодического режима. Работа частично поддержана Программой Президиума РАН 22 и авторы благодарят разработчиков спутника RBSP за возможность использования данных.

[1]. Sato N. et al., *J. Atmos. Terr. Phys.* 1974. V. 36. P. 1515–1526.

[2]. Pasmanik D.L. et al., *Annales Geophysicae*. 2004. V. 22. P. 4351–4361.

- [3]. Nemes F. et al., *J. Geophys. Res.*, 2013, 118, 4210–4220, doi: 10.1002/jgra.50406.
[4]. Трахтенгерц В.Ю., Райкрофт М.Дж. Свистовые и альфвеновские циклотронные мазеры в космосе, М.: Физматлит, 2011, 344 с.

SIMULATION OF VLF CHORUS EMISSIONS IN THE MAGNETOSPHERE AND COMPARISON WITH THEMIS SPACECRAFT DATA

A.G. Demekhov¹, **U.Taubenschuss**², **O. Santolik**³

¹*Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia, andrei@appl.sci-nnov.ru.*

²*Swedish Institute of Space Physics, Uppsala, Sweden.*

³*Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic.*

We present the results of numerical simulations of VLF chorus emissions based on the backward oscillator (BWO) model and compare them with data from THEMIS spacecraft. Specific attention is paid to the choice of simulation parameters on the basis of experimental data and on the dependence of the chorus spectra on the observer position inside the chorus source region. We show that based on the chorus amplitude, the geomagnetic field profile along the magnetic field, the plasma electron density, and the initial wave frequency one can unambiguously choose the parameters of the energetic electron distribution function which yield correct representation of individual chorus elements in the simulation. In particular, the measured growth rate, frequency drift rate, and the characteristic interval between the elements are sufficiently well reproduced. We demonstrate that simulated chorus spectra depend significantly on the coordinate along the geomagnetic field line, higher frequencies being observed downstream of the equator with respect to the electron motion and, correspondingly, upstream with respect to the whistler mode waves. This dependence is explained within the framework of the BWO model by the variation of energetic electron distribution function in the course of wave generation. The nonsymmetry of the frequency spectra allows one to expect a difference between the spectra of oppositely propagating waves measured away from the magnetic equator. THEMIS data, indeed show a difference in frequencies of oppositely propagating waves which can be attributed to the considered mechanism.

GROUND-BASED VLF MEASUREMENTS OF LIGHTNING-INDUCED SIGNALS USING THE LEMRA-L ANALYZER FOR THE LUNA-RESOURCE-ORBITA SPACECRAFT

I. Kolmasova¹, **O. Santolik**^{1,2}, **R. Lan**¹, **L. Uhlir**¹, **M.M. Mogilevski**³,
A. Skalsky³, **D. Chuginin**³

¹*Institute of Atmospheric Physics, CAS, Prague, Czech Republic, iko@ufa.cas.cz.*

²*Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic.*

³*SRI RAS, Moscow, Russian Federation.*

We present results of ground-based multidimensional VLF measurements of lightning-induced signals (combined with broadband HF measurements), which we have recorded in a favorable electromagnetic environment on the summit of La Grande Montagne (1028 m, 43.9410N, 5.4836E), Plateau d'Albion, France in 2012 and 2014. Waveforms of the vertical electric field and two horizontal components of the magnetic field have been measured by a ground-based version of the VLF/ELF analyzer LEMRA-L with a sampling interval of 20 μ s, which we are preparing for the LUNA-RESOURCE-ORBITA spacecraft (similar to the ELMAVAN instrument for the RESONANCE mission). The analyzer is coupled with a 10-cm spherical electric antenna located 2

m above ground and two 12-turn magnetic loop antennas of 4 m² with preamplifiers (E-W and S-N components).

LOW-FREQUENCY WAVE PROCESSES IN SPACE PLASMAS OF THE INNER MAGNETOSPHERE: PLANNING MEASUREMENTS OF THE RESONANCE MISSION BASED ON THE LATEST RESULTS

O. Santolik^{1,2}, I. Kolmasova¹, R. Lan¹, L. Uhlir¹, M.M. Mogilevski³, D. Chuginin³

¹*Institute of Atmospheric Physics, CAS, Prague, Czech Republic, os@ufa.cas.cz.*

²*Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic.*

³*SRI RAS, Moscow, Russia.*

Magnetospheric plasma wave emissions at frequencies up to the whistler-mode range attract increasing attention because of their influence on the dynamics of the Earth's radiation belts. The main aim of the four-spacecraft Resonance mission is to investigate properties of wave-particle interactions and plasma dynamics in the inner magnetosphere of the Earth with the focus on phenomena occurring within the same flux tube of the Earth's magnetic field. The Resonance project is managed by Roscosmos. It is planned to carry a comprehensive set of instruments for measurements of properties of the plasma medium, energetic particles and waves. This set includes the ELMAVAN instrument which is being prepared at the Institute of Atmospheric Physics in Prague. ELMAVAN will provide us with data on intensity, polarization, coherence, and propagation properties of waves in magnetospheric plasmas, as well as with long multidimensional waveform captures. These anticipated measurements represent an excellent opportunity for research on wave processes in space plasmas. The orbital coverage of the Resonance mission will be complementary to the currently operating two-spacecraft NASA Van Allen Probes mission and to the planned JAXA ERG mission. It is therefore probable that the synergy of these missions will contribute to our understanding of the Earth's Van Allen radiation belts and the inner magnetosphere.

СЕКЦИЯ «НИЗКОЧАСТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИРРЕГУЛЯРНЫХ P₁₃ ПУЛЬСАЦИЙ И ИХ СВЯЗИ С ПОТОКАМИ ЧАСТИЦ В МАГНИТОСФЕРЕ И ИОНОСФЕРЕ

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко²

¹ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, belakhov@mail.ru.

²ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия.

В данной работе мы исследовали иррегулярные пульсации P₁₃ типа, возбуждаемые как во время достаточно сильных изолированных суббурь, так и во время повторяющихся суббурь (sawtooth events), используя современные спутниковые (GOES, THEMIS) и наземные (CARISMA, THEMIS, NORSTAR) наблюдения. Данные пульсации наблюдались не только во время фазы роста суббури, как обычные P₁₂ пульсации, но в течение всего периода суббуревой активности. Максимальная амплитуда данных пульсаций наблюдается в авроральной зоне (~66° CGL). Лучше всего данные пульсации выражены в X-компоненте геомагнитного поля на Земле, что соответствует азимутальной геомагнитного поля на геостационарных спутниках GOES, а также на спутниках THEMIS, которые располагались в хвосте магнитосферы на расстоянии ~ 10 Re. С началом суббури наблюдается резкое увеличение потоков заряженных энергичных частиц по данным спутников GOES, THEMIS. Подобное увеличение наблюдается и в риометрическом поглощении по данным сети NORSTAR, и в интенсивности полярных сияний по данным камер всего неба THEMIS. Данные P₁₃ иррегулярные пульсации достаточно сильно модулируют потоки частиц в магнитосфере, риометрическое поглощение, интенсивность полярных сияний. Мы полагаем, что рассматриваемые P₁₃ пульсации имеют иную физическую природу, чем дневные Pc5 пульсации, занимающие тот же частотный диапазон. Данные P₁₃ пульсации могут возбуждаться за счет собственных колебаний хвоста магнитосферы.

ОТРАЖЕНИЕ ДИНАМИКИ КАСПА В НАЗЕМНЫХ МАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЯХ

В.Б. Белаховский¹, С.П. Савин², В.А. Пилипенко³, Л.А. Лежен²

¹ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, belakhov@mail.ru.

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ssavin@iki.rssi.ru.

³ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru.

Экспериментально исследовано влияние низкочастотных резонансов (0.2-10 мГц) на границе магнитосферы на флуктуации магнитного поля внутри магнитосферы, включая ионосферу. Продемонстрировано на данных динамического давления и потока плазмы со спутников CLUSTER, DOUBLE STAR, GEOTAIL, ACE, СПЕКТР-Р, WIND, THEMIS, а также GOES и арктических и антарктических полярных станций вблизи полярного каспа, что за счет доминирующей кинетической энергии солнечного ветра пограничные резонансы и их гармоники проникают внутрь магнитосферы и достигают ионосферы в области полярного каспа. Дискретные резонансы имеют близкие частоты, их разница, возможно, связана с эффектом Доплера, проявляющегося, в основном, в спутниковых измерениях в быстрых

потоках плазмы. Корреляция между флуктуациями динамического давления на границе магнитосферы и магнитными возмущениями в ионосфере достигает 50%. Это представляется значимым, поскольку большая корреляция ожидается только в случае магнитного сопряжения наземной станции и участка магнитопаузы, на который воздействуют плазменные струи, несущие основные возмущения и энергию. Частота проникающих резонансов достигает более низкочастотной области (менее 0.2 мГц), чем отмечалось в предыдущих исследованиях Pc5. Привлечение новых данных потока плазмы со СПЕКТРА-Р позволяет расширить диапазон сравнительного анализа до 0.02 мГц, что, однако, не позволяет сравнивать спутниковые данные с одной станцией в области каспа, хотя может быть полезным для глобальных магнитосферных возмущений (например, собственных колебаний геомагнитного хвоста).

ВОЗБУЖДЕНИЕ НАКЛОННЫХ ИОННО-АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ИОНОСФЕРЕ НЕОДНОРОДНЫМИ ПРОДОЛЬНЫМИ ТОКАМИ

**А.А. Ильясов¹, А.А. Чернышов¹, М.М. Могилевский¹,
И.В. Головчанская², Б.В. Козелов²**

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, asjosik@mail.ru.*

²*ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия.*

В работе исследуется возбуждение наклонных волн ионно-акустического типа в присутствии сдвига тока ионов и электронов, направленного вдоль однородного магнитного поля. Эта задача представляет интерес в связи с процессами в авроральной зоне, в которой часто встречаются неоднородности продольного тока, и рассматривалась ранее только в локальном приближении. Для изучения нелокальной неустойчивости, приводящей к генерации наклонных ионно-акустических волн, разработан численный алгоритм и проанализировано нелокальное дисперсионное уравнение при различных фоновых параметрах плазмы (отношение температуры ионов к температуре электронов, отношение продольного волнового числа к поперечному, гирорадиус ионов) и конфигурациях продольного тока и электрического поля. В численных расчетах использовались как экспериментальные спутниковые данные, так и модельные распределения электрического поля и продольного тока. Построены трехмерные графики, позволяющие лучше интерпретировать полученные результаты. Показано, что только неоднородности продольного тока могут возбуждать наклонные ионно-акустические волны. Продемонстрировано, что в отличие от электростатической ионно-циклотронной моды градиент продольного тока оказывает значительно большее влияние на возбуждение ионно-акустической волны.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ОНЧ ДИАПАЗОНА ПРИ МОДИФИКАЦИИ ИОНОСФЕРЫ МОЩНЫМ МОДУЛИРОВАННЫМ КВ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.В. Ларченко, Ю.В. Федоренко, С.В. Пильгаев

ПГИ, г. Анатиты, Россия, alexey.larchenko@gmail.com

В работе приводятся результаты наземных наблюдений излучения ионосферного источника, в результате воздействия на ионосферу мощным амплитудномодулированным КВ излучением стенда “EISCAT/Heating”, расположенного вблизи г. Тромсе (69° 35’ 00” N, 19°

12° 42' E). Эксперимент проводился с 17 по 26 октября 2014 г. КВ излучение проводилось в направлении магнитного зенита с частотами модуляции: 1016.98 Гц, 2016.54 Гц и 3016.59 Гц. Это воздействие вызвало модуляцию проводимости нижней ионосферы и образование низкочастотного ионосферного источника. Для решения задач, требующих проведения наземных наблюдений двух горизонтальных компонент магнитного и вертикальной компоненты электрического полей в СНЧ/ОНЧ диапазонах частот, в ПГИ был разработан и изготовлен трехкомпонентный СНЧ/ОНЧ приемник. Особенностью этого приемника является прецизионная (с максимальной ошибкой не более 1 мкс) привязка каждого отсчета цифровых данных к мировому времени. Для уменьшения помех применена гальваническая разделение—аналоговой и цифровой частей приемного устройства. Данный приемник разработан в двух вариантах: стационарном и мобильном, что позволяет применять их как в обсерваториях, так и полевых условиях. Во время проведения нагревного эксперимента регистрация генерируемого ионосферным источником излучения производилась тремя пространственно разнесенными СНЧ/ОНЧ приемниками: двумя стационарными и одним мобильным. Стационарные приемники были установлены в обсерватории ПГИ Ловозеро (67° 58' 31" N, 35° 4' 52" E) и на радиофизическом полигоне ПГИ Верхнетуломский (68° 35' 32" N, 31° 44' 58" E), а мобильный приемник - в районе г. Апатиты, в точке с координатами 67° 30' 38" N, 33° 29' 36" E. По данным измерений кроме плотности энергии сигнала от ионосферного источника в каждой точке были рассчитаны локальные параметры поля, такие как направления вектора Пойтинга и поляризация. Направление распространения энергии сигнала на всех частотах совпало с ожидаемым с отклонением не более 5 градусов. Поляризация горизонтального магнитного поля на частотах порядка 1016.98 Гц оказалась полностью линейной, на частоте 2016.54 Гц преимущественно эллиптической левой, а на частоте 3016.59 Гц так же, как и на частоте 1016.98 Гц, была близка к линейной. Этот факт дает возможность предположить, что распространение искусственного ОНЧ излучения на частотах 1016.98 и 3016.59 Гц, далеких от частоты поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера, происходит преимущественно на TEM/ТМ модах, а на частоте 2016.54 Гц, близкой к частоте поперечного резонанса, присутствует левополяризованная мода, хорошо отражающаяся на этой частоте от анизотропной верхней стенки волновода. Разности фаз сигналов ионосферного источника, зарегистрированных в трех пространственно разнесенных точках, значимо отклоняются от ожидаемых в рамках модели волноводного распространения. Мы предполагаем, что это связано с частичным распространением сигнала в ионосфере.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ НА СПУТНИКЕ DEMETER: СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

**Д.Л. Пасманик¹, А.Г. Демехов¹, М. Гайош², Ф. Немец^{2,3},
О. Сантолик³, М. Парро⁴**

¹*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, pdl@aurora.appl.sci-nnov.ru.*

²*Institute of Atmospheric Physics, AS of the Czech Republic, Prague, Czech Republic.*

³*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, Prague, Czech Republic.*

⁴*LPC2E/CNRS, Orléans, France.*

Работа посвящена сопоставлению наблюдательных данных о параметрах квазипериодических (QP) КНЧ/ОНЧ излучений, зарегистрированных на борту спутника DEMETER, с результатами теоретического анализа. Для статистического анализа использованы данные за шесть лет, среди которых были визуально отобраны события с QP излучениями с периодами более 10 секунд и полосой частот более 200 Гц. Отобранные

события наблюдались преимущественно на дневной части орбиты спутника во время спокойных геомагнитных условий, следующих за периодами повышенной геомагнитной активности. QR излучения наблюдаются в диапазоне частот от 500 Гц до 8 кГц и имели период повторения от 10 до 300 сек. Статистический анализ показал, что с ростом периода QR излучений наблюдается тенденция к уменьшению частотного дрейфа QR элементов, а также уменьшение интенсивности волн. В работе проведено численное моделирование QR излучений на основе теоретической модели проточного циклотронного мазера. Моделирование проводилось для широкого набора параметров системы (таких как концентрация холодной плазмы, *L*-оболочка источника, мощность источника энергичных частиц и др.). Результаты расчетов подтверждают основные тенденции зависимостей параметров QR излучений, полученные из статистического анализа экспериментальных данных. На основе сопоставления теоретических и экспериментальных указаны типичные диапазоны параметров источника QR излучений, наблюдаемых на спутнике DEMETER.

СОПРЯЖЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ ПРОТОНОВ НА НИЗКИХ ВЫСОТАХ И ЭМИЦ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ

Т.А. Попова, Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин

ПГИ КНЦ РАН, Россия.

Наблюдения ЭМИЦ волн на спутниках THEMIS, Cluster и Van Allen Probes сопоставлены с измерениями потоков энергичных протонов на низкоорбитальных спутниках NOAA POES и MetOp. Показано, что генерация ЭМИЦ волн в магнитосфере сопровождается высыпаниями энергичных протонов в сопряженной области. Это подтверждает гипотезу о том, что протонные высыпания в субавроральной области являются результатом ионно-циклотронной неустойчивости, и позволяют использовать наблюдения протонных высыпаний для мониторинга области этой неустойчивости в магнитосфере.

ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ОНЧ ПРИЕМНИК С ПРЕЦИЗИОННОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ С МИРОВЫМ ВРЕМЕНЕМ

**Ю.В. Федоренко, С.В. Пильгаев, С.А. Черноус, М.В. Филатов,
А.С. Никитенко, А.В. Ларченко, О.М. Лебедь**

ПГИ РАН, Мурманская обл., г. Апатиты, Россия, Yury.Fedorenko@gmail.com.

В работе описан многофункциональный цифровой ОНЧ приемник, предназначенный для регистрации двух горизонтальных магнитных и вертикальной электрической компонент поля ОНЧ излучений у земной поверхности в диапазоне частот от 100 Гц до 15 кГц. Отличительной его особенностью является прецизионная синхронизация каждого отсчета цифровых данных с мировым временем с максимальной ошибкой, не превышающей 1 мкс. Основным назначением приемника является анализ структуры поля ОНЧ волн в точке наблюдений и определение положения и динамики области выхода ОНЧ излучений к наземному наблюдателю для исследования ее связи с полярными сияниями. Он может быть использован как для определения положения области выхода по данным одной станции, так и для проведения триангуляционных измерений. Описаны результаты его применения для измерения разности фаз сигналов ОНЧ передатчиков в пространственно разнесенных точках. Начиная с ноября 2012 г., приемник был использован для исследования поляризации и углов прихода как естественных ОНЧ излучений, так и искусственных сигналов от ионосферного

источника, возникающего при модификации ионосферы мощным КВ излучением. В работе рассмотрены результаты его применения.

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВМЕСТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ И ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ

**С.А. Черноус, Ю.В. Федоренко, Б.В.Козелов, М.В. Филатов,
А.С. Никитенко**

ПГИ РАН, Мурманская обл., г. Апатиты, Россия, chernouss@pgia.ru.

В работе представлены аппаратура и методы измерения пространственно-временного распределения интенсивности пульсирующих полярных сияний. Уделяется внимание двум типам этих сияний: пульсирующим пятнам, которые по морфологическим признакам представляют собой отдельные импульсы интенсивности на замкнутой ограниченной площади ($d \sim 40$ km), и пульсирующим регулярно, вытянутым вдоль параллели поверхностям, представляющим скорее всего волновой процесс с периодом этих регулярных пульсаций. Оба эти типа связаны с ОНЧ излучениями и имеется ряд попыток их объяснения одним и тем же механизмом модуляции высыпаний. В то же время хорошо известен механизм работы проточного циклотронного мазера, в котором образование пульсирующих пятен рассматривается, как результат действия в магнитосфере двух неппульсирующих процессов, приводящих к автоколебаниям. В связи с этим представляется важным провести анализ структуры поля ОНЧ волн в точке наблюдений и определение положения и динамики области выхода ОНЧ излучений к наземному наблюдателю для исследования ее связи с пульсирующими полярными сияниями. Для определения положения области выхода по данным одной станции был использован трехкомпонентный приемник ОНЧ излучений, созданный в ПГИ для определения положения области выхода ОНЧ излучений. Приемник был использован для исследования поляризации и углов прихода как естественных ОНЧ излучений, так и искусственных сигналов от ионосферного источника, возникающего при модификации ионосферы мощным КВ излучением. В настоящей работе рассмотрены результаты его применения для определения местоположения пульсирующих полярных сияний.