



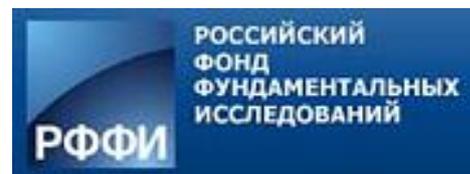
Одиннадцатая ежегодная конференция

**«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»**

15–19 февраля 2015г., ИКИ РАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

При поддержке:



г. Москва, 2016г.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ*

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Теория и наблюдения Солнца», устные доклады.....	4
Секция «Теория и наблюдения Солнца», стендовые доклады.....	30
Секция «Солнечный ветер и гелиосфера», устные доклады.....	43
Секция «Солнечный ветер и гелиосфера», стендовые доклады..	53
Секция «Ионосфера», устные доклады.....	61
Секция «Ионосфера», стендовые доклады.....	76
Секция «Магнитосфера», устные доклады.....	91
Секция «Магнитосфера», стендовые доклады.....	104
Секция «Теория космической плазмы», устные доклады.....	112
Секция «Теория космической плазмы», стендовые доклады.....	123
Секция «Теория и наблюдение токовых слоев», устные доклады.....	131
Секция «Теория и наблюдение токовых слоев», стендовые доклады.....	137
Секция «Турбулентность и хаос», устные доклады.....	139
Секция «Турбулентность и хаос», стендовые доклады.....	143
Секция «Научные задачи экспериментов по исследованию солнечно-земных связей на микро, нано и пико спутниках», устные доклады.....	144
Секция «Научные задачи экспериментов по исследованию солнечно-земных связей на микро, нано и пико спутниках», стендовые доклады.....	147
Секция «Практические аспекты науки космической погоды», устные доклады.....	149

Секция <i>«Практические аспекты науки космической погоды», стендовые доклады.....</i>	<i>162</i>
Секция <i>«Низкочастотные излучения в динамике радиационных поясов Земли», устные доклады.....</i>	<i>166</i>
Секция <i>«Низкочастотные излучения в динамике радиационных поясов Земли», стендовые доклады.....</i>	<i>174</i>
Секция <i>«Магнитосферно-ионосферные взаимодействия и авроральная динамика», устные доклады.....</i>	<i>175</i>
Секция <i>«Магнитосферно-ионосферные взаимодействия и авроральная динамика», стендовые доклады.....</i>	<i>183</i>
Секция <i>«Воздействие космических факторов на атмосферу и климат Земли», устные доклады.....</i>	<i>187</i>
Секция <i>«Воздействие космических факторов на атмосферу и климат Земли», стендовые доклады.....</i>	<i>200</i>
Секция <i>«Высокоэнергичные процессы в атмосфере Земли и их исследование космическими аппаратами», устные доклады.....</i>	<i>201</i>
Секция <i>«Высокоэнергичные процессы в атмосфере Земли и их исследование космическими аппаратами», стендовые доклады.....</i>	<i>210</i>
Секция <i>«Электродинамическое атмосферно-ионосферное взаимодействие», устные доклады.....</i>	<i>211</i>
Секция <i>«Электродинамическое атмосферно-ионосферное взаимодействие», стендовые доклады.....</i>	<i>222</i>

*Тексты приводятся в редакции авторов.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА ПЕРЕД БОЛЬШИМИ ВСПЫШКАМИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАТАН-600 И SDO

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

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

Продолжен цикл работ по исследованию связи эволюции микроволнового излучения и магнитографических характеристик активных областей (АО) Солнца перед большими вспышками (классов M5 и мощнее по GOES) с целью выявления признаков подготовки вспышек и развития их прогностических критериев. Представлено исследование ряда активных областей (АО) на Солнце, наблюдавшихся в 2010-2015 гг., на их предвспышечной стадии (в течение нескольких дней перед вспышками). Анализ проводился на основе ежедневных многоволновых многоазимутальных спектрально-поляризационных наблюдениях Солнца, выполненных на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне 1.6-8 см, и по данным космической обсерватории SDO. Для ряда эруптивных событий выявлены изменения перед большими вспышками в структуре микроволнового излучения АО и магнитного поля, которые, возможно, отражают накопление энергии в АО. В этих случаях установлено, что в результате всплывания нового магнитного поля противоположного знака полярности перед большой вспышкой развивался микроволновый источник над областью максимального градиента магнитного поля, изменение интенсивности которого со временем происходило подобно эволюции величины градиента магнитного поля в АО. В то же время, приведены примеры АО, в которых также происходили большие вспышки, однако перед вспышками заметных изменений в микроволновом излучении не было выявлено.

ИСТОЧНИКИ ГЕНЕРАЦИИ РАДИОВСПЛЕСКОВ II ТИПА

И.А. Биленко

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

Представлены результаты исследования радиовсплесков II типа (РВII) наблюдавшихся на космических аппаратах WIND и STEREO с 1995 по 2015 годы включительно. За это время наблюдалось порядка 20000 корональных выбросов массы (КВМ) сотни тысяч вспышек различных классов и только 654 РВII. Это свидетельствует о неоднозначной связи между вспышками, КВМ и РВII. 95% вспышек не сопровождалась РВII. Большинство РВII были связаны со вспышками класса M и, приблизительно одинаковое количество, примерно по 20%, были связаны со вспышками классов C и X. Полученные результаты свидетельствуют, что изменение числа наблюдавшихся РВII и их параметров не выявляют циклических вариаций хорошо известных из эволюции активных областей, пятен, чисел Вольфа. Найдена определенная зависимость частотности и параметров РВII от структуры и напряженности глобального магнитного поля Солнца. Состояние структуры глобального магнитного поля является одним из важных факторов определяющим условия в атмосфере Солнца, которые

могут быть благоприятны или не благоприятны формированию РВП. В зависимости от значения наблюдаемой частоты окончания всплеска, РВП могут быть разделены на две группы. С учетом значения напряженности глобального магнитного поля, РВП этих групп подразделяются на три подгруппы. Эти популяции характеризуются различным поведением на разных фазах солнечного цикла и разной взаимозависимостью параметров отдельных всплесков. Все взаимозависимости между параметрами всплесков имеют нелинейный характер. Не существует однозначной связи между ними. Рассмотрены параметры плазмы в областях генерации РВП различных типов. Показано, что разные группы РВП генерируются при совершенно различных условиях состояния плазмы. Это служит свидетельством того, что механизмы генерации РВП разных типов могут быть различны. Полученные закономерности сопоставлены с существующими моделями генерации РВП.

ДИНАМИКА ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА И КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР В 21 – 24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.А. Биленко¹, К.С. Тавастшерна²

¹ ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, bilenko@sai.msu.ru;

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

Корональные дыры – это области пониженного излучения в крайнем ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах в солнечной короне. Изучение корональных дыр имеет важное значение ввиду их определяющей роли в формировании космической погоды на орбите Земли и их влияния на геомагнитную активность. Поскольку корональные дыры локализируются в областях с выраженным доминированием одной из полярностей магнитного поля, то изменения в их распределении по диску Солнца является трассером эволюционных изменений солнечных магнитных полей. В данной работе рассмотрены и сопоставлены пространственно-временные распределения корональных дыр и глобального магнитного поля Солнца на фазах роста, максимума и спада 21 – 24 циклов солнечной активности. Выделены различные популяции корональных дыр и показаны различия в их динамике. Детально исследованы закономерности формирования корональных дыр связанных с различными структурами глобального магнитного поля, как на разных фазах отдельных циклов, так и для разных циклов в целом. Выявлена зависимость распределения и параметров корональных дыр от структурной организации глобального магнитного поля Солнца. Рассмотрены периоды реорганизации глобального магнитного поля и соответствующей реорганизации распределения корональных дыр. По динамике широтно-долготных распределений корональных дыр и глобального магнитного поля исследованы закономерности и различия смены знаков полярных магнитных полей в 21 – 24 циклах.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОСФЕР АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ МЕТОДАМИ РАДИОАСТРОНОМИИ

**В.М. Богод, Т.И. Кальтман, Н.Г. Петерова,
Л.В. Яснов**

САО СПб г. Санкт-Петербургский, Россия.

На основании детальных исследований структуры активных областей в 90-х годах была предложена концепция магнитосферы активной области. В нее входят практически все известные структуры, присутствующие в активной области - от радиогрануляции до шумовых бурь, излучение которых проявляется на радиоволнах. В связи с расширением диапазона волн и введением новых инструментов и современных возможностей моделирования предполагается провести анализ их физических свойств и дать оценку магнитного поля на всех уровнях атмосферы над пятнами. Оцениваются особенности и характеристики переходной области от S-компоненты к В-компоненте. *Lang K.R., Willson R.F., Kile J.N., Lemen J., Strong K.T., Bogod V.M., Gelfreikh G.B., Ryabov B.I., Hafizov S.R., Abramov - Maximov B.E., Tsvetkov S.V.: Magnetospheres of solar active regions inferred from spectral-polarization observations with high spatial resolution; 1993, Astrophysical Journal, Dec.10, 419, pp. 398-417.*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ 2014 ГОДА НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ»

**А.В. Богомолов¹, И.Н. Мягкова¹, М.И. Панасюк^{1,2},
С.И. Свертилов^{1,2}, В.В. Богомолов^{1,2}, Е.А. Кузнецова²**

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына,
г. Москва, Россия, *aabboogg@rambler.ru*;

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

Аппаратура РЕЛЭЖ, установленная на КА «Вернов», включала в себя детекторы ДРГЭ-1 и ДРГЭ-2, собранные на основе сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl) и CsI(Tl), способные регистрировать рентгеновское и гамма-излучение с высоким временным разрешением. С их помощью во время солнечной вспышки класса C7, произошедшей 24 сентября 2014 в активной области 2172 (начало 17:45, максимум 17:50, конец 17:52 по мягкому рентгеновскому излучению) в ~17:49 по мировому времени (UT) в течение десятков секунд были зафиксированы квазипериодические колебания жёсткого рентгеновского излучения вплоть до энергий >100 кэВ. По мере развития вспышки спектр рентгеновского излучения существенно не изменялся. На следующем обороте Солнца, 16 октября 2014 в той же активной области, которой на данном обороте был присвоен номер 2192, во время вспышки класса M4.3 (12:58 – 13:03 – 13:05) в ~13:01 UT также было зафиксировано жёсткое рентгеновское излучение, имевшее временную структуру, аналогичную зафиксированной 24 сентября. Было проведено сравнение данные РЕЛЭЖ с данными других КА (RHESSI, Konus-Wind), а также с микроволновым излучением 15.4 ГГц и 245 МГц. И микроволновое излучение, и данные Konus-Wind также демонстрируют наличие в этих вспышках квазипериодических колебаний интенсивности излучения.

ТЕЧЕНИЯ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В РАСТУЩЕЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТ ОКАЙМЛЕНИЯ

А.В. Гетлинг, Р. Исикава, А.А. Бучнев

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

Выполнен качественный анализ полновекторных данных о магнитном поле и поле скоростей в растущей группе пятен. Одновременные измерения этих полей в молодой биполярной подобласти, развивающейся внутри АО 11313, были проведены 9-10 октября 2011-г. с помощью солнечного оптического телескопа на КА Хиноде. Наша цель состояла в поиске ответа на вопрос, насколько согласуется с реальностью картина, предсказываемая на основе известной модели всплывающей трубки сильного магнитного поля. Магнитограммы показывают, что распределения вертикальной, B_v , и горизонтальной, B_h , компоненты магнитного поля по площади магнитной подобласти пространственно скоррелированы. Напротив, подъем петли трубки магнитного потока привел бы к качественно иной картине, с пространственно разнесенными максимумами этих двух компонент магнитного поля: вертикальное поле было бы наиболее сильным в местах образования головного и хвостового пятна, тогда как напряженность горизонтального поля достигала бы максимума между ними. Найдена характерная особенность картины, которую мы назвали эффектом окаймления: некоторые локальные экстремумы B_v окаймлены областями локально усиленного B_h . Это указывает на фонтанообразную структуру магнитного поля вблизи экстремумов B_v , которая также едва ли согласуется со сценарием выхода петли силовой трубки. В поле вертикальных скоростей в развивающейся активной подобласти не выявляется восходящего течения в масштабе всей подобласти, какого следовало бы ожидать в случае всплывания трубки. Таким образом, наши наблюдательные данные не поддаются интерпретации с позиций модели всплывающей трубки.

НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИГМОИДА

**И.Ю. Григорьева, М.А. Лившиц, И.И. Мышьяков,
Г.В. Руденко**

*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;
ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия;
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Мы представляем анализ вспышечного события M5.7 GOES-класса, произошедшего 10 мая 2012 года в активной области (АО) NOAA 11476. Мы обнаружили изменение знака сигнала по LOS-магнитограммам (SDO/HMI), свидетельствующее о всплытии нового магнитного поля. Этот эффект произошел в тени небольшого пятна на границе с его полутенью. Он возник одновременно с одним из всплесков жесткого рентгеновского излучения (в 04:16:15 UT, RHESSI), более жестким, чем предыдущий, произошедший на 45 секунд ранее. По векторной магнитограмме в фотосфере (в 04:12 UT, SDO/HMI) были рассчитаны поле и токи на различных высотах в рассматриваемой АО в нелинейном бессиловом приближении (NLFF) с помощью оптимизационного метода. Ход силовых линий и форма источника в диапазоне 171 Å (SDO/AIA) надежно выявляют структуру типа «сигмоид». В данном случае зарегистрирован начальный момент формирования этой структуры, которая затем отчетливо была видна, например, в диапазоне 171 Å. Отличительная черта этого события состоит в том, что оно произошло в низкой петле, укорененной в тени пятна. Подобное событие 17 февраля 2013 года, рассмотрено в работе

И.Н. Шарыкина и др. (*I.N. Sharykin, A.G. Kosovichev, I.V. Zimovets. Energy Release and Initiation of Sunquake in C-class Flare, arXiv:1405.5912v2, 2015*). Там также одновременно регистрировались и всплытие поля и жесткий рентгеновский всплеск. Источник выделения энергии, и соответственно область зарождения возникшей позже EUV-волны, оказались над нейтральной линией на удалении от пятна, в противоположном основании рентгеновской петли. Возможно, что для формирования такой волны существенным является поведение магнитного поля в месте импульсного энерговыделения.

О РЕНТГЕНОВСКОМ И МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ: ВЫСОКОТОЧНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ

П.А. Грицык, Б.В. Сомов

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

Белая вспышка класса M7.7 19 июля 2012 г. в 05:58 UT на краю солнечного диска наблюдалась бортовыми инструментами спутников *RHESSI*, *GOES*, *SDO*, с высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Наблюдения в микроволновом диапазоне получены наземными инструментами *NoRP* и *NoRH*. Отличительная особенность вспышки – ее расположение в картинной плоскости, что обеспечивает почти полное отсутствие эффектов наложения при наблюдении разнесенных в пространстве источников излучения. В жестком рентгеновском диапазоне видны корональный и оба хромосферных источника в основаниях вспышечной петли, а сама петля наблюдалась, как в оптическом, так и в микроволновом диапазонах. Для объяснения наблюдений во всем электромагнитном спектре мы применяем аккуратную аналитическую модель поведения быстрых электронов во вспышке. Источники жесткого рентгеновского излучения в основании вспышечной петли интерпретируются в приближении толстой мишени с обратным током, а корональный источник – в приближении тонкой мишени. Рассчитан также спектр микроволнового излучения в диапазоне 1-50 ГГц. Полученные оценки с высокой степенью точности согласуются с результатами наблюдений. В частности, такие важные наблюдательные параметры, как показатели наклона рентгеновских спектров. Однако, оценка интенсивности излучения коронального источника в несколько раз ниже наблюдаемой. Нам удается устранить это противоречие путем учета эффекта ускорения быстрых электронов в коллапсирующей магнитной ловушке: быстрые электроны получают дополнительную энергию, а показатель наклона их спектра не меняется. В результате мы получили оценку плотности потока энергии, переносимой электронами с энергиями выше 15 кэВ, $\sim 5 \cdot 10^{10}$ эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$, что в ~ 5 раз превышает значения, характерные для классической модели толстой мишени без обратного тока. Поток нетепловых электронов в хромосферу обеспечивает эффективный нагрев холодной плазмы, а наличие электрического поля обратного тока уменьшает глубину проникания в мишень. Подобного рода оценки могут служить основой для описания столь сложного процесса в хромосфере, как формирование и эволюция источника оптического излучения вспышки.

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ БЫСТРЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ МИКРОВСПЫШЕК В ХРОМОСФЕРЕ СОЛНЦА

Ю.В. Думин^{1,2}, Б.В. Сомов¹

¹ ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Анализ наблюдений спутника *Hinode* в хромосферной линии CaII выявляет наличие интересного типа микровспышек – относительно слабых по энерговыделению, но охватывающих значительные площади. Они возникают вблизи групп солнечных пятен переменной полярности; и их наиболее важной отличительной чертой является то, что развитие микровспышки начинается с одной протяженной, ярко вспыхивающей дуги, которая затем расширяется в пространстве и постепенно затухает. Нами предлагается интерпретация данного явления на основе модели “топологического триггера”, где при определенной конфигурации магнитных источников (солнечных пятен) возможно возникновение дополнительной нулевой точки магнитного поля над поверхностью источников (т.е., над фотосферой); причем эта нулевая точка испытывает значительное перемещение в пространстве при сравнительно небольшом смещении источников. Поскольку нулевая точка является местом, наиболее благоприятным для инициирования магнитного пересоединения (и сопутствующего энерговыделения), то быстрое перемещение нулевой точки в области “топологической неустойчивости” вызывает развитие магнитного пересоединения вдоль траектории ее движения, которая и наблюдается в линии CaII как узкая, ярко светящаяся дуга. В докладе будут продемонстрированы результаты численного моделирования глобальной перестройки магнитного поля и возникновения “быстрой” нулевой точки, обусловленные эффектом “топологического триггера”, а также приведены примеры наблюдаемых микровспышек, которые можно было бы объяснить этим явлением.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПОКОЙНОГО ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ МЕЖДУ КОРОНОЙ И ХРОМОСФЕРОЙ СОЛНЦА

О.В. Дунин-Барковская, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, olga.ptitsyna@gmail.com.

Работа посвящена исследованию физических свойств спокойного переходного слоя между короной и хромосферой Солнца – области, в которой происходит резкий перепад температур от $\sim 10^4$ К на верхней границе хромосферы до $\sim 10^6$ К в короне. Структура атмосферы Солнца над фотосферой определяется взаимодействием магнитных полей. Магнитные поля концентрируются в тонкие трубки, внутри которых велика напряженность магнитного поля. Заряженные частицы в основном следуют вдоль линий магнитного поля, следовательно, перенос энергии осуществляется преимущественно вдоль магнитных трубок. Исследовано, как в зависимости от скорости и концентрации плазмы на хромосферной границе переходного слоя меняются распределения температуры, концентрации и скорости в магнитной трубке один конец которой находится в хромосфере, а другой – в короне. Рассмотрены два предельных случая: горизонтально и вертикально расположенная магнитная трубка. Определены диапазоны скоростей плазмы на хромосферной границе, для которых: (а) возможно возбуждение ударных волн в переходном слое, (б) процесс нагрева плазмы в переходном слое близок к режиму $p = \text{const}$, а рассчитанное жесткое ультрафиолетовое (EUV) излучение хорошо согласуется с современными спутниковыми наблюдениями. В целом в работе показано, что перенос энергии в спокойном переходном

слое может быть описан в приближении классической электронной столкновительной теплопроводности.

О ВАРИАЦИЯХ ФОТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ ПО ДАННЫМ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЯ ИНСТРУМЕНТОМ SDO/HMI

Я.И. Егоров, В.Г. Файнштейн, Г.В Руденко,
С.А. Анфиногентов

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

Изучены временные вариации модуля и радиальной компоненты магнитной индукции, а также углов наклона силовых линий поля к радиальному направлению в области солнечной вспышки 7 июня 2011 г., произошедшей в активной области NOAA 11238. Показано, что непосредственно перед началом вспышки в месте ее будущей центральной части образуется относительно однородная область пониженных значений модуля магнитной индукции, протянувшаяся приблизительно вдоль будущих лент вспышки и с нейтральной линией магнитного поля посередине. После начала вспышки в течение примерно 40 минут в этой области увеличиваются модуль магнитной индукции, поперечная компонента поля и, одновременно, возрастают углы наклона силовых линий поля к радиальному направлению из центра Солнца примерно на 25-30 градусов, а также меняется азимутальный угол. В дальнейшем повышенные значения этих характеристик магнитного поля наблюдаются в течение нескольких часов. Качественно этот результат согласуется с выводами работы (Petrie and Sudol, 2010), в которой увеличение поперечной компоненты поля и углов наклона силовых линий предсказывался на основании косвенных наблюдений. Показано, что все обнаруженные после начала вспышки возмущения характеристик магнитного поля становятся очень маленькими или исчезают в областях с большими значениями магнитного поля по обе стороны от нейтральной линии поля.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ И ПЛОЩАДИ ТЕНИ ВЕДУЩИХ И ЗАМЫКАЮЩИХ ПЯТЕН С РАЗЛИЧНОЙ АСИММЕТРИЕЙ СВЯЗЫВАЮЩЕГО ИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Ю.С. Загайнова¹, В.Г. Файнштейн², В.Н. Обридко¹,
В.Г. Руденко², С.А. Анфиногентов²

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

² *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Сопоставлены магнитные свойства и площади тени магнитно-связанных ведущих и замыкающих пятен двух типов: в одних парах угол наклона силовых линий поля к радиальному направлению из центра Солнца больше в ведущем пятне по сравнению с замыкающим, и, наоборот, в других парах угол наклона линий поля больше в замыкающих пятнах. В качестве характеристик угла наклона линий поля использовались минимальный и средний в пределах тени угол: $\alpha_{\min L,F}$ и $\langle \alpha_{L,F} \rangle$ (индексы 'L' и 'F' относятся, соответственно, к ведущим и замыкающим пятнам). В качестве магнитных характеристик пятен использовались максимум магнитной индукции в тени пятна $B_{\max-L,F}$ и среднее значение поля $\langle B_{L,F} \rangle$. Показано, что с ростом площади тени S как ведущих, так и замыкающих пятен в обеих группах пятен с разной асимметрией магнитного поля, связывающего пятна, значения

$V_{\max-L,F}$ и $\langle V_{L,F} \rangle$ возрастают, а углы $\alpha_{\min L,F}$ и $\langle \alpha_{L,F} \rangle$ уменьшаются. Соответственно, с увеличением $\alpha_{\min L,F}$ и $\langle \alpha_{L,F} \rangle$ магнитное поле, в среднем, в тени пятна уменьшается. В тоже время в деталях все рассмотренные зависимости для ведущих и замыкающих пятен различаются для пятен с разной асимметрией связывающего их магнитного поля. Исследованы особенности расположения нейтральной линии магнитного поля в группе пятен между ведущими и замыкающими пятнами для групп пятен с разным характером асимметрии, связывающего их магнитного поля.

СВЯЗЬ ВСПЫШЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ НА ФОТОСФЕРЕ

И.В. Зимовец^{1,2,3}, И.Н. Шарыкин¹

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

² National Key Laboratory of Space Weather, NSSC, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China;

³ International Space Science Institute, Beijing, China.

Имеются основания полагать, что первичное энерговыделение и ускорение электронов, по крайней мере в некоторых солнечных вспышках, могут происходить в хромосферных подножиях магнитных трубок с сильными продольными электрическими токами, а не в корональных источниках. Представлены результаты исследования взаиморасположения источников жесткого рентгеновского (ЖР) излучения (>50 кэВ), детектированных RHESSI в 15 вспышках, и вертикальных электрических токов в родительских активных областях, рассчитанных с помощью векторных фотосферных магнитограмм HMI/SDO. Установлено, что во всех проанализированных вспышках имелся по крайней мере один ЖР источник, располагавшийся в области сильных электрических токов – в пределах 10% – 90% от максимального значения токов во всей активной области. Интегральное значение вертикальных токов (одного знака), протекающих через каждый такой ЖР источник, варьировалось в диапазоне 10^{11} – 10^{12} А. Показано, что в каждой активной области также имелись другие участки с электрическими токами сопоставимой или даже большей величины, но в которых не наблюдались ЖР источники. Данные результаты указывают на наличие связи между сильными электрическими токами и вспышечными источниками энерговыделения. Данная связь пока не является очевидной. Возможно, наличие сильных вертикальных токов можно рассматривать как необходимое (но не достаточное) условие для генерации ЖР источников во вспышках. Подчеркивается, что данная работа должна быть продолжена и расширена, в частности, для увеличения выборки событий и поиска достаточного условия.

СЮРПРИЗЫ ПРОДОЛЖАЮТСЯ: 7 ЛЕТ РАЗВИТИЯ ТЕКУЩЕГО 24 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА И ПРОГНОЗ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭВОЛЮЦИИ

В.Н. Ишков

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

В апреле 2014 г. развитие текущего солнечного цикла (СЦ) прошло точку максимума ($W^*=116.2 - 81.9$), и вошло в ветвь спада. Продолжительность ветви роста составила 54 мес., что стало рекордом для циклов достоверного ряда. Фаза максимума развивается по схеме типичной для низких (12, 14, 16) солнечных циклов, основными особенностями которых являются многовершинность и последующие, всё уменьшающиеся, пики после чётко выраженного максимума. Ветвь спада началась с быстрого падения значений W^* , однако в последние месяцы это падение сильно замедлилось и существует большая вероятность, что до конца 2016 г. выйдет на ещё один максимум, меньший, чем в апреле 2014 г., но вполне значимый. Наиболее похожая ситуация складывалась в 16 солнечном цикле, в котором такая картина уже осуществилась. По сценарию цикличности для достоверных солнечных циклов 24 цикл открывает вторую эпоху «пониженной» солнечной активности, которая перекроет всю первую половину XXI века. Основной особенностью такой эпохи (5 СЦ) - запрет на осуществление высоких солнечных циклов и неперемное выполнение правила Гневывшева-Оля, по которому следующий 25 цикл солнечной активности будет средней величины. Начавшийся в декабре 2008 г. после глубокого и длительного минимума, текущий СЦ развивается как цикл низкой величины. Достаточно необычным стал и процесс переполусовки в текущем цикле: если в южном полушарии этот процесс завершился ещё в середине 2013 г., то в северном только в конце 2014 г. а северная приполярная корональная дыра впервые отмечена лишь в мае 2015. Если с начала цикла до начала 2013 г. асимметрия появления активных областей была в пользу Северного полушария и первый максимум обеспечили большие группы Северного полушария, то с начала 2013г. и основной максимум цикла обеспечили группы пятен Южного полушария Солнца. Темп развития вспышечной активности и её величина существенно ниже, чем в предыдущих 5 солнечных циклах, входивших в эпоху "повышенной" (18 – 22 СЦ) СА и переходного периода (22 – 23 СЦ). До января 2016 г. на Солнце осуществилось не менее 688 вспышек рентгеновского балла М, 45 вспышек балла Х, из которых 118 больших, причём 24 вспышки балла Х осуществилось в Южном полушарии. Геоэффективность солнечных вспышечных явлений и корональных дыр остаётся аномально низкой, но уже заметно восстанавливается. За 7 лет зарегистрировано лишь 4 большие магнитные бури ($A_p \geq 70$), две из которых самые мощные в цикле осуществились в 2015 г 17.03 ($A_p=117$ nT, $Dst=-223$ nT) и 22 – 23.06 ($A_p=83$ nT, $Dst=-195$ nT). За этот же период в околоземном космическом пространстве зарегистрировано 4 больших солнечных протонных событий ($E_{pr} > 10$ MeV) с потоком протонов больше 1000 pfu. Вероятная длительность ветви спада текущего цикла – 6 лет, самого цикла – 11.8 г.

МИКРОВОЛНОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ФЛОККУЛОВ И КОРОНАЛЬНЫХ АРКАД

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

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

Известно, что флоккулы (plages) располагаются в хромосфере и нижней короне над факельными площадками и имеют размеры по вертикали в тысячи и сотни тысяч километров. В работе приводятся их наблюдательные характеристики в микроволновом диапазоне по наблюдениям на РАТАН-600 с 1.7 до 10 см: спектры излучения, степень поляризации, яркостные температуры и размеры. Это широкие источники (размером с активную область) тепловой тормозной природы с некоторой существенной и постоянной нетепловой добавкой. Сопоставление с данными SDO показывает, что в хромосфере они наблюдаются над кальциевыми уярчениями вокруг пятен, а на корональных высотах их положение совпадает с корональными аркадами. Приводятся результаты микроволновых измерений высоты на лимбах до сотен тысяч километров. Обсуждается роль флоккулов в магнитосфере активных областей, моделируется их излучение и оценивается поглощение в них нижерасположенного циклотронного излучения пятенных источников. Обсуждается величина вклада нетеплового излучения и его возможное происхождение, структурирование и распределение плотности тепловых электронов.

СОЛНЕЧНЫЕ ВОЛОКНА КАК ХАРАКТЕРИСТИКА СПИРАЛЬНОСТИ КРУПНО-МАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

К.М. Кузанын¹, А.Г. Тлатов², В.В. Васильева²

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

² *Кисловодская ГАО РАН, Россия, tlatov@mail.ru.*

Спиральность магнитного поля на Солнце является дополнительной топологической характеристикой, знание которой дополняет его энергетическое описание на основе цикла солнечных пятен. Ранее в совместных работах с китайскими коллегами была получена новая картина солнечного цикла с учетом как динамики магнитного поля, так и токовой спиральности, меры закрутки самого поля. Помимо цикла пятен систематически наблюдаются крупномасштабные магнитные поля. Однако систематические изучения спиральности крупномасштабного магнитного поля почти отсутствуют в силу ряда трудностей ее непосредственного наблюдения. В настоящей работе мы изучаем глобальную структуру солнечного магнитного поля, проявляющуюся в топологии магнитных нейтральных линий. В качестве наблюдательного трассера мы используем солнечные волокна, которые мы выделили по оцифрованным синоптическим картам H-альфа, полученных в обсерваториях Медон и Кисловодской ГАС ГАО РАН за период с 1919 по настоящее время. Мы показали, что составленный нами сводный ряд данных по волокнам систематичен, и может быть использован в качестве единой меры солнечного цикла на протяжении столетнего периода наблюдений. Для каждого волокна мы определили его средний наклон, и показали, что по наклону волокон можно судить как об экваториальной, так и о полярной ветвях солнечного цикла. Мы также выделили три типа волокон в зависимости от их широтного расположения и наклона: волокна активных областей, диффузных магнитных образований и полярные волокна. Важность данного исследования в том, что вновь полученный трассер солнечного цикла (в отличии, скажем, от солнечных пятен) охватывает все широты. В дальнейшем исследовании мы выделили кривизну волокон

как количественную меру закрутки крупномасштабных магнитных полей, и изучили поведение ее в цикле активности, а также распределение по широтам. Мы указываем на связь закрутки солнечных волокон и крупномасштабной спиральности солнечных магнитных полей. Мы показываем, как вновь полученные количественные характеристики дополняют общую картину солнечного цикла с учетом изменения спиральности. В перспективе получение регулярных данных полно-дисковых наблюдений векторного магнитного поля открывает возможности более глубокого связи статистики солнечных волокон с глобальной динамикой и структурой крупномасштабных магнитных полей.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ДИНАМИКА ИСТОЧНИКОВ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ПУЛЬСАЦИЙ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

**С.А. Кузнецов¹, И.В. Зимовец², А.С. Моргачев¹,
А.Б. Струминский²**

¹ *ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, kuznetsov.sergey.a@yandex.ru;*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

В данной работе представлены результаты анализа динамики источников жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) солнечных вспышек с явными квазипериодическими пульсациями наблюдаемого излучения с целью выяснения природы этих пульсаций, и, как следствие, наложения ограничений на механизмы и модели ускорения электронов в солнечных вспышках. Основным результатом работы является тот наблюдательный факт, что во всех солнечных вспышках, регистрируемых КА RHESSI, динамика источников ЖРИ имеет сильно нестационарный характер. Всего из 142 событий, наблюдавшихся RHESSI в период с 2002г. по 2015г., отобрано и проанализировано 25 дисковых событий. В результате анализа наблюдательных данных по характеру динамики движения источников все события разделены на два класса. Первый класс составляют события с относительно простой динамикой движения источников по отношению к линии инверсии магнитного поля (ЛИМП), имеющей простую конфигурацию. Второй класс состоит из событий, имеющих хаотическую динамику движения источников ЖРИ и довольно сложную конфигурацию ЛИМП. Представлены оценки количественных характеристик источников ЖРИ (расстояние между источниками, продольная и поперечная компоненты расстояния между источниками по отношению к ЛИМП), также имеющие нестационарный характер. Сделано предположение о том, что причиной возникновения КПП может быть последовательное вовлечение во вспышечный процесс новых вспышечных петель магнитной аркады.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВСПЫШЕЧНОЙ КОРОНАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ (ОТ РЕСИК/КОРОНАС-Ф К ХЕМИКС/ИНТЕРГЕЛИОЗОНД)

Б. Сильвестр¹, Я. Сильвестер¹, В.Д. Кузнецов²

¹ ЦКИ ПАН, Россия;

² ИЗМИРП им. Н.В.Пушкова РАН, Россия, kvd@izmiran.ru.

Приводятся результаты рентгеновской диагностики вспышечной корональной плазмы по данным наблюдений в диапазоне 3.3-6.1 Å Брегговским спектрометром РЕСИК спутника КОРОНАС-Ф. На основе анализа линейчатых рентгеновских спектров вспышечной плазмы определено содержание в солнечной короне ряда элементов (калия, аргона, хлора, серы, кремния, алюминия), сильные линии излучения которых наблюдались в изученных спектрах. Наблюдавшийся в спектрах солнечных вспышек прибором РЕСИК избыток излучения в спектральной области энергии 3.5 кэВ, связанный с повышенным по сравнению с фотосферой содержанием в горячей вспышечной плазме многократно ионизованного калия, может объяснить природу наблюдаемого избытка излучения в диапазоне энергии 3.5 кэВ в спектрах некоторых скоплений галактик, а также в Галактике Андромеды, который связывают с темной материей. Дается описание эксперимента с рентгеновским спектрометром ХЕМИКС в миссии Интергелиозонд.

ТДА-ДИАГНОСТИКА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА

**Н.Г. Макаренко, И.С. Князева, Ф.А. Уртъев,
Д.М. Волобуев**

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

Топологическим анализом данных (ТДА) называют новую, «компьютерную» ветвь алгебраической топологии. Она оперирует непосредственно с экспериментальными данными, которые рассматриваются в общем случае, как «облако точек». Облако может быть конечным множеством точек, выбранных случайно на поверхности гладкого многообразия. В этом случае, можно «восстановить» неизвестную геометрию объекта – носителя, вычисляя топологические инварианты покрытия – числа Бетти. Для этого используют структуры, построенных непосредственно в облаке. Они получаются, если снабдить каждую точку шаровой окрестностью. Меняя одновременно радиусы всех шаров, соединим две точки ребром, если их окрестности пересекаются. Общему пересечению трех шаров будет соответствовать грань. Такое построение называют фильтрацией. В результате, возникнет единственная компонента связности – общая грань. Однако, в процессе фильтрации каждому значению радиуса, будет соответствовать определенное число компонент связности (число Бетти-0), и «дыр» - (число Бетти-1). Время жизни любого из этих свойств называют его *персистентностью* и измеряют ее интервалом значений радиусов, от появления свойства, до его исчезновения. Таким образом, фильтрация отслеживает локальную структуру облака на всех масштабах. В нашем случае, для HMI/SDO магнитограмм, облако точек образуют значения плотности магнитного потока в пикселях изображения. Для построения фильтрации, упорядочим значения плотности по возрастанию и используем вместо расстояния, высоту уровня отсчета. Для двух последовательных значений уровня мы получим вложенные друг в друга множества подинтервалов - прообразов поля, т.е. множеств пикселей, соответствующих выбранному уровню. Будем подсчитывать число компонент связности и дыр на координатной плоскости, при увеличении уровня. В случае гауссовского

поля, эти числа будут быстро убывать с значением потока от максимума вблизи нуля. Грубо говоря, это соответствует «затоплению» водой некоторого умеренного ландшафта, в котором глубина впадин приблизительно равна высоте холмов и крутизна склонов не зависит от высоты (глубины). Совсем иной будет картина для перемежаемого поля, с уединенными высокими пиками, разделенными плато. Известно, что число Бетти-0 измеряет плотность максимумов и минимумов поля, а Бетти-1 – число «перевалов», т.е. седловых точек. Таким образом, распределение чисел Бетти по уровням будет инвариантной мультимасштабной характеристикой случайного поля и его корреляционной структуры. На языке теории Морса, фильтрация отслеживает изменение критических точек поля с уровнем. Каждый минимум порождает компоненту связности, а следующий по порядку максимум, убивает ее. Пересечение уровнем седловой точки, увеличивает на единицу число компонент связности. Большие флуктуации поля соответствуют большой персистентности свойств, а малые флуктуации быстро убиваются. Мы исследовали распределения чисел Бетти для выборки HMI/SDO магнитограмм вспышечно активных областей, за 24 часа до возникновения большой вспышки. Результаты показали, что максимум для чисел Бетти-1 был всегда выше максимума для числа компонент. Ассиметрия может быть интерпретирована как увеличение числа седловых точек поля. Отмеченный эффект отсутствует для спокойных АО, с вспышками класса < M. В рамках дискретной теории Морса, мы вычислили также, для магнитограмм АО, так называемые слабые лапласианы и обнаружили, что максимумы кривизны в окрестности нейтральной линии, значительно выше для АО с большими вспышками. Эффект проявляется приблизительно за сутки до события.

АНАЛИЗ ВОЗРАСТАНИЯ ПОТОКА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНО-ПРОТОННОГО СОБЫТИЯ 5-6 ДЕКАБРЯ 2006 г.

**В.С. Махмутов, Г.А. Базилевская, Ю.И. Стожков,
Ж.-П. Ролан**

*ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, makhmutv@sci.lebedev.ru;
Университет Маккензи, CRAAM, г. Сан Пауло, Бразилия.*

В 2006 г. в Астрономическом комплексе КАСЛЕО (Аргентина), в рамках международного сотрудничества ФИАН-КРААМ-КАСЛЕО были начаты измерения потоков космических лучей наземным детектором КОБЕР (CARPET). Анализ полученных экспериментальных данных позволил выявить особый ряд возрастных космических лучей во время солнечных вспышек 2011-2013 гг. (7 и 8 марта 2011 г., 23 и 27 января 2012 г., 15 октября и 19 ноября 2013 г.). Дополнительный ретроспективный анализ данных выявил возрастание 5-6 декабря 2006 г., относящееся к этому ряду. В докладе представлены основные характеристики данного класса необычных событий. А также обсуждается возможная связь этих возрастных с солнечно-протонными событиями.

НАПРАВЛЕННОСТЬ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

В.Ф. Мельников¹, Ю.Е. Чариков², И.В. Кудрявцев²

¹ ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия;

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

Проведено численное моделирование направленности жесткого рентгеновского (ЖРИ) и гамма-излучения солнечных вспышек, генерируемого в различных частях вспышечной петли, на основе решения кинетического уравнения для релятивистских электронов, длительно (десятки секунд), но нестационарно инжектируемых в петлю. Рассмотрены два случая инъекции электронов в вершине петли: 1) изотропная и 2) анизотропная, направленная в основание петли. Показано, что характер направленности ЖРИ кардинально отличается для этих двух случаев. Установленные различия в свойствах направленности ЖРИ позволят определить тип пич-углового распределения ускоренных/инжектированных электронов во вспышечную петлю при проведении соответствующих стереоскопических наблюдений.

ГИРОСИНХРОТРОННОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ВСПЫШЕК В ХРОМОСФЕРЕ СОЛНЦА

**А.С. Моргачев, В.В. Смирнова, Г.Г. Моторина,
В.С. Рыжов**

НИИ «КрАО», Республика Крым, пгт. Научный, ur_crao@mail.ru;

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

Проведен анализ миллиметровой компоненты радиоизлучения солнечных вспышек. Из литературных данных следует, что в диапазоне 30-100 ГГц (3-10 мм) плоский спектра или рост радиоизлучения с частотой встречается у 25% событий. Обсуждаются различные механизмы, которые могут быть ответственны за данное явление. На основе наблюдений, полученных на радиотелескопе RT-7.5 на частотах 93 и 140 ГГц и борту орбитальной станции RHESSI в рентгеновском диапазоне, рассмотрена солнечная вспышка 4 июля 2012 г. (M5.3) с положительным показателем миллиметрового спектра. Исходя из модели толстой мишени и предположения об однородности теплового источника, определены основные параметры вспышечной плазмы. В рамках гипотезы о единой популяции ускоренных электронов различных энергий получены оценки концентрации низкоэнергичных (20-100 кэВ) высокоэнергичных (> 100 кэВ) частиц. С помощью численных расчетов показано, что высокоэнергичные электроны, ускоренные в области хромосферы, могут быть ответственны за наблюдаемую миллиметровую компоненту. Рост спектра с частотой связывается с тормозным поглощением гиротронного излучения фоновой хромосферной плазмой. Обсуждается соотношение между тепловой и нетепловой компонентами. Сделан вывод о возможности эффективного ускорения электронов в хромосфере Солнца.

ВРЕМЯ ЖИЗНИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВРАЩЕНИЕ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ ГРУПП СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Ю.А. Наговицын, А.А. Певцов, А.А. Осипова

ГАО РАН (Пулковская), Россия, nag@gao.spb.ru.

Показано, что параметром, разделяющим группы солнечных пятен на две популяции, является время жизни группы. Для малых короткоживущих групп SSG оно изменяется от 1 до 5 дней, для больших долгоживущих LLG составляет более 6 дней. Средняя величина площади SSG изменяется с типичным временем 60 лет. Вращение на Солнце SSG и LLG различно. Для SSG оно одномодальное и быстрое. Вращение LLG имеет две моды: быструю, близкую к вращению SSG, и медленную, имеющую экваториальную скорость на 0.22 град в день меньше.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСАХ МАССЫ

В.М. Накаряков

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

Анализ наблюдательных данных полученных в КУФ и оптическом диапазоне с помощью инструментов SDO/AIA и SoHO/LASCO C3 показывает поперечные колебания корональных выбросов массы (КВМ). На высотах около 40 Мм, найдены вертикально поляризованные колебания всплывающего магнитного жгута, с амплитудой около 1 Мм и периодом около 700 с. Данное значение амплитуды колебаний охраняется в течении четырех циклов колебаний. На высотах в 10-20 солнечных радиусов, найдены радиальные и азимутальные колебания скорости КВМ с периодами от 24 до 48 минут. Мгновенные амплитуды достигают половины скорости движения КВМ. Значения амплитуды колебаний антикоррелируют с периодами колебаний и скоростями. В гелиоцентрической полярной системе координат, колебания КВМ имеют ярко выраженную азимутальную структуру, соответствующую, в большинстве случаев, азимутальным волновым числам $m=1$ и $m=2$. Наблюдаемые колебания могут быть связаны либо с колебаниями магнитных жгутов КВМ в окрестности некоторого динамического равновесия, либо с автоколебательными процессами, например периодическим отрывом альфвеновских вихрей. В частности, на автоколебательную природу колебаний указывает наблюдаемая зависимость параметров колебаний от скорости КВМ. В любом случае, наблюдаемое явление представляет интерес для предсказания кинематики КВМ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ МИНИМУМОВ СОЛНЕЧНОЙ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Е.П. Попова

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

Солнечная магнитная активность имеет циклические вариации и проявляется в виде периодических изменений различных характеристик Солнца – чисел Вольфа, площади солнечных пятен, количества солнечных вспышек, электромагнитного излучения в различных диапазонах частот. Цикличность изменения характеристик солнечной активности связана с процессом генерации магнитного поля внутри конвективной зоны Солнца. Широко известны 11-летние циклы солнечной магнитной активности, а также глобальные минимумы (минимумы Оорта, Вольфа, Шперера, Маундера), когда солнечная активность значительно спадает на протяжении нескольких десятков лет. Считается, что генерация магнитного поля Солнца реализуется за счет работы механизма динамо в конвективной зоне Солнца, который основан на совместном действии альфа-эффекта и дифференциального вращения. Математическое описание работы динамо описывается громоздкими системами дифференциальных уравнений в частных производных, решение которых возможно, но не исчерпывает проблему полностью. В такие системы уравнений в качестве коэффициентов входят величины, распределение которых по небесному телу плохо известны. Кроме того, при помощи прямого численного моделирования сложно дать объяснение различных явлений. В подобных случаях удобнее пользоваться упрощенными моделями, которые позволяют прояснить физику явлений. В докладе представлена модель динамо в двухслойной среде с меридиональными потоками, допускающая асимптотическое исследование, и показано, в каких случаях, кроме реализации 11-летнего цикла, возможно воспроизведение глобальных минимумов солнечной магнитной активности.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ КРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА

Д.В. Просовецкий, Н.А. Просовецкая

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

По данным инструмента AIA космического аппарата SDO на изображениях с $\lambda 171$, 193 и 211 Å были обнаружены короткопериодические колебания спокойных солнечных областях, корональных дырах и на границах темных волокон. С помощью вейвлет-анализа установлено, что периоды колебаний находятся в пределах 30-60 секунд. Такие колебания были интерпретированы как кинк-осцилляции слабых петельных или открытых структур размером 10-20 тысяч километров. Несмотря на то, что период кинк-моды колебаний солнечных петель не связан с температурой, было установлено, что наиболее короткопериодические колебания возникают в корональных дырах в структурах с температурами < 1 МК. Температуры в колеблющихся петлях 1-2 МК наблюдались в областях спокойного Солнца и на границах волокон. Совместный анализ пространственного распределения дифференциальной меры эмиссии и экстраполированного магнитного поля показал, что короткие периоды колебаний и низкие температуры связаны со структурами, имеющими открытую конфигурацию магнитного поля.

НАБЛЮДЕНИЕ БРЕЙКАУТ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВУФ ТЕЛЕСКОПА ТЕСИС

**А.А. Рева, А.С. Ульянов, С.В. Шестов,
С.В. Кузин**

ФИАН, г. Москва, Россия, reva.antoine@gmail.com.

Мы представляем наблюдения брейкаут пересоединения в корональном выбросе масс, выполненные с помощью ВУФ телескопа ТЕСИС. Телескоп мог наблюдать солнечную корону в линии Fe 171 А вплоть до расстояния в два солнечных радиуса от центра Солнца. Начиная с 8 апреля 2009 года, ТЕСИС наблюдал активную область, которая имела квадрупольную конфигурацию магнитного поля с X-точкой на высоте в половину солнечного радиуса над фотосферой. Восстановленное по данным MDI магнитное поле также имеет многополярную структуру с X-точкой над активной областью. 9 апреля 21:45 UT, петли рядом с X-точкой начали отдаляться друг от друга со скоростью ≈ 7 км/с. 10 апреля в 01:15 UT, яркая полоса появилась между этими петлями на изображениях ТЕСИС. Мы интерпретируем движение петель и яркую полосу как свидетельство брейкаут пересоединения. В 01:45 UT, петли под X-точкой начали медленно подниматься. В 15:10 UT, корональный выброс масс начал импульсно ускоряться, и в то же время вспышечная аркада сформировалась под выбросом. После 15:50 UT, выброс двигался с постоянной скоростью. Развитие выброса полностью соответствует брейкаут модели.

ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НИТЕЙ ПРОТУБЕРАНЦЕВ С КВАДРАТИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ

М.С. Рудерман^{1,2}, Н.С. Петрухин³

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, m.s.ruderman@sheffield.ac.uk;*

² *Шеффилдский университет, г. Шеффилд, Англия;*

³ *ВШЭ, НИИ, г. Москва, Россия.*

Наблюдения показывают, что протуберанцы в солнечной атмосфере состоят из большого числа тонких нитей. Часто наблюдаются поперечные колебания этих нитей с периодами от одной до нескольких десятков минут. Эти колебания интерпретируются как изгибные колебания магнитных трубок. Наблюдения изгибных колебаний нитей протуберанцев успешно используются в корональной сейсмологии, что придаёт особую значимость теоретическому исследованию этих колебаний. В приближении тонкой трубки изгибные колебания магнитных трубок описываются волновым уравнением с фазовой скоростью изменяющейся вдоль трубки. В том случае когда эта зависимость является линейной или квадратичной, волновое уравнение с переменной фазовой скоростью сводится к уравнению Клейна-Гордона с постоянными коэффициентами. В нашей работе исследуются изгибные колебания магнитной трубки с так называемым супер-лоренцовским профилем плотности. Соответствующий профиль фазовой скорости является квадратичным. После этого, с помощью сведения волнового уравнения к уравнению Клейна-Гордона с постоянными коэффициентами получены аналитические выражения для частот и собственных функций изгибных колебаний магнитной трубки. Характерной особенностью изгибных колебаний является то, что отношение периодов фундаментальной моды и первого обертона больше 2. Найдена зависимость этого отношения частот от отношения максимального значения плотности достигаемого в центре нити к плотности у оснований нити. Также найдена зависимость отношения частот от отношения средней плотности в нити к плотности у

оснований трубки. Показано, что эта зависимость хорошо описывается приближённой формулой ранее полученной в работе Solar et al. (2015) для нитей с квадратичным, гауссовским и лоренцовским профилями плотности.

Soler, R., Goossens, M., & Ballester, J. L. 2015, *Astronomy & Astrophysics*, **575**, A123

ОБОБЩЕНИЕ НЕРАВЕНСТВА АРНОЛЬДА ДЛЯ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

А.Ю. Смирнов¹, П.М. Ахметьев¹, Е.А. Кудрявцева²

¹ *ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия;*

² *МГУ, г. Москва, Россия.*

Неравенство Арнольда позволяет получить оценку для энергии магнитного поля путём сравнения с магнитной спиральностью. Мы докажем нетривиальную модификацию неравенства Арнольда для квадрата энергии и квадратичной спиральности. Как и для обычной спиральности, квадратичная спиральность есть топологический инвариант системы магнитных трубок. Спиральности высших порядков «хороши» тем, что соответствующие им физические величины очень медленно диссипируют даже в неидеальной плазме.

ВЫСШИЕ ИНВАРИАНТЫ СПИРАЛЬНОСТИ И СОЛНЕЧНОЕ ДИНАМО

Д.Д. Соколов, Е.А. Илларионов

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

В выполнении балансных соотношениях, определяющих работу солнечного динамо в нелинейном режиме, большую роль играет соблюдение баланса магнитной спиральности. Эта спиральность имеет топологическую интерпретацию как инвариант зацепления магнитных линий. Однако в топологии известно много других инвариантов системы линий. Это – т.н. высшие инварианты спиральности. Появление такого набора законов сохранения, которые могут неочевидным образом ограничивать рост магнитного поля в солнечном динамо, представляет одновременно опасную и интересную перспективу. Тема высших инвариантов спиральности несколько десятилетий присутствует в литературе по солнечному (и другим видам) динамо. В докладе рассматриваются отличия высших инвариантов спиральности от магнитной спиральности. Общий вывод состоит в том, что на базе высших инвариантов спиральности можно построить их наблюдательные эквиваленты, доступные для определения по наблюдательным данным примерно в той же мере, что и магнитная спиральность. Однако нет оснований рассматривать эти величины как основу балансных соотношений, существенно ограничивающих работу солнечного динамо.

МГД-МОДЕЛИ СПОКОЙНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТУБЕРАНЦЕВ

А.А. Соловьев^{1,2}, Е.А. Киричек¹, О.А. Королькова

¹ ГАО (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия;

² Калмыцкий ГУ, г. Элиста, Россия;

³ Санкт-Петербургский ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.

Обсуждается проблема моделирования спокойных солнечных протуберанцев как длинных (трансляционная симметрия) горизонтально расположенных волокон, удерживаемых против гравитации магнитными силами в солнечной атмосфере над фотосферной линией раздела магнитных полярностей. Для описания внешней атмосферы используется современная реалистическая модель Авретта и Лоузера (2008). Приводятся общие формулы, позволяющие по заданной магнитной структуре вычислить равновесные значения давления, плотности и температуры плазмы в каждой точке волокна. Рассчитано несколько примеров протуберанцев как с аркадной, так и со жгутовой структурой магнитного поля, нормальной и инверсной полярности. Полученные характеристики (наименьшая температура 4-5 тысячи К, плотность $10^{10} - 10^{11}$ частиц в кубическом см) близки к наблюдаемым. Моделируется также один из основных физических признаков протуберанца - тонкая филаментарная структура.

О НОВЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ 2015 ГОДА В ФИЗИКЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Б.В. Сомов

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

Ежегодные конференции в ИКИ «Физика плазмы в солнечной системе» позволяет видеть динамику развития в каждой из областей этой многогранной науки. В докладе наглядно иллюстрируются наиболее существенные результаты по физике солнечных вспышек, полученные в 2015 г. в отделе физики Солнца ГАИШ МГУ. Современные космические наблюдения Солнца (особенно на КА *RHESSI* и *SDO*) обладают высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Это позволяет наблюдать и изучать эффект магнитного пересоединения в так называемой сверх-горячей ($T_e > 10$ кэВ) замагниченной плазме солнечной короны. Точнее говоря, доступны самому всестороннему исследованию процессы, вызываемые вытекающими из пересоединяющего токового слоя потоками энергии в виде быстрых направленных течений плазмы, мощных тепловых волн и ускоренных до высоких энергии заряженных частиц. Именно эти вторичные явления составляют сложную наблюдаемую картину вспышки. (1) На примере белой вспышки класса M7.7 19 июля 2012 г. в 05:58 UT на краю солнечного диска показано (доклад Грицыка и Сомова), что для объяснения наблюдений вспышки во всем электромагнитном спектре необходимо применять аккуратную (двумерную в пространстве скоростей) модель поведения быстрых электронов во вспышке в приближении тонкой и толстой мишеней с обратным током, дополненную учетом ускорения быстрых частиц в коллапсирующей магнитной ловушке. (2) С целью интерпретации современных спутниковых наблюдений последовательного увеличения яркости корональных петель в солнечных вспышках решена задача о тепловой устойчивости продольных возмущений пересоединяющего токового слоя (доклад Леденцова и Сомова). Условиями неустойчивости служат определенные соотношения между теплопроводным перераспределением энергии внутри слоя и лучистым охлаждением плазмы в нём. В результате неустойчивости образуется периодическая структура холодных и горячих волокон. Обсуждаются приложения решения задачи к конкретным спутниковым

наблюдениям. (3) Анализ наблюдений спутника *Hinode* выявляет наличие класса вспышек, слабых по энергетике, но охватывающих значительные площади. Предложена интерпретация данного явления на основе модели “топологического триггера”, где при определенной конфигурации магнитных источников на фотосфере возможно возникновение нулевой точки магнитного поля над поверхностью источников. В докладе (Думин и Сомов) продемонстрированы результаты численного моделирования глобальной перестройки магнитного поля и возникновения “быстрой” нулевой точки, обусловленные топологическим триггером. (4) Астрофизическим приложениям быстрого магнитного пересоединения в плазме с сильным магнитным полем посвящен доклад (Безродных и Сомов) о возможности возникновения всплесков жесткого электромагнитного излучения в существенно неравновесных магнитосферах. В рамках двумерного приближения найдена форма магнитосферы и распределение тока в пересоединяющем токовом слое. Определены величины прямого и обратного токов, а также величина нескомпенсированной силы, действующей на обратный ток. Оценены характерные параметры неравновесной магнитосферы и показано, что избыточная энергия магнитосферы сопоставима с механической энергией, вносимой в нее ударной волной в момент удара.

НЕЙТРАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ КОРОНАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СОЛНЕЧНЫЕ ВОЛОКНА

Б.П. Филиппов

*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, МО, г. Троицк, Россия,
bfilip@izmiran.ru.*

Проводится сравнение формы солнечных волокон с проекцией участков нейтральной поверхности магнитного поля короны в определенном интервале высот. Нейтральные поверхности рассчитываются в потенциальном приближении по фотосферным данным. Сопоставление показывает, что вещество волокон концентрируется в основном вблизи нейтральной поверхности потенциального поля. Сечения нейтральной поверхности горизонтальной плоскостью служат линиями раздела полярностей (ЛРП) вертикального поля на данной высоте. В проекции на диск, нижний край волокна с выступающими по бокам промежуточными “ножками” (barbs) обрисовывается ЛРП на малой высоте, а верхний край касается высокой ЛРП. Все вещество волокна заключено в пространстве между этими двумя линиями. Хотя в действительности структура магнитного поля вблизи волокон очень сильно отличается от структуры потенциального поля, их нейтральные поверхности могут быть подобны и близки, особенно на низких высотах. Этот факт, вероятно, является причиной наблюдаемой корреляции. Ее можно использовать для определения высоты верхнего края волокон над фотосферой при наблюдениях только на диске. Примеры, в которых волокна наблюдались одновременно аппаратами STEREO в ортогональной проекции как протуберанцы на лимбе, показывают вполне удовлетворительную точность такого метода.

О РАСПРОСТРАНЕНИИ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЛЯХ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК: СОБЫТИЕ 9 НОЯБРЯ 2013 г.

Ю.Т. Цап, Г.Г. Моторина, Ю.Г. Копылова

*НИИ «КрАО», Республика Крым, пгт. Научный, ur_crao@mail.ru;
ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия.*

На основе наблюдательных данных, полученных на борту орбитальной станции RHESSI, рассмотрены особенности рентгеновского излучения вспышечного события 9 ноября 2013 г. (C2.7). Из анализа изображений рентгеновских источников и фитирования их спектров определены основные параметры тепловой и нетепловой вспышечной плазмы в различные моменты времени. Показано, что в момент максимума вспышки ускоренные электроны с энергией менее 35 кэВ, распространяющиеся из вершины к основаниям петли, полностью термализовались в короне из-за кулоновских столкновений. Как следует из модели «толстой мишени» и соотношения между потоками жесткого рентгеновского излучения в различных частях вспышечной петли, в рассмотренном событии должен доминировать корональный источник. Это противоречит наблюдениям и свидетельствует об эффективном ускорении электронов в основаниях корональных арок.

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕБРА - СТРУКТУРЫ В СОЛНЕЧНОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ

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

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

² *ИСЗФ, г. Иркутск, Россия.*

Зебра-структура (ЗС) в виде полос в излучении и поглощении на динамических спектрах солнечных радиовсплесков IV типа остается самой загадочной тонкой структурой, несмотря на более чем полувековые исследования. Прежде всего это связано с большим разнообразием полос в каждом новом явлении, когда становится невозможным объяснение всех тонких деталей каким либо одним механизмом. В настоящее время выдвинуто более десятка конкурирующих гипотез. Наиболее распространенным объяснением считается излучение на различных уровнях верхнего гибридного резонанса (ВГР), где верхняя гибридная частота (ω_{UH}) становится равной целому числу электронных циклотронных гармоник $s\omega_{Be}$: $\omega_{UH} = (\omega_{pe}^2 + \omega_{be}^2)^{1/2} = s\omega_{Be}$. Актуальность подобных исследований возросла в последние годы в связи с обнаружением ЗС в радиоизлучении пульсара в Крабовидной туманности. Нами рассмотрено несколько последних работ, посвященных совершенствованию механизма ВГР, в сравнительном анализе с альтернативной моделью взаимодействия плазменных волн с вистлерами. Такое сравнение в литературе или отсутствует, или проведено ошибочно. В частности, показано, что в наиболее цитируемой в последние годы работе Chen, Bastian et al. (2011) впервые наблюдавшуюся ЗС на FASR можно адекватно интерпретировать в рамках модели с вистлерами. На примере нескольких недавних явлений с ЗС показано, что различные сочетания ЗС, волокон (fiber bursts) и быстрых пульсаций связаны с динамикой вспышечного процесса, наблюдавшегося в нескольких линиях крайнего ультрафиолетового излучения (SDO/AIA). Показано, что неоднократная смена знака круговой поляризации может быть связана с возникновением новых уярчений над разными вспышечными лентами. При этом мода волны остается обыкновенного типа. Предлагается схема в рамках стандартной модели вспышки, в которой

радиоисточник ЗС располагается в магнитном острове, оставшимся после коронального выброса массы.

ГЕНЕРАЦИЯ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

А.Н. Шабалин, Ю.Е. Чариков

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

Распределение рентгеновской яркости вдоль магнитной петли во время солнечных вспышек дает ценную дополнительную информацию о динамике распространения ускоренных электронов. Выяснение связи между наблюдаемым жестким рентгеновским излучением и ускоренными электронами является трудной многопараметрической задачей. Согласование результатов моделирования с наблюдениями ЖРИ позволяет получить ограничения на функцию источника ускоренных электронов, на ее угловое и энергетическое распределения. Традиционно рассмотрение кинетики пучка ускоренных электронов в плазме вспышечных петель проводится при учете кулоновских соударений. В данной работе произведен анализ влияния различных мод турбулентности на распределение рентгеновского излучения и степени поляризации вдоль магнитной петли. Рассматривались процессы рассеяния на ионно-звуковой волне и на магнитных неоднородностях в петле магнитного поля. Продемонстрировано качественное изменение спектра временных задержек в результате присутствия турбулентности. Рассмотрены различные варианты локализации указанных механизмов рассеяния электронов. Показано, что по изофотам ЖРИ удастся ограничить такие параметры как угловое и энергетическое распределения электронов, градиент магнитного поля, распределение концентрации и степени ионизации фоновой плазмы. При этом удастся локализовать область минимума магнитного поля и источника ускоренных электронов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НЕТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ СКРУЧЕННОЙ МАГНИТНОЙ ПЕТЛИ

И.Н. Шарькин, А.А. Кузнецов

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

В работе представлены результаты трехмерного моделирования микроволнового радиоизлучения, генерируемого нетепловыми электронами в скрученной магнитной петле. Моделирование производится с помощью пакета программ GX_SIMULATOR. Рассматриваются изотропные и анизотропные пичч-угловые распределения нетепловых электронов со степенным энергетическим спектром. Главной целью работы является определение влияния закрученности магнитного поля на структуру радиоисточников и распределение поляризации. Показано, что нетепловые электроны внутри скрученной магнитной петли генерируют гиротронное радиоизлучение с необычным распределением поляризации в радиоисточнике. Для источников на центре солнечного диска, линия инверсии знака поляризации радиоизлучения наклонена к оси магнитной петли. Если магнитная петля расположена на лимбе, то инверсия знака поляризации радиоизлучения происходит через ось петли. Источник радиоизлучения имеет более компактные размеры в случае менее скрученной магнитной петли и анизотропного пичч-

углового распределения нетепловых электронов. В рамках результатов моделирования обсуждаются наблюдения некоторых солнечных вспышек.

РЕКОНСТРУКЦИЯ МИНИМУМА ДАЛЬТОНА ПО 150-ЛЕТНЕЙ ГАРМОНИКЕ И ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЦИКЛОВ ДОСТОВЕРНОГО РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

И.Г. Шибает

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

Объектом внимания данной работы является ряд относительных чисел солнечных пятен состоящий из восстановленных Вольфом среднемесячных значений по отрывочным данным отдельных европейских наблюдателей (восстановленный ряд с 1749 г. по 1849 г.) и ряда регулярных наблюдений с 1849 г. по наши дни (достоверный ряд). Существенные различия свойств достоверного и восстановленного рядов чисел Вольфа были отмечены в работе [1] при анализе *гладкости основных спектральных компонент*, которые формируют цикл и дают его «энергетику». Значительные расхождения сохраняются и при сравнении *интегральных* характеристик циклов восстановленного и достоверного рядов [2]. Экстраполяция длиннопериодных компонент достоверного ряда на внешний временной интервал даёт возможность для реконструкции или прогнозирования временной динамики ряда. В работе предложена реконструкция минимума Дальтона, которая опирается на ~150-летнюю гармонику, характерную для достоверного ряда чисел Вольфа, и характеристики достоверных циклов с их амплитудно-временными соотношениями.

[1] Шибает И.Г. Оценка восстановленной части ряда чисел Вольфа и возможность её коррекции // *Астрономический вестник*, 2008, Т. 42, № 1. С. 66-74.

[2] Shibaev I., Ishkov V. Investigation of the statistical characteristics of Wolf numbers reliable series: Signs of solar cycles likelihood // *Proceedings of Seventh Scientific Conference with International Participation SES 2011, Sofia, Bulgaria, 29 November – 01 December 2011*, p. 297-301, 2012.

О СТРУКТУРИРОВАНИИ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

О.В. Щерица, А.В. Гетлинг, О.С. Мажорова

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

Постановка этого исследования продиктована необходимостью выяснения факторов, которые могут быть ответственны за сосуществование течений различных масштабов в солнечной конвективной зоне. Среди этих факторов – переменное состояние ионизации, переменные коэффициенты переноса, плотностная стратификация и т.д. Их сложность и разнообразие заставляют начинать анализ с простых случаев, выделяя отдельные факторы. В работе выполнено трехмерное численное моделирование конвекции в горизонтальном слое на основе расширенного приближения Буссинеска, допускающего вариации температуропроводности χ с температурой T . А именно, принимается такой характер зависимости $\chi(T)$, при котором вблизи верхней поверхности слоя статический градиент температуры значительно больше по абсолютной величине, чем в остальной части слоя; при этом весь слой сверху донизу конвективно неустойчив. Для исследования рассчитанных полей скорости и температуры используются фурье-анализ и методы вычислительной гомологии (определяются числа Бетти, характеризующие связность картины восходящих и

нисходящих течений). Исследовано влияние надкритичности и формы статического профиля температуры на масштабный спектр течений, найдены режимы с расщеплением масштабов конвективных течений. По изображениям спокойных участков солнечной фотосферы проведено исследование топологической структуры солнечной конвекции. Выявлены черты общности структур течений, полученных при численном моделировании, и течений в верхних слоях солнечной конвективной зоны.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДИНАМО-ВОЛН ВБЛИЗИ ЭКВАТОРА С УЧЕТОМ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

Н.А. Юхина¹, Е.П. Попова²

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова ФФ, г. Москва, Россия,
naukhina@gmail.com;

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

Генерация магнитного поля Солнца связана с действием механизма динамо, который основан на совместном действии дифференциального вращения и альфа-эффекта. Такой подход позволяет получить осциллирующее решение, которое качественно воспроизводит 11-летний цикл солнечной магнитной активности. Однако кроме альфа-эффекта и дифференциального вращения на поведение динамо-волны могут действовать и другие физические факторы. Одним из таких факторов являются меридиональные крупномасштабные потоки вещества в конвективной зоне Солнца, где происходит генерация магнитного поля. В настоящее время влияние меридиональной циркуляции изучают как численными методами, так и асимптотическими, например, методом, аналогичным ВКБ. Асимптотическое исследование этим методом влияния меридиональной циркуляции на динамо-волну в приближении Паркера на средних широтах показало, что меридиональная циркуляция существенно влияет на длительность цикла активности. Однако детальное поведение динамо-волны с учетом меридиональных потоков вблизи экватора и полюсов требует дополнительного исследования, поскольку требуется учет влияния кривизны в геометрии задачи на низких и высоких широтах. В данной работе с помощью метода, аналогичного ВКБ, было исследовано поведение динамо-волны вблизи экватора с учетом влияния меридиональных потоков и было показано, как меридиональные потоки влияют на режимы генерации магнитного поля.

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА ЧЕТЫРЁХ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭРУПТИВНЫХ СОБЫТИЙ

**Б.Ю. Юшков, Виктория Г. Курт, В.И. Галкин,
А.В. Богомолов, С.И. Свертилов**

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

Полная энергия ускоренных электронов и протонов в каждой из четырех мощных вспышек события была вычислена на основе измерений рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне энергий 0.015 - 300 МэВ с помощью детекторов СПР-Н и СОНГ на борту ИСЗ КОРОНАС-Ф, а также измерений теплового рентгеновского излучения на ИСЗ GOES. Для каждого события была решена обратная задача восстановления спектра падающего излучения, что позволило разделить тепловой и нетепловой компонент тормозного излучения электронов и определить интенсивность двух компонентов излучения, рожденных

при взаимодействии ускоренных протонов с веществом атмосферы Солнца (узких ядерных гамма-линий и излучения от распада пионов). Мы определили параметры спектров ускоренных частиц: для электронов - нижнюю границу энергии ускоренных электронов, показатель и амплитуду степенного спектра. Для протонов – показатель и амплитуду также в степенном представлении спектра, при этом показатель спектра был определен из отношения интенсивностей пионного компонента и узких гамма-линий, амплитуда спектра определяется из интенсивности пионного компонента. Мы вычислили энергию, вносимую ускоренными ионами и электронами в излучающий объем, в последовательные интервалы времени для каждой вспышки и сопоставили эти значения с учетом возможных неопределенностей. Оказалось, что полная энергия ускоренных ионов сравнима и, возможно, даже превышает энергию электронов в интервале времени кардинальной перестройки магнитной структуры мощной солнечной вспышки.

НАИБОЛЕЕ МОЩНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ СОБЫТИЯ И ИХ ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Г.В. Якунина, Г.А. Порфирьева

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

Рассмотрены активные области, представляющие большие δ -конфигурации и связанные с мощными протонными событиями. Чем больше площадь таких активных областей, тем больше индекс вспышечной активности (XRI) и тем больше геомагнитный индекс A_p . Рассмотрена корреляция между характеристиками вспышек и свойствами корональных выбросов массы (CMEs), сопровождающимися геомагнитными бурями. Наиболее массивные и широкие CMEs ассоциируются с наиболее энергичными вспышками. По наблюдениям на STEREO A и B отклонения CME в меридиональном и азимутальном направлении могут достигать $5\text{-}20^\circ$ на расстоянии $50\text{-}70 R_{\text{sun}}$. Знание траектории и скорости CME в межпланетном пространстве необходимо для прогноза геомагнитной обстановки на Земле: достигнет ли CME Земли и в какое время. Проводится сравнение наблюдательных данных с модельными расчетами.

PREDICTION OF SOLAR ACTIVITY (WOLF NUMBERS) BASED ON NONLINEAR DYNAMO

**N.I. Rogachevskii², S. Kleorin², Y. Kleorin¹,
S.V. Porshnev³, N.T. Safiullin³, D.D. Sokoloff⁴**

¹ *Department of Physic, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, ISRAEL;*

² *Department of Mechanical Engineering, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, ISRAEL;*

³ *Department of Radio Electronic and Informational, B.N. Yeltsin Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia;*

⁴ *Department of Physic, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*

We investigated the dynamics of solar activity using the nonlinear one-dimensional dynamo model and phenomenological equation for evolution of Wolf numbers. This system of equations was solved numerically. We took into account the algebraic and dynamical nonlinearities of the alpha effect. The dynamic nonlinearity is related to the evolution of small-scale magnetic helicity and leads to complicated behavior of the solar activity. The evolutionary equation for the Wolf number is based on the mechanism of formation of magnetic spots caused by the negative effective magnetic pressure instability (NEMPI). This phenomenon was predicted 25 years ago and investigated intensively in recent years in direct numerical simulations and mean-field simulations. The evolutionary equation for the Wolf number includes the production and decay of sunspots. Comparison of numerical simulations and observational data of Wolf numbers shows 70 % correlations in all interval of observations (about 270 years). We determined the dependence of the maximum value of the Wolf number versus the period of the cycle and asymmetry of the solar cycles versus the amplitude of the cycle. These dependencies are in good agreement with observations.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПЯТНАХ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ МЕЖПЯТЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ В МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ

**И.А. Бакунина¹, В.Е. Абрамов-Максимов²,
В.В. Смирнова²**

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

² ГАО РАН в Пулково, г. Санкт-Петербург, Россия.

Представлены квазипериодические колебания с периодами несколько десятков минут на частоте 17 ГГц по данным радиогелиографа в Нобеяме (NoRH). В двух активных областях колебания радиоизлучения различных типов межпятенных источников (МПИ) (компактных и протяженных) сравнивались с колебаниями магнитного поля связанных с ними пятен. Были обнаружены общие периоды колебаний и задержка в 17 минут для колебаний протяженного МПИ и магнитного поля связанного с ним хвостового пятна сложной активной области.

СВЯЗЬ ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С НАПРЯЖЕННОСТЬЮ ФОТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

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

¹ СПб филиал ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
helena@EV13934.spb.edu;

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

На основе синоптических карт обсерватории Китт Пик (1976-2003 гг.) были исследованы гелиоширотные распределения различных групп магнитных полей, отличающихся по напряженности [1]. Анализ синоптических карт, усредненных за 3 солнечных цикла, позволил выделить четыре характерные группы магнитных полей: $B = 0 - 5$ Гс; $B = 5 - 15$ Гс; $B = 15 - 50$ Гс и $B > 50$ Гс. Показано наличие четкой связи величины магнитного поля и его широтной локализации. В данной работе исследованы временные изменения разных групп магнитных полей. Рассмотрены отдельно поля разной полярности для северного и южного полушарий Солнца. Особое внимание уделено самым слабым магнитным полям ($B = 0 - 5$ Гс), которые локализованы около экватора (широты $\pm 5^\circ$) и в интервале $40^\circ - 60^\circ$ в каждом из полушарий. Для приэкваториальной области самые слабые поля в северном и южном полушариях развиваются синхронно и приблизительно в противофазе с числами Вольфа. В то же время более сильные поля ($B = 5 - 10$ Гс и выше) изменяются в фазе с солнечным циклом. Таким образом, величина магнитного поля 5 гаусс является той границей, ниже которой временной ход развивался в противофазе с солнечным циклом, а выше 5 гаусс в фазе с солнечным циклом. Следует отметить, что в приэкваториальной области поля одного знака в северном и южном полушариях изменяются почти синхронно, в то время как поля разных знаков для одного полушария связаны значительно слабее. Такая зависимость резко отличается от сильных магнитных полей в зоне пятен, где высокая корреляция наблюдается для полей разных знаков одного полушария [2]. Полученные результаты свидетельствуют о

том, что слабые поля приэкваториальной области Солнца представляют собой не просто «крылья» распределения магнитных полей пятенной зоны, а совершенно особое явление.

[1]Вернова Е.С., Тясто М.И., Баранов Д.Г. // Труды всероссийской конференции "Солнечная и солнечно-земная физика - 2014", С. 79, (2014).

[2]Vernova E.S., Tyasto M.I., Baranov D.G. // Solar Phys., **289**, 2845, (2014).

РЕГИСТРАЦИЯ ВЫБРОСА ИЗ КОНВЕКТИВНОЙ ЗОНЫ МАГНИТНОЙ ТРУБКИ С ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМОЙ – ИСТОЧНИКА ФОРМИРОВАНИЯ “ИМПУЛЬСНОГО” КОРОНАЛЬНОГО ВЫБРОСА МАССЫ

И.В. Зимовец^{1,3,4}, В.Г. Еселевич², М.В. Еселевич²

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

² ИСЗФ Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия;

³ NKL of SW, NSSC, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China;

⁴ ISSI, Beijing, China.

Проведен анализ “импульсного” коронального выброса массы (КВМ) 24 августа 2014 г. по УФ изображениям в каналах 193Å, 304Å, 1600Å, 1700Å инструмента SDO/AIA и по данным наблюдений в линии H α (6562.8Å) телескопов обсерваторий EI Teide и Big Bear. Показано, что началом формирования “импульсного” КВМ может являться выброс из конвективной зоны со скоростью ≈ 35 км/с магнитной трубки (жгута), содержащей плазму более холодную, чем плазма фотосферы. При движении в короне магнитная трубка сталкивается с корональным квазистационарным магнитным жгутом, два основания которого укоренены на фотосфере, и ускоряет его (приводит в движение). В результате такого взаимодействия происходит формирование КВМ, фронтальной структурой которого является поверхность коронального магнитного жгута, а его энергетической основой – энергия выброшенной из конвективной зоны магнитной трубки.

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ NOAA 12436 ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ ВЕКТОРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЛИНИЯХ Fe I И Ca II

**Т.И. Кальтман¹, Д.Ю. Колобов², А.А. Кочанов²,
И.И. Мышьяков², В.Е. Томин², А.В. Киселев²,
А.В. Пуляев²**

¹ СПб ф Специальной АО, г. Санкт-Петербург, Россия, arles@mail.ru;

² ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

Для активной области NOAA 12436 на основе данных РАТАН-600 в диапазоне 1.7 – 10см выполнено моделирование радиоизлучения двух циклотронных источников, находящихся в широком флоккуле с тепловым тормозным излучением. По результатам моделирования получены оценки параметров плазмы – кинетической температуры и плотности электронов. В основу моделирования легли измерения вектора магнитного поля в линии Fe I 6302 Å, выполненные на макете спектрополяриметра СОЛСИТ Саянской солнечной обсерватории, а также данные о магнитном поле на уровне хромосферы, полученные в линии Ca II 8542 Å на магнитографе SOLIS 22 октября 2015 г. Исследуемая АО 12436 состояла из двух пятен противоположной полярности с максимальной величиной магнитного поля более двух килогаусс и была расположена вблизи центра видимого диска

Солнца. Корональное магнитное поле, используемое в моделировании радиоизлучения, рассчитывалось с помощью модифицированного оптимизационного метода, позволяющего наряду с векторной фотосферной магнитограммой дополнительно учитывать данные измерений продольного поля на уровне хромосферы. В работе проведено сопоставление результатов моделирования с наблюдениями. Обсуждается влияние неопределенностей восстановления магнитного поля в короне на данные моделирования радиоизлучения, соответствие смоделированной спектрально-поляризационной структуры области с данными микроволновых наблюдений и соответствие диагностированных параметров плазмы (температуры, плотности и магнитного поля) современным моделям активных областей с большими пятнами.

САМОФОКУСИРОВКА ТЕПЛА ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

**В.А. Ковалев¹, Е.С. Куркина², Е.Д. Куретова²,
Ю.В. Троцкий²**

¹ *ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, vic.kov@yandex.ru;*

² *МГУ, Факультет ВМК, г. Москва, Россия.*

Согласно рентгеновским данным, на ранней фазе вспышки быстрый рост температуры плазмы (в режиме с обострением) сопровождается уменьшением меры эмиссии (отрицательная дифференциальная мера эмиссии). Этот эффект можно связать с «самофокусировкой» тепла, сопровождаемой уменьшением фактора заполнения вспышечного объема горячей плазмой. Для описания предложена математическая модель, в основе которой лежит нелинейное уравнение теплопроводности, к которому, благодаря эмпирической связи концентрации и температуры, сводится уравнение энергии неподвижной плазмы. Обобщенный знакопеременный источник учитывает нагрев и охлаждение. В качестве источника нагрева предполагается коллапс магнитной трубки. Распространение тепла обусловлено нелинейным коэффициентом теплопроводности; параметры модели подобраны таким образом, чтобы описать интегральные характеристики. Модель описывает локализованные тепловые структуры, развивающиеся в режиме с обострением, их полуширина сокращается со временем. Наиболее благоприятные условия для формирования тепловых структур с уменьшающейся полушириной возникают в поперечном сечении магнитной трубки с теплопроводностью, обусловленной ионами плазмы и уменьшающейся с ростом температуры. Структуры возникают на основном температурном фоне поперек магнитного поля при сверхкритических возмущениях и существуют конечное время. Таким образом, происходит филаментация магнитной трубки на тонкие (<100 м) горячие нити, вытянутые вдоль магнитного поля. Возможно, что с формированием этих структур связаны микровспышки.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА К АКТИВНОЙ ФАЗЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ

В.И. Козлов, В.В. Козлов

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

По изучению динамики флуктуаций космических лучей на различных фазах текущего 11-летнего цикла выявлены *переходные* режимы к активной фазе солнечного цикла, отождествляемые по наличию *предвестников* в космических лучах. Предвестники активных фаз 24 цикла были зарегистрированы в следующие моменты времени: предвестник НАЧАЛА 24 цикла – на обороте 2407 в декабре 2009; предвестник фазы РОСТА – на обороте 2421 в январе 2011; предвестник фазы МАКСИМУМА 24 цикла - на обороте 2434 в январе 2012; предвестник стадии ЗАВЕРШЕНИЯ инверсии магнитного поля зарегистрирован на обороте 2449 в феврале 2013 и предвестник начала геоэффективной фазы СПАДА текущего 24 цикла - на обороте 2469 в июле 2014 (<http://www.forshock.ru/predlong.html>). Важно отметить, что моменты регистрации предвестников в космических лучах приходятся на начало *перестроек магнитного поля* в комплексах активности на Солнце (которые были выявлены А.В. Мордвиновым, А.А. Головкин и С.А. Язевым, СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА, вып. 25, 2014г.). По утверждению указанных авторов, перестройки эти наблюдаются на фазе роста и спада обоих максимумов в среднегодовых значениях чисел Вольфа (зарегистрированных в 2012 и 2014 гг.), т.е. на фазе максимальной изменчивости активности Солнца. Предвестники в космических лучах регистрировались, в среднем, за месяц до обнаружения перестройки магнитного поля в комплексах активности на Солнце. Таким образом, предвестник в космических лучах, регистрируемый на переходном режиме к активной фазе солнечного цикла, является *индикатором* начала *перестройки магнитного поля* Солнца.

ЛОКАЛЬНЫЙ И ГЛОБАЛЬНЫЙ СБОИ 11-ЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ КАК СЛЕДСТВИЕ СОХРАНЕНИЯ И НАРУШЕНИЯ ИНВАРИАНТА ФИЗИЧЕСКОГО 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА

В.И. Козлов, В.В. Козлов, И.Я. Плотников

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

Параметризация динамики флуктуаций космических лучей на переходных режимах к активной фазе солнечного цикла позволила обнаружить переходный колебательный процесс смены знака общего магнитного поля Солнца в космических лучах. Было установлено, что чем выше амплитуда цикла в максимуме, тем короче фаза переполюсовки, после *завершения* которой, начинается *восстановление* интенсивности ГКЛ. И, наоборот, чем ниже амплитуда цикла, тем продолжительнее фаза инверсии поля. Выявленная *обратная* зависимость бинарной пары «амплитуда цикла – длительность процесса переполюсовки» указывала на возможное наличие ИНВАРИАНТА 11-летнего цикла: «амплитуда-длительность», на основе которого в 2006 г. нами и был дан прогноз **сбоя** 11-летней цикличности, т.е. *увеличению* длительности 23 цикла, подтвердившийся в дальнейшем данными солнечных наблюдений. Развитие целостного подхода к анализу солнечных циклов было естественно завершить анализом «фазовых портретов» солнечных циклов на комплексной фазовой плоскости. Площадь, заметаемая фазовой траекторией на фазовой плоскости, имеет размерность «фазового объема» или «действия», с размерностью «энергия x время». В этом смысле, для фиксированного цикла его площадь является характеристикой «энергоемкости». *Неизменность* площади как характеристики энергоемкости цикла, указывало бы на *консервативность* системы, что и наблюдалось в двух последовательных циклах 21 и 22.

Очевидно, что консервативность может нарушаться. Например, в паре последующих циклов 23 и 24 *максимальная* площадь приходится на 23 цикл, с последующим явным спадом площади «сбойного» цикла 24: <http://www.forshock.ru/predvlong.html>. Аналогичная картина наблюдается, например, для пары циклов 19 и 20. В таком случае, можно предположить наличие «консервативности в широком смысле», т.е. ИНВАРИАНТА физического 22-летнего цикла. Инвариант с характерным масштабом длительности 22-летнего цикла предполагает постоянство площади заметаемой 22-летним циклом, как это наблюдалось, например, во время «локальных» минимумов: циклы 19-20 и, возможно, 23-24. На основе этого, нами дается предварительный прогноз *восстановления* 11-летней цикличности в 25 цикле (2020-2030 гг.). В случае нарушения инварианта с характерным масштабом 22-летнего цикла, т.е. в случае НЕ восстановления 11-летней цикличности в 25 цикле (2020-2030 гг.), статус сбоя 23-24-25 циклов изменится с локального на – **глобальный**. В этом случае, неординарный сбой 23-24-25 циклов можно будет классифицировать не иначе как «**фазовую катастрофу**» (по Г.В. Куклину, 1982) или срыв режима регуляции энергии (автоколебаний) в конвективной зоне Солнца в современную эпоху. Подобно тому, что наблюдалось во время глобальных минимумов Маундера, Дальтона или Глайсберга, со всеми вытекающими отсюда последствиями: многолетнего *повышения* радиационного фона космических лучей высоких энергий и, как следствие – повышение облачности и последующей *интенсификации* конвективных процессов в атмосфере, сопровождающейся увеличением количества осадков и *понижением* температуры в планетарном масштабе.

ВЕРОЯТНЫЕ ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ STEREO И SDO

А.В. Кудрявцева, Д.В. Просовецкий

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

При наблюдениях внеатмосферных коронографов в потоках солнечного ветра (СВ) во внешней короне выделяют отдельный класс мелкомасштабных неоднородностей с радиальными размерами до 3 солнечных радиусов и поперечными порядками десятых долей солнечного радиуса, которые являются маркерами динамических характеристик потоков СВ. Определялось скоростное распределение потоков СВ по данным коронографов COR2 STEREO за период с августа 2010 по июнь 2012 года на расстояниях от 4 до 16 солнечных радиусов при наличии и отсутствии корональных дыр (КД) на лимбе Солнца. Хотя источники СВ по данным коронографов не могли быть точно указаны, было обнаружено существенное увеличение количества мелкомасштабных неоднородностей со скоростями более 400 км/с в тех случаях, когда на лимбе наблюдались КД. В предположении, что источниками таких скоростных потоков СВ являются корональные дыры, в КД по данным инструмента AIA космического аппарата SDO были найдены низкотемпературные особенности в дифференциальной мере эмиссии (DEM), расположенные на позиционных углах распространения потоков СВ и имеющие размеры, совпадающие с поперечными размерами неоднородностей. Среднее значение DEM в этих особенностях при температуре меньше 1 МК был на порядок меньше окружающих областей. В областях спокойного Солнца были обнаружены особенности распределения DEM, имеющие сходные размеры, но располагающиеся в областях с температурой выше 1 МК. Высказано предположение, что такие области являются источниками или областями ускорения потоков СВ в нижней короне, а динамические характеристики потоков связаны с физическими характеристиками атмосферы Солнца в них.

НЕТИПИЧНЫЕ ФОРМЫ КОРОН СОЛНЦА ПЕРИОДА СПАДА 23 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

В.Л. Мерзляков

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

Проведен анализ конфигурации магнитного поля Солнца на спаде активности 23 цикла. Моделирование «нетипичных» К-корон 2006 г. и 2008 г. позволило оценить относительные мощности тороидальной и полоидальной компонент магнитного поля. На основе этих оценок и информации о напряженности полярного магнитного поля высказано предположение, что наблюдаемая «нетипичность» рассматриваемого периода вызвана резким уменьшением мощности генерации полоидальной компоненты магнитного поля. Уменьшение составило 6–7 раза по сравнению с ситуацией 3-х предыдущих минимумов. Помимо этого произошло либо уменьшение эффективной глубины полоидального источника на $0.1 R_{\text{sun}}$ (≈ 70 тыс. км), либо увеличение доли недипольных гармоник более чем в 2 раза. Схожие изменения имели место и при низкой активности (фаза цикла -0.3), когда величина дипольной компоненты полоидального источника была меньше «типичной» в 4–5 раз. При этом его эффективная глубина переместилась к фотосфере на $0.1 - 0.15 R_{\text{sun}}$ (≈ 85 тыс. км) или произошло превышение вклада недипольных гармоник по сравнению с дипольной в напряженность полярного магнитного поля на уровне фотосферы.

ПРИЧИНЫ ПРЕОБЛАДАНИЯ ОБЫКНОВЕННОЙ МОДЫ В МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

А.С. Моргачев, С.А. Кузнецов, В.Ф. Мельников

*ФГБНУ НИРФИ г. Нижний Новгород, Россия;
ГАО РАН г. Санкт-Петербург, Россия, a.s.morgachev@mail.ru.*

Целью работы является проверка гипотезы о продольной анизотропии электронов как причине наблюдаемого в некоторых вспышечных петлях преобладания обыкновенной моды поляризованного по кругу микроволнового излучения. Для исследования использовались данные радиогелиографа Нобейма (NoRH) на частотах 17 и 34 ГГц с пространственным разрешением, а также данные без пространственного разрешения о спектре радиоизлучения в диапазоне 1–80 ГГц, полученные радиополяриметром Нобейма (NoRP). Для установления преобладающей моды микроволнового излучения использовались изображения вспышек в линиях ультрафиолетового излучения и карты фотосферного магнитного поля по данным инструментов SDO/AIA и SDO/HMI, соответственно. Проводилось определение топологии магнитного поля в короне и направления его силовых линий, а также анализировалась временная эволюция поляризации в различных частях петли. На основании вышесказанного регистрируемые правая и левая круговые поляризации соотносились с обыкновенной и необыкновенной модой излучения вспышек. Исследование было проведено для статистически значимого числа вспышечных петель (более 30). Обнаружено, что в некоторых вспышечных петлях наблюдаются признаки доминирования обыкновенной моды излучения на частоте 17 ГГц в отдельных частях вспышечной петли. Для отобранных событий проведено восстановление параметров нетепловых электронов и магнитного поля во вспышечной петле на основе метода прямой подгонки, а также моделирование кинетики и гиротронного излучения нетепловых электронов в произвольно ориентированной магнитной петле. На основе сравнения результатов моделирования с наблюдениями

установлено, что в некоторых событиях преобладание обыкновенной моды микроволнового излучения вызвано наличием продольной анизотропии нетепловых электронов.

ЦИКЛОТРОННАЯ ЛИНИЯ В МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ СОЛНЦА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600 АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ NOAA 12182

Н.Г. Петерова¹, Н.А. Топчило²

¹ *СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, peterova@yandex.ru;*

² *СПб ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.*

Циклотронное излучение космической плазмы по своей природе, как известно [1, 2], линейчатое, а значение частоты излучения напрямую связано с величиной магнитного поля ($f \sim H$). Для Солнца оно обычно наблюдается как континуум, что свидетельствует о монотонности изменений H и физических параметров (температуры и плотности) в условиях квазиспокойного состояния солнечной плазмы. Однако можно предполагать, что при особых условиях яркость циклотронного излучения резко возрастает. Такой случай по наблюдениям на РАТАН-600 был зарегистрирован при исследовании спектра с высоким частотным разрешением [3] – событие в одной из активных областей на Солнце длилось 3 дня, поток его составлял 20-35% от потока всей области. В своем докладе мы представляем новый случай наблюдений на РАТАН-600 узкополостного события, произошедшего 06.10.2014 г. В отличие от события [3], оно было кратковременным и длилось не более 3 секунд времени. Максимум всплеска наблюдался на частоте 4.2 ГГц, ширина полосы всплеска по уровню 0.5 не более 0.2 ГГц. Сопоставление с наблюдениями Солнца в других диапазонах электромагнитного излучения позволило отождествить это событие со слабой вспышкой, происшедшей в хвостовой части активной области NOAA 12182. В максимуме поток от источника всплеска был сравним с интегральным потоком от всей АО, а степень поляризации составляла 12.5% с преобладанием необыкновенной моды излучения. Предварительно можно заключить, что событие было спровоцировано пролетом быстрых частиц ($T_e \sim$ несколько МК) вдоль (или через) аркаду низких арок, а именно, сквозь слой плазмы с $H \approx 500$ Гс. Приведены спектр плотности потока излучения этой активной области и результаты отождествления.

[1] Железняков В.В. Радиоизлучение Солнца и планет. М.: Наука, 560 с. 1964.

[2] Железняков В.В. Излучение в астрофизической плазме. М.: Янус-К, 528 с. 1997.

[3] Богод В.М., Гараимов В.В., Железняков В.В., Злотник Е.Я. Обнаружение циклотронной линии в спектре микроволнового излучения активной области на Солнце и ее интерпретация, 2000, АЖ, Т.77, №4, с.313-320.

О СУЩЕСТВОВАНИИ РАЗДЕЛЬНОГО ДИНАМО СОЛНЦА

П.Г. Плеханов

*ГБОУ СПО СМК, Астрономическая лаборатория «Космос»,
г. Самара, Россия, skb.smk@yandex.ru.*

В докладе обосновывается предположение о существовании раздельного динамо – Солнца. Приводится схема раздельного динамо - Солнца, в которой рассматриваются процессы формирования раздельного динамо в недрах Солнца от раннего периода до наблюдаемых явлений в период солнечной активности. Теоретически обосновывается предположение о природе возникновения в недрах Солнца гипотетического механизма генерации слабого магнитного поля. Показана принципиальная схема периодического преобразования силовых линий слабого магнитного поля в диполь разной полярности в северном и южном полушариях Солнца. Рассматривается механизм преобразования полярности диполя Солнца и усиления слабого магнитного поля в конвективной зоне. Усиление магнитного поля в конвективной зоне протекает раздельно в южном и северном полушариях Солнца. Теоретически обосновываются процессы преобразования полоидального слабого магнитного поля в тороидальное поле и усиления его в конвективной зоне Солнца. На схеме показаны максимумы солнечной активности северного и южного полушария, которые при опускании к экватору затухают, а их разная полярность нейтрализуется. Время формирования в полюсах Солнца малых торков плазмы (вмороженной в магнитно-силовые линии), их усиления в конвективной зоне до глобальных торков и затухания их при подходе к экватору определяет цикл Солнечной активности. Существование глобальных торков в конвективной зоне определяет новое представление о ее строении. Сообщение геофизики (в интернете) о возможном существовании гигантских струйных течений на раскаленной поверхности Солнца может служить подтверждением выдвигаемого предположения о существовании глобальных потоков плазмы в конвективной зоне Солнца. Явления солнечной активности являются наблюдаемым фактом, подтверждающим существованием раздельного динамо Солнца, которое объясняет физику законов: Швабе - Вольфа, Шперрера и Дж. Хейла.

(Схема прилагается отдельным файлом).

[1] Витинский Ю.И. Солнечная активность – М.: Наука, 1983.

[2] Плеханов П.Г. Научная гипотеза по существованию механизма генерации слабого магнитного поля в недрах Солнца (заявка на гипотезу в РАЕН – 2011).

[3] Плеханов П.Г. Солнечная активность (раздельная динамо модель солнечной активности - Монография, 2011).

[4] Северный А.Б. Некоторые проблемы физики Солнца – М.: Наука, 1988.

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ СИЛА КРАТКОСРОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ВТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Татьяна Подладчикова¹, Рональд Ван дер Линден²

¹ Сколковский ИНТ, г. Москва, Россия;

² Solar-Terrestrial Center of Excellence, ROB, Belgium.

Прогнозирование силы 11-летнего цикла солнечной активности имеет большое значение для планирования космических миссий и других приложений космической погоды. В предыдущих работах была показана значимость краткосрочной динамики чисел Вольфа в падающей фазе 23 – го цикла, что позволило выполнить прогноз силы 24 - го цикла с максимальным числом Вольфа, не превышающим 72 (выборка до обновления чисел Вольфа). Однако данная техника прогнозирования требует знание времени минимумов цикла. В этой работе демонстрируется четкая взаимосвязь между второй производной чисел Вольфа в ранней стадии фазы падения и силы следующего цикла солнечной активности, когда цикл еще не достиг своего минимума. Вторая производная чисел Вольфа отражает влияние движущей силы, ответственной за ключевые физические процессы и представляет практическую полезность для понимания природы и происхождения краткосрочных вариаций чисел Вольфа. На основе закономерностей второй производной строится значимый индикатор после достижения циклом своего максимума. Данный индикатор, надежность которого подтверждается для всех циклов с 1 – го по 23- ий, определяет, будет ли следующий 11-летний цикл солнечной активности сильнее или слабее по сравнению с текущим. На основе данного индикатора в ранней стадии падающей фазы 24 - го цикла прогнозируется, что 25-ый цикл солнечной активности будет слабее, чем текущий 24-ый.

РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ПАР ВСПЛЕСКОВ III ТИПА В КОРОНЕ СОЛНЦА

Б.П. Руткевич¹, В.Н. Мельник²

¹ СКБ КП ИКИ РАН, КО, г. Таруса, Россия, bprutkevych@gmail.com;

²РАИ НАН Украины.

Спорадическое радиоизлучение Солнца наблюдается в широком диапазоне частот, от гигагерц до килогерц. Наиболее изученным видом радиоизлучения являются всплески III типа. Механизм генерации этих всплесков принято считать плазменным, причем частота излучения всплесков определяется плотностью плазмы в точке генерации. Иногда различают так называемые гармонические пары всплесков III типа, в которых первый всплеск генерируется на местной плазменной частоте (первая гармоника), а второй на удвоенной плазменной частоте (вторая гармоника). Согласно теоретическим представлениям, два всплеска являются гармонической парой, если в каждый момент времени отношение частоты излучения второй гармоники f_2 к частоте первой гармоники f_1 равно 2. Однако часто при наблюдениях различных гармонических пар солнечных всплесков III типа фактическое отношение f_2/f_1 может быть меньше 2 и достигать 1,6. Считается, что подобное уменьшение может быть обусловлено групповой задержкой ЭМ излучения. В настоящей работе рассматривается распространение излучения первой и второй гармоник всплесков III типа, используя разработанную ранее численную модель для всплесков конечного размера [1,2] Для некоторых значений параметров всплесков III типа численно получены зависимости: длительность от частоты, скорость дрейфа от частоты, скорость дрейфа от направления распространения пучка. Аналитически получена зависимость отношение f_2/f_1 от скорости

пучка электронов. Полученные расчеты согласуются с наблюдательными данными всплесков III типа. Результаты работы могут быть применены как для распознавания гармонических пар всплесков III типа при проведении наблюдений, так и для диагностики плазмы по параметрам зарегистрированных всплесков.

[1] Rutkevych, B.P., Melnik, V.N.; Propagation of type III solar bursts radio emission through the corona. Time profile // Radiophys. Radioastron. 3, pp.205-213. 2012.

[2] Rutkevych, B.P., Melnik, V.N.; Propagation of type III solar bursts radio emission through the corona. Frequency drift rate // Radiophys. Radioastron. 4, pp.285-280, 2012.

ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ СОЛНЦА С ПОВЫШЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ

Л.И. Старкова

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

Проведен анализ эволюции локальных магнитных областей Солнца с целью установления особенностей выхода магнитного потока к фотосфере. Исследовались приэкваториальные места повышенного магнитного потока, представляющие интерес вследствие их наибольшей геоэффективности. Был выбран удобный для изучения таких мест период спада активности 23 цикла. Рассматривались две активные области AR960 и AR964, возникающие последовательно в период 2007 года. В течение эволюции угловые скорости этих областей менялись, достигая минимума в максимальной фазе их развития. Средние скорости за время их существования оказались практически равными 13.44 [°/сут] у AR960 и 13.45 [°/сут] у AR964. Между фазами максимального развития AR960 и AR964 имелся временной интервал в 5 оборотов и широтное различие 52° в кэррингтоновской системе координат. Найденные величины и оценка начальной угловой скорости (≈ 14.6 °/сут) могут быть интерпретированы как проявление дискретности в выходе магнитного потока с долготным интервалом 120° с уровня $\approx 0.85 R_{\text{sun}}$. Выходящий магнитный поток при этом формирует магнитный источник активной области на глубине, где угловая скорость солнечного вещества около 13.45 [°/сут]. И этот уровень расположен значительно глубже пятенного источника, исходя из скорости 13.33 [°/сут] вращения пятен на исследуемой широте (около 8°).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДЕР СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ВЕДУЩЕЙ И ХВОСТОВОЙ ПОЛЯРНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

К.А. Тлатова¹, А.А. Pevtsov², А.Г. Тлатов¹

¹ ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, k.tlatova@mail.ru;

² National Solar Observatory, Sunspot, USA, apevtsov@nso.edu.

В работе выполнен сравнительный анализ размеров ядер солнечных пятен. Мы использовали базу данных измерений магнитных полей пятен и пор обсерватории Mount Wilson 1917-2015 гг. Для этого были оцифрованы значения измерений максимальных магнитных полей в пятнах, выполняемых визуально, а также геометрические характеристики ядер и пор, на зарисовках ежедневных карт. Обнаружено, что распределение площади ядер имеет двухвершинный характер. Максимум распределения площади наибольшего ядра в группе солнечных пятен, ассоциируемого с магнитной полярностью, соответствующей ведущей полярности приходится на площадь $S_{\text{um}} \sim 25$ мдп. Для остальных ядер в группе число

пятен монотонно уменьшается с ростом площади. Рассмотрены вариации распределения в зависимости от амплитуды цикла активности и широты.

ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ Fe/O РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГИЙ ИОНОВ ПРИ РАЗВИТИИ ИМПУЛЬСНЫХ И ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ

Г.С. Минасянц¹, Т.М. Минасянц¹, В.М. Томозов²

¹ АО НЦКИТ им. В.Г.Фесенкова, г. Алматы (АФИФ), Казахстан;

² ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, gennadii.minasya@mail.ru;
tom@iszf.irk.ru.

Используя значения энергетических спектров ионов железа и кислорода, были получены количественные оценки относительного содержания Fe/O в период развития импульсных и длительных вспышечных потоков в семи интервалах энергии от (0.04–0.09) МэВ/н до (63.8–89.8) МэВ/н. При построении спектры энергии интегрировались по периодам возмущенной фазы развития длительных вспышечных потоков. Получаемые таким образом значения Fe/O , содержат больше информации о параметрах области ускорения и межпланетной среды, через которую распространяются ускоренные частицы. Самые высокие значения Fe/O относятся к потокам импульсных вспышек. В районе 1.81 МэВ/н кривая для этих вспышек имеет довольно высокий максимум ($Fe/O \sim 1.9$), далее следует крутое падение. Установлено, что существуют систематические отличия в ходе изменения значений Fe/O в зависимости от энергии ионов для различных классов событий. Проанализировано поведение отношения Fe/O в импульсных и длительных вспышечных потоках на основе проявлений *FIP*-эффекта. *Ключевые слова:* импульсные и длительные события, отношение ионов Fe/O , *FIP*-эффект.

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ВИСТЛЕРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛЕ

Л.В. Филатов¹, В.Ф. Мельников.²

¹ ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия;

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

Известно, что быстрые электроны, инжектированные во вспышечную петлю генерируют ее микроволновое излучение. Характеристики этого излучения определяются как параметрами ускорения/инъекции, так и параметрами петли, в частности, распределениями быстрых электронов вдоль петли, а также по энергии и питч-углу. Хорошо известно влияние кулоновских столкновений быстрых электронов с частицами фоновой плазмы короны на эти распределения. Но в фоновой плазме вспышечной петли могут также присутствовать различные волновые поля, взаимодействие с которыми в петле изучено недостаточно. В настоящей работе рассматривается резонансное взаимодействие быстрых электронов с турбулентностью вистлеров и его влияние на распределение и перераспределение быстрых электронов в процессе их нестационарной инъекции и распространения в петле. Рассмотрение проводится для модели петли с заданными стационарными неоднородными распределениями магнитного поля и плотности плазмы. Кинетика электронов исследуется в каждой точке магнитной петли в диффузионном приближении. Для этого проводится численное решение нестационарного уравнения Фоккера-Планка с коэффициентами трения и диффузии, вычисленными для резонансного взаимодействия с вистлерами при заданной модели их спектральной плотности. Исследовано влияние параметров этих волн на питч-

угловое и энергетическое распределения быстрых электронов, на распределение вдоль петли, на время их удержания в магнитном поле петли. Проведено сравнение с соответствующим влиянием кулоновских столкновений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО, ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЙ ОСЦИЛИРУЮЩЕЙ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

Д.В. Филатов¹, В.Ф. Мельников², И.В. Кудрявцев^{2,3}

¹ ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия;

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

³ ФТИ РАН им. А.Ф.Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия.

Изучено влияние радиальных быстрых магнито-звуковых (БМЗ) волн на характеристики гиротронного радио-, тормозного жесткого рентгеновского и гамма излучений солнечных вспышек. Учтен новый эффект, связанный с модуляцией БМЗ волнами концентрации нетепловых электронов в каждой точке магнитной петли. Модуляция обусловлена перераспределением вдоль петли захваченных в ловушку энергичных электронов, вызванным изменением положения точек отражения этих электронов из-за локального увеличения/уменьшения магнитного поля. Моделирование и анализ этого эффекта на характеристики радио и жесткого рентгеновского излучений в разных частях петли (вершина, основания, ноги) проведено на основе решения нестационарного кинетического уравнения Фоккера-Планка с переменными во времени функцией источника, неоднородными вдоль петли и переменными во времени магнитным полем и плотностью фоновой плазмы короны. Показана роль бетатронного ускорения и кулоновских столкновений.

МЕТОД ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ И УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ

Ю.Е. Чариков, А.Н. Шабалин

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

Метод временных задержек дает дополнительную информацию о динамике ускоренных электронов в петельных структурах магнитного поля во время солнечных вспышек. Анализ рентгеновского излучения, полученного на спектрометре BATSE, выявил три типа спектра временных задержек: спадающий, растущий и U-образный. В данной работе была решена задача определения параметров и условий во вспышечной области, при которых удастся получить наблюдаемые спектры временных задержек. В результате было установлено, что теоретически могут существовать четыре типа временных задержек: вышеперечисленные, а также П-образные. Была установлена связь между параметрами вспышечной петли и типом спектра задержек. Например, спадающие спектры задержек удастся получить только в случае удаленного источника ускоренных электронов и/или слабого градиента магнитного поля в петле и/или присутствия флуктуаций магнитного поля петли. Установлено что метод временных задержек играет важную дополнительную роль при моделировании вспышечных областей на Солнце. В ряде случаев он оказывается единственно эффективным способом различить модели, дающие идентичные рентгеновские изображения.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ КРУТИЛЬНЫХ АЛЬВЕНОВСКИХ КОЛЕБАНИЙ В МАГНИТНЫХ ТРУБКАХ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

С.В. Шестов¹, В.М. Накаряков², С.В. Кузин¹

¹ *ФИАН, г. Москва, Россия;*

² *Университет Уорика, sshestov@gmail.com.*

Крутильные Альвеновские колебания – один из видов магнитогиродинамических колебаний в неоднородной плазме, которые распространяются вдоль магнитного поля со скоростью Альвена. В конфигурации магнитной трубки с невозмущенным магнитным полем, направленным вдоль оси трубки, такие колебания представляют собой азимутальные возмущения скорости плазмы и магнитного поля. Такие колебания могут играть важную роль для нагрева короны Солнца, так как могут являться одним из механизмов переноса энергии из нижележащих слоев атмосферы Солнца в корону (Ofman 2005; Murawski 2015), являться механизмом ускорения солнечного ветра. Анализ возможности нагрева короны и ускорения ветра за счет линейно поляризованных Альвеновских колебаний рассматривался в целом ряде работ в одномерном случае (см., например, Suzuki, 2011; Verdini et al., 2012). Важной составляющей указанных работ являлся каскад передачи энергии от низкочастотных колебаний к высокочастотным, при которых Альвеновские колебания в большей степени подвержены диссипации кинетическими и магнитогиродинамическими механизмами. В случае линейно поляризованных колебаний такой каскад становится возможен благодаря нелинейному взаимодействию колебаний с наведенным возмущением плотности. В работах Vasheghani Farahani et al. (2011) и Vasheghani Farahani et al. (2012) аналитически рассмотрено распространение крутильных Альвеновских колебаний в рамках приближения второй степени по r тонкой магнитной трубки (Zhugzhda, 1996). Было обнаружено, что бегущая крутильная Альвеновская волна приводит к возмущению плотности, которое распространяется с Альвеновской скоростью и имеет удвоенную пространственную частоту. В свою очередь взаимодействие Альвеновской волны с наведенным возмущением плотности приводит к изменению профиля волны, что может быть интерпретировано как перекачка энергии в области более высоких частот. В случае слабой нелинейности изменение профиля может быть описано уравнением Коэна-Калрспуда. Мы провели численное моделирование распространения крутильных Альвеновских колебаний в магнитной трубке с равновесным полем, симметричным оси трубки. Для расчета использовались пакеты LARE3D и MPI-AMRVAC, рассматривалась плазма с конечным β . Рассматривались стоящие и бегущие Альвеновские колебания. Обнаружено наведённое возмущение плотности и другие эффекты, которые, в целом, соответствуют результатам аналитического рассмотрения.

СЕКЦИЯ «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ГЕЛИОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ГЕЛИОСФЕРЕ

И.И. Алексеев

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

До настоящего времени основной интерес к моделированию магнитного поля в гелиосфере был связан с задачей «космической погоды». Речь шла о возможности спрогнозировать межпланетное поле и солнечный ветер в окрестности Земли по тем или иным наблюдениям магнитного поля на уровне фотосферы. Крупномасштабные (порядка 100 а.е.) модели магнитного поля строились в связи с задачей распространения галактических лучей. Основное внимание было направлено на рассеяние на магнитных неточностях, которое определяет коэффициент диффузии энергичных частиц. В то же время современные прямые измерения магнитного поля и потоков энергичных частиц вплоть до и за гелиопаузой, выполненные КА Voyager 1, и измерения энергичных нейтральных атомов проведенные КА IBEX дали информацию о свойствах межзвездной среды в окрестности Солнечной системы и о механизмах взаимодействия этой среды с гелиосферой. В этой связи актуальными стали модели, которые описывают магнитное поле и потоки плазмы во внешней гелиосфере до и за так называемой терминейшен шок, где свободный сверхзвуковой разлет сменяется замедлением несжимаемой жидкости с постоянной плотностью. В обоих случаях плотность потока плазмы убывает пропорционально квадрату гелиоцентрического расстояния, однако до разрыва убывает плотность, а скорость постоянна, а за ним постоянна плотность, а скорость плазмы падает. Меняется и относительная роль азимутальной и тороидальных компонент магнитного поля. Вблизи Солнца главным является радиальное поле, которое убывает обратно пропорционально радиусу в квадрате, а на больших расстояниях остается только азимутальное поле, которое линейно спадает с расстоянием.

АНАЛИЗ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ МЕЖЗВЕЗДНОГО АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА НА КА IBEX НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

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

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

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

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

СРЕДНЯЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ В КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТИПАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

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

На основе нашего каталога крупномасштабных типов солнечного ветра, созданного с использованием базы OMNI за период 1976 – 2000 г (<ftp://www.iki.rssi.ru/pub/omni>), выполнено исследование усредненных временных профилей 20-ти параметров плазмы и магнитного поля в возмущенных типах солнечного ветра (СВ): областях сжатия перед высокоскоростными потоками (HSS) СВ (CIR), в межпланетных выбросах коронарных масс (ICME) (как в магнитных облаках (MC), так и в поршнях (Ejecta), и в областях сжатия перед ICME (Sheath), в том числе с учетом межпланетных ударных волн (IS). Поскольку длительности типов СВ разные, мы используем разработанный нами двойной метод наложения эпох (DSEA): масштабируя длительности интервалов для всех типов СВ таким образом, чтобы начало и конец для всех интервалов выбранного типа совпадали. Главный вывод заключается в том, что поведение параметров в Sheath и в CIR очень похоже, как качественно, так и количественно. И высокоскоростное течение (HSS), и быстрый ICME играют роль поршня, который толкает и сжимает плазму перед собой. Возрастание скорости HSS и ICME приводит сначала к формированию областей сжатия (CIR и Sheath, соответственно), и затем к IS. Появление областей сжатия и IS увеличивает вероятность магнитосферной активности.

РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ СИГНАЛАМИ КОМЕТНОГО ЗОНДА *ROSETTA* И СПУТНИКА МАРСА *MARS EXPRESS* В 2010 - 2011

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

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

² Пущинская РАО АКЦ ФИАН, Россия;

³ ИА им. Аргеландера Боннского университета;

⁴ ИИОС Кёльнского университета.

В период с 4 октября 2010 г. по 27 марта 2011 г. были выполнены два крупномасштабных цикла радиозондирования околосолнечной плазмы дециметровыми (S-диапазон, длина волны 13 см) и сантиметровыми (X-диапазон, длина волны 3.6 см) сигналами кометного зонда *ROSETTA* и спутника Марса *MARS EXPRESS*. Измеряемыми характеристиками зондирующих плазму радиоволн являлись вариации частоты и амплитуды, а также групповое запаздывание дециметровых сигналов относительно времени распространения сантиметровых радиоволн. Эти параметры были зарегистрированы при изменении прицельного расстояния радиолуча от 2.5 до 40 радиусов Солнца для областей, расположенных к востоку и западу от Солнца. Установлено, что зарегистрированные уровни флуктуаций различных радиочастот находятся в согласии с теоретическими значениями для прицельных расстояний R , превышающих 10 радиусов Солнца R_S . Это соотношение нарушается для дистанций $R < 9R_S$ из-за высокого уровня шумов солнечного происхождения для S-диапазона. Среднеквадратичные значения флуктуаций частоты сигналов, излучавшихся зондом *ROSETTA* (4-31 октября 2010 г.), описываются степенными функциями $\sigma_i = A_i(R/R_S)^{-\beta_i}$, где показатели степени β_i для S-диапазона, X-диапазона и дифференциальной частоты имеют приблизительно одинаковые значения в интервале расстояний $10R_S < R < 39R_S$. В диапазоне расстояний между 6 и $8R_S$ зарегистрировано ослабление флуктуаций, что может быть связано с влиянием высоких гелиоширот. Радиальная зависимость уровня частотных флуктуаций сигналов спутника *MARS EXPRESS* (25 декабря 2010 г. - 27 марта 2011 г.) описывается аналогичной степенной зависимостью $\sigma_i = B_i(R/R_S)^{-\beta_i}$, причем показатели степени для фазы захода β_{in} космического аппарата и фазы выхода β_{eg} отличались между собой из-за влияния скорости перемещения трассы распространения радиоволн через неоднородности солнечного ветра. На участке захода космического аппарата за Солнце скорости солнечного ветра и лучевой линии складывались друг с другом, в то время как на участке выхода происходило вычитание скоростей. В этом случае также наблюдался эффект уплощения флуктуаций для прицельных расстояний $4R_S < R < 8R_S$, когда радиосигналы проходили через высокоширотные области сверхкороны. Радиальные зависимости интенсивности частотных флуктуаций были применены для оценки скорости солнечного ветра, на основе эффекта асимметрии между уровнями флуктуаций частоты радиоволн на фазах захода и выхода. Полученные значения скорости оказались довольно низкими, $V_{sw} = (20 \dots 50)$ км/с, при радиальных расстояниях $R = (4 \dots 8)R_S$. Сравнение одновременных измерений флуктуаций дифференциальной доплеровской частоты и дифференциального расстояния подтвердило равенство флуктуаций средних значений интегральной электронной концентрации, определенных из обоих массивов данных. Отношение вариаций средней электронной концентрации к полной электронной концентрации было достаточно низким ($\leq 1\%$) для радиальных расстояний в интервале между 10 и $25 R_S$.

ШИРОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ГЕЛИОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

**М.С. Калинин¹, Г.А. Базилевская¹, М.Б. Крайнев¹,
Н.С. Свиржевский¹, А.К. Свиржевская¹, С.А. Стародубцев²**

¹ *ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, mkalinin@fian.fian.dns.mipt.ru;*

² *ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия.*

По данным космического аппарата *Улисс* в широком временном интервале (1992 - 2008гг.) проанализирован спектр мощности $f(\omega) = A \cdot (\omega/10^{-5})^\nu$ турбулентной составляющей гелиосферного магнитного поля (ГМП) в области частот $10^{-7} - 2 \cdot 10^{-4}$ Гц. Выявлена значительная зависимость показателя спектра ν от гелиошироты: его среднее значение в пределах секторной зоны равно -1.2, а вне секторной зоны -0.8. Установлено, что уровень A спектра мощности также сильно зависит от гелиошироты и изменяется с фазой 11-летнего солнечного цикла. Результаты спектрального анализа использованы при аналитическом представлении тензора диффузии галактических космических лучей. Расчёты интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) с этим тензором показывают, что учёт вклада пространственной зависимости показателя ν и соответствующих изменений уровня мощности спектра ГМП в энергетической зависимости тензора диффузии ГКЛ существенно влияет на описание интенсивности ГКЛ в солнечных циклах.

УДАЛЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ВОДОРОДНОЙ СТЕНКИ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЗМЕРЯЕМОЙ НА ВОЯДЖЕРЕ-1

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

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

Аппарат Вояджер-1 оснащен инструментом UVS, который проводил измерения интенсивности Лайман-альфа излучения в течение 35 лет (1979-2014 гг.). Основным источником Лайман-альфа излучения в гелиосфере — это рассеянное на межзвездных атомах водорода солнечное Лайман-альфа излучение. Преимуществом измерений на Вояджере-1 является его удаленное положение от Солнца, что позволяет исследовать распределение межзвездного водорода в области границы гелиосферы. Наиболее интересной особенностью этого распределения является, так называемая, водородная стенка — это увеличение концентрации атомов снаружи гелиопаузы, связанное с эффективной перезарядкой в этой области и рождением вторичных более медленных межзвездных атомов водорода. В данной работе проведен анализ данных Вояджер-1 по интенсивности Лайман-альфа излучения, полученных в 1993-2003 гг. В этот период Вояджер проводил сканирование неба в некоторой плоскости. Было проведено моделирование измеряемой интенсивности излучения на основании кинетико-газодинамической модели границы гелиосферы, а также модели переноса излучения. Расчеты показали, что отношение интенсивностей в носовой и хвостовой частях гелиосферы зависит от положения и высоты водородной стенки. Кроме того показано, что для объяснения данных Вояджер-1 по Лайман-альфа излучению нам необходимо иметь в моделях более высокую и/или более близкую водородную стенку, чем это предполагалось ранее. Обсуждаются возможные способы решения этой проблемы.

ФАЗА МАКСИМУМА И ИНВЕРСИЯ СОЛНЕЧНЫХ И ГЕЛИОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

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

ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru.

Фаза максимума солнечного цикла (СЦ) характеризуется многими особенностями в характеристиках солнечной и гелиосферной активности и в интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ). Недавно закончилась фаза максимума текущего СЦ 24, во многих отношениях аномального по сравнению с солнечными циклами второй половины 20-го века. В докладе обсуждаются различные аспекты поведения солнечных и гелиосферных характеристик и интенсивности ГКЛ, как общие для фазы максимума СЦ 20-24, так и выделяющие эту фазу для СЦ 24. Кроме того, амплитуда и динамика вариаций солнечной активности и интенсивности ГКЛ в СЦ 24 сравниваются с вариациями этих характеристик, наблюдавшимися за всё время измерений, на основе чего мы пытаемся оценить эти характеристики в следующем минимуме 24/25 между СЦ 24 и 25.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, В ПЛАЗМЕННЫХ ХВОСТАХ КОМЕТ

Е.Р. Моженков, О.Л. Вайсберг

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, egormoz@mail.ru.

В кометной теории, не смотря на имеющиеся исследования, наблюдения, космические эксперименты и моделирование, остается не ясным природа некоторых наблюдаемых нами явлений. Одним из вопросов, не решенных на данный момент, является вопрос о модели образования различных структур в плазменных хвостах комет. Доподлинно неизвестны все процессы протекающие в коме, хвосте и окружении кометы. К сожалению, ограниченные возможности в исследовании возникновения различных явлений в космическом пространстве, вызванных действием солнечного ветра, не позволяют точно воссоздать такое взаимодействие в лабораторных условиях. В данной работе выводы были сделаны основываясь на визуальном, спектрометрическом и др. анализах. Результатами такого анализа является классификация плазменных хвостов комет, описание некоторых явлений, процессов и условий, вызвавших образование тех или иных структур, которые, как предполагается, различны в разных типах, приведено сравнение их между собой. Так же представлен краткий обзор и анализ скоростей, плотностей распределения в плазменных хвостах комет. Затронута тема аномальной ионизации и других возможных моделей образования тех или иных структур.

СТАТИСТИКА ВАРИАЦИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ИОНОВ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ФОРШОКЕ ОКОЛОЗЕМНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

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

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. В то же время наблюдаются и магнитные колебания, обычно нелинейной формы. Анализ статистики частоты колебаний и их корреляционной длины показывает идентичность исследуемого явления т.н. «30-сек» колебаниям форшока. Тенденция к повышенной скорости солнечного ветра для таких колебаний именно в энергичных ионах может быть связана с как с более благоприятными условиями на генерацию колебаний, так и с большей эффективностью ускорения ионов форшока до энергий в десятки и сотни кэВ.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРА ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И МАГНИТОСЛОЕ

**М.О. Рязанцева^{1,2}, Л.С. Рахманова¹, В.П. Будаев^{1,3}, Г.Н. Застенкер¹,
Я. Шафранкова⁴, З. Немечек⁴, Л. Прех⁴**

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия;*

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

³ *РНЦ КИ, г. Москва, Россия;*

⁴ *Charles University in Prague, Czech Republic.*

Характер турбулентных течений плазмы в солнечном ветре и магнитослое носит нестационарный характер. В данной работе рассмотрены характерные особенности частотных спектров и функций распределения турбулентных флуктуаций потока ионов солнечного ветра и магнитослоя на малых масштабах по измерениям прибора БМСВ установленного на спутнике СПЕКТР-Р. Проведен анализ разнообразия видов спектров флуктуаций и форм их функций распределения. Выделены несколько характерных типов спектров флуктуаций и проанализированы условия их формирования. Проведен анализ степени и характера отличий экспериментальных функций распределения мелкомасштабных флуктуаций потока ионов солнечного ветра и магнитослоя от стандартных (Гауссовских) функций распределения и проанализированы возможные причины этих отличий. Выделены случаи перемежаемых и неперемежаемых потоков в солнечном ветре и магнитослое и выявлены характерные условия определяющие разницу в уровне перемежаемости потока. Проведено сравнение статистических характеристик потока ионов солнечного ветра и магнитослоя на малых масштабах с предсказаниями различных статистических моделей турбулентности, показаны преимущества описания с помощью лог-Пуассоновской модели для случая геометрии филаментарных структур.

КОМБИНАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ЛОКАЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ ЧАСТИЦ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ – ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

О.В. Хабарова¹, Г.П.Занк², О.Е.Маландраки³

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

² CSPAR, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL 35805, USA;

³ IAASARS, National Observatory of Athens, GR-15236 Penteli, Greece.

Предложен и обоснован новый механизм ускорения частиц в солнечном ветре до энергий порядка 1-1.5 МэВ, который способен объяснить часто наблюдающиеся нетипичные всплески интенсивности потока энергичных протонов и электронов на околоземной орбите [1-6], не связанные со вспышками или ускорением частиц на ударных волнах. Общепринятая точка зрения гласит, что частицы могут быть ускорены до таких энергий либо (1) на Солнце (во вспышках), либо (2) близко к Солнцу (на ударной волне СМЕ - выброса корональных масс), либо (3) на ударных волнах (forward and reverse shocks), ассоциирующихся с областью взаимодействия медленных и быстрых потоков (CIR-corotating interaction region). Во всех случаях ускорение происходит далеко от Земли, и наблюдатели, находящиеся на одном и том же расстоянии от Солнца и разделенные углом в пару десятков градусов, должны фиксировать схожие вариации потока энергичных протонов и электронов. Однако зачастую вариации интенсивности имеют абсолютно разный профиль или наблюдаются с задержкой, явно соответствующей времени вращения какой-то локальной структуры с солнечным ветром от одного аппарата к другому [5, 6]. Показано, что подобные случаи связаны с пересечением областей, заполненных мелкомасштабными магнитными островами (1~0.01-0.001а.е.) и ограниченных магнитными стенками, представляющими собой токовые слои разного масштаба и формы [5-7]. В соответствии с теорией, развиваемой в [1-4], динамические процессы в магнитных островах (такие как их слияние или сжатие) приводят к локальному ускорению частиц, имеющих до этого лишь небольшое предускорение. Такое изначальное ускорение может являться следствием стандартных механизмов придания частицам дополнительной энергии, а также следствием магнитного пересоединения в токовых слоях, в частности, в гелиосферном токовом слое (ГТС) [8] или его окрестности – плазменном слое. Слияние магнитных островов (и ускорение электрическим полем магнитного пересоединения) наблюдается преимущественно вблизи ГТС, а сжатие (1-ый механизм Ферми) возникает в результате взаимодействия ГТС с СМЕ и CIR [5, 6]. Оба эти процесса характерны для области за фронтом межпланетных ударных волн [6]. Рассматривается комбинация стандартного механизма ускорения на ударных волнах (diffusive shock acceleration- DSA) и механизма ускорения в области, заполненной магнитными островами. Такая область часто образуется за фронтом сильных ударных волн. Данная комбинация рассмотрена на примере ускорения частиц на отошедшей ударной волне гелиосферы (heliospheric termination shock - HTS). Показано, что сочетание двух вышеназванных механизмов позволяет объяснить наблюдаемые профили вариаций потока энергичных частиц в окрестности HTS, что не удавалось сделать уже многие годы [9]. Экспериментально показано, что такой подход позволяет объяснить поведение ускоренных частиц за фронтами сильных ударных волн на разных расстояниях от Солнца.

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

[2] le Roux J. A., Zank G. P., Webb G. M., and Khabarova O. A kinetic transport theory for particle acceleration and transport in regions of multiple contracting and reconnecting inertial-scale flux ropes. *The Astrophysical Journal*, 801, 2, 112, 2015, doi:10.1088/0004-637X/801/2/112.

[3] Zank G.P., Hunana P., Mostafavi P., le Roux J.A., Li Gang, Webb G.M. and Khabarova O. (2015), Particle acceleration by combined diffusive shock acceleration and downstream multiple

- magnetic island acceleration. Journal of Physics: Conference Series, Volume 642, doi:10.1088/1742-6596/642/1/012031.
- [4] le Roux J.A., Webb G.M., Zank G.P. and Khabarova O. (2015), Energetic Ion Acceleration by Small-scale Solar Wind Flux Ropes, Journal of Physics: Conference Series, Volume 642, doi:10.1088/1742-6596/642/1/012015.
- [5] Khabarova O., G.P. Zank, G. Li, J.A. le Roux, G.M. Webb, A. Dosch, O.E. Malandraki. (2015), Small-scale magnetic islands in the solar wind and their role in particle acceleration. 1. Dynamics of magnetic islands near the heliospheric current sheet. The Astrophysical Journal, 808, 181, doi:10.1088/0004-637X/808/2/181.
- [6] Khabarova O. V., G. P. Zank, G. Li, J. A. le Roux, G. M. Webb, O. E. Malandraki and V. V. Zharkova (2015), Dynamical small-scale magnetic islands as a source of local acceleration of particles in the solar wind, Journal of Physics: Conference Series, Volume 642, doi:10.1088/1742-6596/642/1/012033.
- [7] 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, 801, 1, 58 (7pp), 2015, doi:10.1088/0004-637X/801/1/58.
- [8] Zharkova V. & Khabarova O., Re-acceleration of solar wind particles in current sheets of the heliosphere. (2015), Ann. Geophys., 33, 457–470, doi:10.5194/angeo-33-457-2015.
- [9] Zank G.P., Hunana P., Mostafavi P., le Roux J.A., Li Gang, Webb G.M., Khabarova O. Cummings A., Stone E., and Decker R. (2015), Diffusive shock acceleration and reconnection acceleration processes, The Astrophysical Journal, 814:137.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ

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

ФИ им. П.Н.Лебедева, Пушчинская РО, Россия.

В рамках программы мониторинга солнечного ветра на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц проводятся круглосуточные наблюдения межпланетных мерцаний большого числа (около 5 000) компактных радиоисточников. Результатом первичной обработки наблюдательных данных являются ежесуточные двумерные карты распределения уровня мерцаний. Сравнение двумерных карт для соседних суток позволяет по усилениям мерцаний детектировать распространяющиеся (типа выбросов корональной массы) и коротирующие (типа областей взаимодействия разноскоростных потоков) крупномасштабные возмущения в солнечном ветре внутри орбиты Земли. Приведены типичные примеры крупномасштабных возмущений, по сопоставлению с рентгеновскими данными получены оценки скоростей распространения. Результаты относятся к периоду максимума 24 цикла солнечной активности.

ОБНАРУЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА ПУЧКА ИОНОВ, ПРИВОДЯЩЕГО К РАЗВИТИЮ АКТИВНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

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

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

Активация токовых слоев в солнечном ветре, взаимодействующих с околоземной ударной волной, была обнаружена около 30 лет назад. В конечном счете, такой токовый слой, структура которого была возмущена взаимодействием потока солнечного ветра в плотном пучком, возникающим при пересечении токового слоя с ударной волной, получил название Аномалии Горячего Потока (Hot Flow Anomaly). Причиной образования активного токового слоя считается концентрация отраженного от ударной волны потока и фокусировка его в токовом слое и связанной с этим двух-пучковой неустойчивостью. Нами были рассмотрена серия активных токовых слоев, зарегистрированная системой спутников Cluster 22.02.2006 г. в течение приблизительно 1 часа. Ориентация магнитного поля соответствовала нахождению спутников перед квази-перпендикулярной ударной волной. Определенные углы поворота магнитного поля в предположении, что эти токовые слои являются тангенциальными разрывами, находились вблизи 10^0 . В этом интервале времени в промежутках между прохождениями мимо спутников токовых слоев наблюдались отраженные от ударной волны ионы с энергиями ≥ 10 кэВ. Перед каждым из токовых слоев регистрировались отраженные ионы со значительно меньшими энергиями, причем в большинстве случаев в этих отраженных пучках наблюдалась дисперсия по энергии от больших к меньшим по мере приближения токового слоя. Максимальная энергия ионов отраженного пучка, впервые зарегистрированного при приближении к токовому слою, с хорошей точностью пропорциональна величине гирорадиуса протонов, основного компонента солнечного ветра. Анализ функция распределения ионов по энергии в диспергированных отраженных пучках показал, что спектральные распределения ионов непосредственно перед пересечением токового слоя, интегральное энергетическое распределения ионов в диспергированном встречном пучке и энергетический спектр за фронтом околоземной ударной волны, пересеченной спутниками приблизительно через час после наблюдения серии активных токовых слоев, являются, практически, идентичными. Это, а также непосредственное примыкание пучка к токовому слою однозначно указывают на то, что ионы встречного пучка проникают в поток солнечного ветра в из узкой области токового слоя, пересекающего ударную волну. В этой области тангенциального разрыва магнитное поле проходит через нулевое значение и разогретые ионы магниослоя непосредственно проникают в поток солнечного ветра.

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ НЕСООТВЕТСТВИЯ МЕЖДУ ОЖИДАЕМЫМИ И НАБЛЮДАЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Ю.С. Шугай¹, И.С. Веселовский^{1,3}, В.А. Слемзин²,
Д.Г. Родькин²

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

² ФИАН РАН, г. Москва, Россия;

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

В работе анализировалось возможное влияние различных факторов на формирование и распространение потоков плазмы солнечного ветра (СВ) из корональных дыр (КД). За период с 2010 по 2015 годы рассмотрено несколько случаев наибольшего (как по времени прихода, так и по профилю потока) несоответствия между ожидаемыми по прогнозу и наблюдаемыми на 1 а.е. потоками солнечного ветра из КД. Такие несоответствия могут возникать по целому ряду причин. Одни причины связаны с формой и расположением КД в солнечной короне, другие факторы связаны с изменением глобальной конфигурации коронального магнитного поля или с влиянием активных областей, расположенных вблизи границ КД. Происходящие на Солнце процессы, связанные со вспышками, эрупцией протуберанцев и последующим корональным выбросом массы, могут оказывать сильное воздействие на распространение потока СВ из КД в гелиосфере, приводя к различным последствиям вплоть до полного исчезновения ожидаемого высокоскоростного потока СВ из КД на 1 а.е.

SOLAR WIND TURBULENCE FROM FAST BMSW MEASUREMENTS

Z. Nemecek¹, J. Safrankova¹, L. Prech¹, G. Zastenker², F. Nemecek¹,
A. Pitna¹, M. Riazantseva² and C. H. K. Chen³

¹ Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague,
Czech Republic, zdenek.nemecek@mff.cuni.cz;

² IKI RAN, Moscow, Russia;

³ University of London, Imperial College, London, England.

The solar wind provides a unique example to characterize the nature of turbulent plasmas through *in situ* spacecraft observations. Solar wind turbulence has been studied for many decades because understanding of its properties is important to determine the universal features of turbulence and to estimate collisionless plasma heating in general. The turbulence properties at a transition from MHD to kinetic scales are usually studied for magnetic or electric field variations because the time resolution of plasma measurements generally does not reach the transition frequency. The BMSW instrument onboard the Spektr-R spacecraft provides a high-time resolution data (31 ms) of the ion flux, velocity, density, and temperature suitable for an analysis of fluctuations up to 16 Hz. The paper focuses on the statistical analysis of the power spectral densities of the ion density and bulk and thermal velocities. The results are compared with a similar analysis of magnetic field variations recorded by Wind on corresponding intervals. The analysis revealed that the density spectrum flattens on approach to the kinetic scale but this flattening is not observed in velocity spectra, and only exceptionally in the magnetic field. The paper addresses properties of particular spectral slopes and a position of the ion break between scales and discusses their variations across fast forward interplanetary shocks.

СЕКЦИЯ «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ГЕЛИОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

24 ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРОЯВЛЕНИЯХ МАГНИТНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ «МОСКВА» И ОСОБЕННОСТИ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ СПАДА ЦИКЛА

Т.Е. Вальчук

*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк,
tatiana_valchuk_1948@mail.ru.*

Данные геомагнитной обсерватории "Москва" служат основой рассмотрения магнитных бурь (МБ) текущего 11-летнего цикла солнечной активности (СА). Работа охватывает период времени с 2010 года по завершённый 2015 год – с начала фазы роста 24 цикла СА до наступившей фазы спада 24-го 11-летнего солнечного цикла. Цель работы – отождествление гелиофизических источников СА и их проявлений в околоземном космосе по совокупности данных, полученных на Земле и с помощью космических миссий. Протекание характеристических, выделяемых в работе типов магнитных бурь на Земле обусловлено различием источников СА. Такое рассмотрение позволяет дать статистические оценки смены преимущественных тенденций в генерации магнитосферных буревых возмущений на различных фазах солнечного 11-летнего цикла. Типизация магнитных бурь в зависимости от источников солнечной активности будет развита и продолжена по мере поступления данных в 2016 году, а также по мере обработки материалов предшествующих циклов СА.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКИ ЮПИТЕРИАНСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

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

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, 123daibog@gmail.ru.

Для объяснения вариаций на околоземной орбите потоков энергичных электронов, ускоренных в магнитосфере Юпитера, была предложена модель магнитной ловушки в межпланетном пространстве, вращающейся вместе с Солнцем. В настоящей работе предлагается развитие модели ловушки: определяются возможные размеры и варианты структуры ловушки, соответствующие распределению юпитерианских электронов внутри нее. Предпринята попытка объяснить особенности повторяемости прохождения ловушки мимо Земли. За основу взяты измерения юпитерианских электронов и скорости солнечного ветра вблизи орбиты Земли в годы минимумов солнечной активности в 1996-1997 и 2007-2008 гг.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ В ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ИЗ ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР НА 1 А.Е. В 2006-2012 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 и Fe с энергиями 0.04–2 МэВ/нуклон по данным прибора ULEIS/ACE в потоках солнечного ветра (СВ)*. В течение уникального длительного минимума в 23-м и начале 24-го цикла в 2006-2012 гг. были выделены 35 спокойных периодов, в течение которых регистрировались высокоскоростные потоки СВ из приэкваториальных корональных дыр (КД). Параметры КД были получены из сайта Интернета «СНН – coronal hole history»). Время прохождения потоков СВ мимо Земли, т.е. время регистрации ионов в потоке СВ определялись на основании наблюдаемых одновременно понижений величины отношения O^7/O^6 и зарядового состояния ионов Fe по данным прибора SWICS/ACE. Ранее было показано, что надтепловые ионы из КД представляют собой высокотемпературный «хвост» солнечного ветра. Около половины полученных в данной работе спектров можно было аппроксимировать степенной функцией с одним показателем во всем энергетическом диапазоне, остальные спектры были степенными в области меньших энергий и становились близкими к экспоненциальным с ростом энергии. Обсуждается возможный механизм ускорения ионов солнечного ветра до надтепловых энергий, такой как стохастическое ускорение МГД волнами в турбулентной среде, применяя который Fisk & Gloeckler (ApJ, 686:1466Y14732008) получили спектры вида $J=J_0E^{-\gamma} \exp(-E/E_0)$ с постоянной величиной $\gamma=1.5$. Здесь показано, что при подобном представлении спектра величина показателя γ различна для ионов из разных КД, что возможно указывает на разные условия в областях ускорения.

*Термин «солнечный ветер» означает наиболее интенсивную часть солнечного ветра, имеющую максвелловское распределение ионов по скоростям, в интервале энергий ионов 0.1 – 10 кэВ/нуклон.

НАБЛЮДЕНИЕ «ОСТРОВКОВ» ПЛОТНОСТИ В ПОТОКЕ ИОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

И.В. Колоскова, Г.Н. Застенкер, Л.С. Рахманова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия irinakoloskova@mail.ru.

На основе систематических измерений потока ионов солнечного ветра с помощью прибора БМСВ на высоко-апогейном спутнике "Спектр-Р" и сравнения этих измерений с одновременно полученными на КА WIND аналогичными данными выявлено наличие в солнечном ветре мелкомасштабных, но весьма значительных по амплитуде возрастания областей повышенной плотности ионов - "островков плотности" как протонов, так и ионов гелия. Исследованы характерные размеры другие свойства этих "островков".

СРАВНЕНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ И КВАЗИДВУХЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ КРУПНОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СОЛНЦЕ И В ГЕЛИОСФЕРЕ

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

ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru.

Долговременные (11- и 22-летние) и квазидвухлетние вариации характеристик крупномасштабных магнитных полей на Солнце и в гелиосфере, имея много общих черт, существенно отличаются. Во-первых, на Солнце и в гелиосфере совершенно различен вклад в долговременные вариации полоидальной и тороидальной ветвей солнечных магнитных полей (на Солнце $V_{pol}/V_{tor} < 0.1$; в гелиосфере вклады полоидальной и тороидальной ветвей примерно равны). Во-вторых, при проникновении квазидвухлетних вариаций крупномасштабных магнитных полей из Солнца в гелиосферу в их временном профиле наблюдается существенный сдвиг. Мы представляем аргументы в пользу вывода, что оба указанных отличия в характеристиках солнечных и гелиосферных магнитных полей обусловлены, в основном, свойствами подложки гелиосферы - слоя между фотосферой и гелиосферой, где плотность энергии магнитных полей превалирует над плотностями энергии как теплового, так и направленного движения плазмы. Из-за этого магнитные поля в подложке можно приближённо рассматривать в потенциальном приближении, и поэтому при переходе от Солнца в гелиосферу сильно ослабляются магнитные поля малых пространственных масштабов.

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ПОТОКИ И ИХ ВКЛАД В ГЕОМАГНИТНУЮ АКТИВНОСТЬ НА РАЗЛИЧНЫХ ФАЗАХ 22-ЛЕТНЕГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Т.В. Кузнецова

ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, tvkuz2@yandex.ru.

Известно, что наиболее интенсивные бури вызываются CMEs (корональными выбросами массы). Известно также, что HSSs (высокоскоростные потоки из корональных дыр) в среднем более геоэффективны, чем CMEs. Так средний aa индекс геомагнитной активности (ГА) не следует за aa, связанным с CMEs, но очень хорошо коррелирует с aa, связанными с HSSs. Проблема влияния HSSs на состояние ГА еще связана с тем, что Vz-профиль в потоках колеблется около нуля. Последнее означает, что существующие модели взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой, в которых Vz – определяющий параметр, не в состоянии объяснить их эффективность. Цель исследования - найти причину геоэффективности HSSs. Для этого мы используем нашу модель взаимодействия электрических (E) и магнитных (B) полей солнечного ветра с магнитосферой с учетом эффектов годового и суточного движений геомагнитного момента M и на ее основе геоэффективные параметры. Поскольку геометрические эффекты взаимодействия должны были проявиться в полугодовой вариации ГА с пиками в равноденствия, нам удалось предложить новое объяснение этого давно известного факта. В модели электрическое поле утро-вечер $E_{mv} = V_B \mu_y$ (GSE) обеспечивает геоэффективность при $\mu_y < 0$ в 1ю половину, а $\mu_y > 0$ во 2ю половину года. Использовались данные omni поля B, скорости солнечного ветра V за 1963-2012 г. ММП формирует спираль, долготный угол которой соответствует восточно-западной компоненте μ_y . Вначале мы исследуем годовое распределение числа

значений N с $Kp > 4$ для различных направлений ММП (V_x , V_y). Показано, что подавляющее число N дает вклад в классический профиль с максимумами вблизи равноденствий при $V_y < 0$, $V_x > 0$ в 1ю половину, а $V_y > 0$, $V_x < 0$ во 2ю половину года, что по модели обеспечивает эффективность. Эти средние направления V в потоках соответствует знакам компонент спирали Паркера. Результаты показывают, что средний профиль годовой вариации $Kp > 4$ (средне-возмущенная ГА) также имеет классический вид и создается потоками с открытым ММП, мало отличающимся от спирали Паркера. Эти результаты позволяют связать это средне-возмущенное ММП с HSSs. Так как в модели важен знак V_y , ее годовая вариация исследовалась для 2х фаз 22-л. магнитного цикла на основе данных солнечных циклов SCs N20-23. У нас период между максимумами последующих четных-нечетных SCs - EO фаза, а период между максимумами нечетных-четных SCs – OE фаза. Показано, что на EO фазе среднее $V_y < 0$ в 1й половине года, а среднее $V_y > 0$ во 2й, что дает эффективность. На OE фазе среднее V_y показывает противоположные знаки в годовой вариации, что ведет к неэффективности. Используя этот результат мы показываем, что именно в EO фазу (когда годовая вариация V_y дает эффективное взаимодействие) все значения aa-индекса в ее годовой вариации больше, чем в OE фазу. Причина - преобладание эффективного знака V_y в течение года в EO фазу. Таким образом показано, что эффективность взаимодействия между HSS и магнитосферой определяется электрическим полем утро-вечер E_{mv} , которое появляется в плоскости взаимодействия из-за изменения взаимной ориентации крупномасштабных B и E полей в солнечном ветре относительно геомагнитного M при его годовом движении. Для появления этого E_{mv} поля не нужна $B_z < 0$ и ее флуктуации, которые в среднем в HSSs отсутствуют и которые обсуждаются при разработке моделей взаимодействия. Показано также, что эффективность HSSs зависит от фазы 22л цикла и проявляется четко в ГА в периоды, которые включают фазу спада четных SCs и последующую фазу роста нечетных SCs (EO фаза 22л цикла в нашем исследовании).

ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЛИЯНИЕ ПЛАНЕТ НА 11-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.П. Охлопков

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

Проведены расчеты результирующей приливной силы со стороны Юпитера, Земли и Венеры, действующей на Солнце. Рассматривая приливные силы как разность сил притяжения, действующих на крайние по диаметру точки Солнца и на центр Солнца, показано, что имеются большие вариации результирующей приливной силы (РПС) в моменты времени линейных конфигураций планет Венеры, Земли и Юпитера и что максимальные значения вариаций РПС очень хорошо соответствуют минимальным значениям планетного индекса JEV (индекс линейных конфигураций планет Венеры, Земли и Юпитера), введенного автором в предшествующих работах [1-4].

[1] *Охлопков В.П.*, Циклы солнечной активности и конфигурации планет // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2012. № 4. С. 56-61. (*Okhlopkov V.P.*, Cycles of Solar Activity and the Configurations of Planets, Moscow University Physics Bulletin. 2012, **67**, № 4, P.377–383). (DOI 10.3103/S0027134912040108).

(<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, **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 // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 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, **69**, No. 3, pp. 257–262. © Allerton Press, Inc., 2014).

[4] *Охлопков В.П.*, 11-летний планетный индекс солнечной активности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Материалы IV международной научной конференции “Общество, наука, инновации”, 2015, Москва, № 07, часть IV, С. 8-19.

РЕКУРРЕНТНОСТЬ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ В СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

Д.И. Понявин

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, d.ponyavin@spbu.ru.

В работе проведен анализ рекуррентности (повторяемости) геомагнитных возмущений в цикле солнечной активности. Исследованы источники рекуррентности в солнечном ветре и на Солнце. При этом были использованы данные наблюдений на космических аппаратах и данные наземных обсерваторий. В результате получены сведения об организации и эволюции магнитного поля на Солнце и отражение их в геомагнитной активности. Исследована рекуррентность в настоящее время и в прошлом с целью выявления долговременных трендов и реакции геомагнитной активности на переполюсовку общего магнитного поля на Солнце. Продемонстрирована эффективность прогноза солнечного цикла по геомагнитной активности (прогноз Оля).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ АЛЬФВЕНОВСКИХ И БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

П.А. Прокопов, Ю.П. Захаров, И.Ф. Шайхисламов,
В.Н. Тищенко, В.Г. Посух, А.Г. Пономаренко,
А.В. Мелехов, Э.Л. Бояринцев

ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, raprok312@gmail.com.

В экспериментах с лазерной плазмой и замагниченной фоновой плазмой изучалась генерация Альфвеновских волн, распространяющихся вдоль внешнего магнитного поля B_0 , и бесстолкновительных ударных волн, распространяющихся поперек B_0 . Бесстолкновительное взаимодействие взаимопроникающих потоков плазмы происходит за счет так называемого Магнитного Ламинарного Механизма (МЛМ). Лазерная плазма, расширяясь, вытесняет внешнее магнитное поле, образуя магнитную каверну, на границе которой генерируются круговое электрическое поле E_ϕ . Ионы фоновой плазмы ускоряются вдоль этих полей, а ионы лазерной плазмы замедляют свое вращение по ларморовским радиусам. Движение ионов генерирует азимутальное магнитное поле B_ϕ , которое может запускать торсионную Альфвеновскую волну. Аналогичные возмущения распространяются в плазменных магнитных трубках в солнечной короне. В предыдущих экспериментах на стенде КИ-1 изучалась генерация сильных возмущений, распространяющихся поперек поля B_0 с магнитозвуковой скоростью при значениях МЛМ параметра $\delta \sim 0.3$. В данной работе приведены результаты экспериментов при значении $\delta \sim 1/2$ и большом числе Альфвена-Маха

$M_A \sim 10$, в которых наблюдалось сильное возмущение, распространяющееся поперек B_0 на масштабах ~ 1 м в фоновой плазме с концентрацией $\sim 3 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Аналогичные процессы происходят при корональных выбросах массы на Солнце. В таких же условиях, но с меньшим $M_A \sim 2$, изучалась генерация, структура и динамика Альфвеновских волн с длиной волны $\sim 0,5$ м, распространяющихся вдоль силовых линий внешнего магнитного поля B_0 напряженностью $\sim 100 \div 500$ Гс на расстояния $\sim 2,5$ м.

ДИНАМИКА БЫСТРЫХ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ МАГНИТОСЛОЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

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

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

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

Общеизвестно, что перед магнитопаузой постоянно существует турбулентная переходная область – магнитослой. Параметры плазмы и магнитного поля в магнитослое флуктуируют в широком диапазоне частот. К настоящему времени в области высоких частот (> 1 Гц) изучены только вариации магнитного поля в магнитослое из-за отсутствия спутниковых измерений параметров плазмы с достаточно высоким временным разрешением. В данной работе использованы данные прибора БМСВ на борту спутника Спектр-Р, измеряющего характеристики плазмы с высоким временным разрешением – до 31 мс. На основе нескольких примеров пересечения спутником магнитослоя исследуется динамика турбулентных свойств плазмы при удалении от границ магнитослоя – околосолнечной ударной волны и магнитопаузы. В работе проводится статистическое исследование уровня высокочастотных флуктуаций параметров плазмы магнитослоя и характеристик частотных спектров флуктуаций. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00818 мол-а.

КОРОНАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНЗИЕНТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

**Д.Г. Родькин¹, В.А. Слемзин¹, Ф.Ф. Горяев¹,
Ю.С. Шугай²**

¹ ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия, rodkindg@gmail.com;

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

Цель данной работы - выявление корональных источников транзитных потоков солнечного ветра (СВ), вызывающих геомагнитные бури, и рассмотрение динамики развития этих потоков. Для идентификации типа корональных источников потоков СВ предполагается использовать ионный состав СВ, который отличается для разных типов корональных источников (зависит от температуры плазмы), устанавливается в короне на расстояниях менее 4 солнечных радиусов и не изменяется в гелиосфере в отличие от других параметров (напряженности межпланетного магнитного поля, скорости, плотности и кинетической температуры протонов). В работе были рассмотрены параметры транзитных потоков СВ (по данным космического аппарата ACE), вызвавших сильную магнитную бурю (с $Dst < -100$ нТл) 5-6 августа 2011 года. С использованием баллистической модели по скорости СВ были определены вероятные источники транзитных потоков, которыми являлись вспышки

2, 3 и 4 августа 2011 г. По данным SDO/AIA построены разностные изображения и рассмотрена динамика солнечных событий 2, 3 и 4 августа 2011 г. По полученным данным проводилась диагностика плазмы во вспышке и выбросе, а также анализировался ионный состав и его эволюция в солнечной короне с учетом баланса между процессами ионизации и рекомбинации. Рассмотрение ионов Fe показало, что в плазме коронального выброса 2 августа 2011 г. при начальной температуре 7-9 МК при движении в короне до области замораживания ионы FeXIX рекомбинировали до FeXIII, что соответствует среднему заряду в транзиентном потоке СВ, вызвавшем магнитную бурю. Путем сопоставления параметров плазмы корональных выбросов с ионным составом транзиентных потоков СВ было установлено, что причиной начала магнитной бури 5-6 августа 2011 г. послужил транзиентный поток, пришедший 5 августа 2011 г, а источником этого потока были солнечная вспышка и корональный выброс массы 2 августа 2011 г. Идентификация корональных источников геоэффективных транзиентных потоков СВ при сопоставлении ионного состава в источнике по данным ВУФ спектроскопии с параметрами в потоке СВ на 1 а.е. поможет в дальнейшем улучшить точность прогнозов космической погоды.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРОНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ПРИБОРОМ БМСВ НА СПУТНИКЕ СПЕКТР-Р

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sapunova_olga@mail.ru.

Была исследована тонкая структура фронтов Межпланетных Ударных Волн (МУВ), зарегистрированных установленным на спутнике СПЕКТР-Р плазменным спектрометром БМСВ, позволяющем получать параметры плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением – 0.031 с. Это дало возможность подробно исследовать фронты МУВ. Значения магнитного поля были взяты со спутников WIND, THEMIS-B/-C, CLUSTER C1-4. Показано, что толщина фронта МУВ лежит в пределах от 40 км до 600 км. В некоторых событиях сравнение толщины фронта по плазме и по магнитному полю дало разницу по порядку величины. Во многих событиях наблюдались колебания, опережающие фронт МУВ (как по параметрам плазмы, так и по значениям магнитного поля). Их длина составила от 70 до 400 км. Сравнение длин колебаний, определенных по плазме и магнитному полю показало хорошее соответствие – отличие составило не более 35%. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00818 мол-а.

СВЯЗЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГЕЛИОСФЕРЕ С СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ

**Н.С. Свиржевский, Г.А. Базилевская, А.К. Свиржевская,
Ю.И. Стожков**

ФГЮУН ФИ РАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, svirzhev@fian.fiandns.mipt.ru.

Обсуждается возможность представления измеряемого в гелиосфере магнитного поля в виде суммы паркеровского спирального поля, связанного с однородным сферически-симметричным расширением короны Солнца, и магнитных полей различных гелиосферных образований – коротящих областей взаимодействия, выбросов корональной массы, гелиосферных токовых слоев и др. Предполагается, что спиральное поле вмерожено в плазму и выносится в гелиосферу солнечным ветром, а магнитные поля, регистрируемые в различных гелиосферных явлениях, образуются в гелиосфере во взаимодействиях разноростных потоков солнечного ветра. Направления магнитных полей от гелиосферных источников отклоняются от паркеровской спирали, а их величины и временные флуктуации могут быть представлены как функции локальных параметров гелиосферной плазмы – температуры и плотности протонов. Приводятся описание возможного механизма генерации магнитного поля в гелиосфере и примеры вычислений магнитного поля по температуре и плотности протонов в коротящих областях взаимодействия и на гелиосферном токовом слое.

СЕКЦИЯ «ИОНОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

НИЖНЯЯ ИОНОСФЕРА ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ ЧАСТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ВБЛИЗИ НИЖНЕГО НОВГОРОДА

**Н.В. Бахметьева, В.Д. Вяхирев, Е.Е. Калинина,
Г.П. Комраков**

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

В работе приведены результаты исследований реакции нижней ионосферы Земли на частные солнечные затмения 11 августа 1999 г., 1 августа 2008 г. и 20 марта 2015 г. по наблюдениям в лаборатории «Васильсурск» (56,1°N; 46,1°E) ФГБНУ НИРФИ. Наблюдения ионосферы в период затмения и в контрольные дни проводились методом частичных отражений, основанным на рассеянии радиоволн естественными неоднородностями области D и методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы. Искусственные периодические неоднородности (ИПН) создавались излучением передатчиками стенда СУРА мощной радиоволны необыкновенной поляризации в зенит на частоте 4,7 МГц. Измерялись амплитуды и фазы сигналов, рассеянных естественными и искусственными неоднородностями. Во время затмения 11 августа 1999 г. наблюдалось множество отражений от различных ионосферных образований, в том числе «расслоения» в E- и верхней части D-области, которые вызывали глубокие вариации сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями, с уменьшением амплитуды сигнала на 15-20 дБ. Во время затмения 1 августа 2008 г. методом частичных отражений получено уменьшение электронной концентрации в области D в 3-5 раз. На высотах выше 88 км отклик ионосферы запаздывал на 20-25 минут по отношению к моменту максимальной фазы затмения, в то время как в нижней части области запаздывание составляло несколько минут. Во время затмения 20 марта 2015 г. зарегистрировано увеличение амплитуд сигналов, рассеянных искусственными периодическими неоднородностями, в области E на 30–40 дБ. Оно обусловлено уменьшением поглощения и расширением диапазона высот приема рассеянных сигналов. До и после окончания затмения сигналы, рассеянные искусственными периодическими неоднородностями в области D были сравнимы по амплитуде с сигналами от неоднородностей области E, что в экспериментах по наблюдению ИПН наблюдается крайне редко. Во время затмения наблюдался характерный для перехода к ночному режиму ионосферы рост высоты рассеянных сигналов в области D и расслоение области D вблизи максимальной фазы, которое обычно наблюдается в весенние и осенние периоды. Кроме того, зарегистрированы рассеянные сигналы с большой амплитудой и сравнительно длительной релаксацией после окончания воздействия на ионосферу с высот мезопаузы 86-88 км. Рассеянные сигналы на этих высотах обычно отсутствуют из-за роста концентрации атомарного кислорода, препятствующего образованию ИПН за счет прилипания электронов к молекулам кислорода при тройных соударениях. Во временных вариациях характеристик рассеянных сигналов и, особенно, скорости вертикального движения плазмы, проявлялись интенсивные волновые движения с периодами, характерными для внутренних гравитационных волн. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по гранту № 13-05-00511.

АНАЛИЗ ВОЗМУЩЕНИЙ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАДИОЗАТМЕНИЙ

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

*ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия,
alg248@hotmail.com.*

Исключительным преимуществом радиозатменных экспериментов является возможность получения долговременных однородных измерений параметров ионосферы планеты во всем интервале высот от нижней до верхней границы. В течение года наблюдений за сигналами спутников Венера-15,-16 накоплен массив данных, анализ которых позволяет, с одной стороны, сделать заключение о существовании связи между характеристиками ионосферных аномалий и условиями освещенности Солнцем, с другой стороны, выбрать информацию для детального физического анализа ионосферных возмущений. Архив данных экспериментов двухчастотного радиопросвечивания газовой оболочки Венеры предоставил возможность изучить временную и пространственную изменчивость ионосферы на дневной и на ночной стороне планеты. Потоки частиц, ионизирующих ночную атмосферу, формируют сложную структуру вертикальных профилей концентрации электронов. Изменение характеристик ионизирующих потоков деформирует распределение электронной концентрации, а нестационарность источников ионизации усложняет анализ закономерностей формирования ночной ионосферы. В докладе обсуждается достоверность полученных сведений о явлениях в ночной ионосфере, в том числе о волновых явлениях и возбуждаемых ими ионосферных возмущениях, а также анализируются погрешности метода радиозатмений и их влияние на обнаружение и локализацию стратифицированных слоистых структур с использованием выявленного инварианта радиозатменного эксперимента. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 9 Президиума РАН и гранта РФФИ № 15-45-03266.

ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОНДЕРОМОТОРНОЙ СИЛЫ НА АВРОРАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ЛИНИЯХ

И.В. Головчанская

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

В работе обсуждаются и приводятся примеры нелинейных эффектов, связанных с пондеромоторной силой, которая возникает в волновых полях, неоднородных в пространстве. Рассматриваются альфвеновские и инерционные альфвеновские волны в авроральной ионосферно-магнитосферной системе. Особое внимание обращается на: (i) плазменные неоднородности в сильных альфвеновских возмущениях с разными поперечными масштабами; (ii) возможность ускорения и последующего оттока в магнитосферу ионосферных ионов; (iii) расщепление и появление тонкой структуры внутри альфвеновских резонансов. Показано, что перечисленные эффекты могут найти естественное объяснение в рамках пондеромоторного механизма.

ОПТИЧЕСКОЕ СВЕЧЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫМ КВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ: ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ; ОСОБЕННОСТИ ПРИ ЧАСТОТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВБЛИЗИ 4-Й ЭЛЕКТРОННОЙ ГИРОГАРМОНИКИ

А.В. Шиндин¹, Д.А. Когогин², А.Б. Белецкий³,
С.М. Грач¹, В.В. Клименко⁴, И.А. Насыров²,
Е.Н. Сергеев⁵.

¹ ФГАОУ НИ НГУ им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия, freaz@bk.ru;

² ФГАОУ ВПО КФУ, г. Казань, Россия;

³ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия;

⁴ ИПФ СО РАН, г. Нижний Новгород, Россия;

⁵ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия.

Представлены результаты предварительного анализа данных двухпозиционных наблюдений искусственного оптического свечения ионосферы в линии $\lambda = 630$ нм с использованием пары высокочувствительных ПЗС-камер при вертикальном воздействии на ионосферу ВЧ радиоизлучением стенда «Сура». Эксперименты проводились 24 и 26 августа 2014 г. Расстояние между пунктами составляло 166 км. Первый пункт наблюдения располагался в непосредственной близости от передатчиков стенда ($56,15^\circ$ с.ш., $46,10^\circ$ в.д., р/п Васильсурск, Нижегородская обл.) и был оснащен ПЗС-камерой с полем зрения $\sim 20,5^\circ$. Второй пункт располагался вблизи г. Зеленодольск ($55,93^\circ$ с.ш., $48,74^\circ$ в.д., р. Татарстан) и был оснащен ПЗС-камерой с объективом типа «рыбий глаз» и полем зрения $\sim 145^\circ$. Для сопоставления изображений, полученных с помощью камер, было необходимо решить следующие задачи: 1) определить ориентацию камер в момент съемки, а также величину и характер геометрических искажений вносимых в изображения оптическими системами камер; 2) осуществить калибровку полученных значений интенсивности свечения с поверхностной яркостью; 3) выделить на изображениях пятна искусственного оптического свечения; 4) сформировать из всего набора изображений пары, синхронизированные по времени съемки; 5) решить обратную задачу по определению пространственных характеристик области искусственного оптического свечения по двум проекциям этой области на поле зрения ПЗС-камер. Из всего набора синхронизированных по времени изображений в общей сложности было выбрано 13 пар (две в экспериментах 24.08.14 и 11 – 26.08.14), на которых пятно свечения было хорошо различимо и имело максимальную интенсивность. Предварительный анализ результатов экспериментов показал, что центр области генерации свечения находится на высоте приблизительно на 10 км ниже точки отражения волны накачки вблизи высоты ее верхнегибридного резонанса, а размер области свечения составляет около 20 км. Как правило, центр области при этом смещен от вертикали в направлении магнитного зенита (азимут 191°) приблизительно на $0,5^\circ$. В докладе представлены также новые результаты анализа эксперимента 14.09.12, когда при естественных изменениях высоты области взаимодействия волны накачки с ионосферной плазмой, а также при изменениях частоты волны накачки (f_0) соотношение последней с 4-й электронной гирогармоникой ($4f_{ce}$) изменялось в непосредственной близости от кратного гирорезонанса. При этом отстройка f_0 от $4f_{ce}$ определялась по данным измерений искусственного радиоизлучения ионосферы. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 14-12-00706).

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО СВЕЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ЛИНИИ 630 НМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕЕ МОЩНЫМ КВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ

**А.В. Шиндин, С.М. Грач, Д.А. Когогин,
В.В. Клименко, И.А. Насыров, Е.Н. Сергеев**

*ФГАОУ НИНГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород,
Россия, freaz@bk.ru.*

Представлены результаты предварительного анализа данных разнесенных оптических наблюдений искусственного оптического свечения в линии $\lambda = 630$ нм с использованием пары высокочувствительных ПЗС-камер при вертикальном воздействии на ионосферу ВЧ радиоизлучением стенда «Сура» 24 и 26 августа 2014 г. Расстояние между пунктами составляло ~ 166 км. Первый пункт наблюдения располагался в непосредственной близости от передатчиков стенда ($56,15^\circ$ с.ш., $46,10^\circ$ в.д., р/п Васильсурск, Нижегородская обл.) и был оснащен ПЗС-камерой с полем зрения $\sim 20,5^\circ$. Второй пункт располагался вблизи г. Зеленодольск ($55,93^\circ$ с.ш., $48,74^\circ$ в.д., р. Татарстан) и был оснащен ПЗС-камерой с объективом типа «рыбий глаз» и полем зрения $\sim 145^\circ$. Для сопоставления изображений, полученных с помощью камер, было необходимо решить следующие задачи: 1) определить ориентацию камер в момент съемки, а также величину и характер геометрических искажений вносимых в изображения оптическими системами камер; 2) осуществить калибровку полученных значений интенсивности свечения с поверхностной яркостью; 3) выделить на изображениях пятна искусственного оптического свечения; 4) сформировать из всего набора изображений пары, синхронизированные по времени съемки; 5) решить обратную задачу по определению пространственных характеристик области искусственного оптического свечения по двум проекциям этой области на поле зрения ПЗС-камер. Для решения этих задач был создан набор прикладных компьютерных программ. Решение задач 1-2 состоит в сопоставлении изображений с камер с картами звездного неба. Задача 3 состоит в поиске оптимального алгоритма обработки изображений, который бы одинаково хорошо подходил для обеих камер с учетом различия в их характеристиках. Задача синхронизации изображений во времени решается путем интерполяции. Идея решения обратной задачи состоит в использовании различных геометрических моделей области свечения и вариации параметров этой модели, с целью наилучшего совпадения модельных и реальных проекций области свечения на поле зрения камер. На первом этапе использовалась модель области в виде шара. Соответственно, варьировались координаты центра шара и его радиус. Необходимо отметить, что из всего набора синхронизированных по времени изображений в общей сложности было выбрано 13 пар (две пары в экспериментах 24 августа 2014, 11 – в экспериментах 26 августа 2014 г.), на которых пятно свечения было хорошо различимо и имело максимальную интенсивность. Большое число изображений было отбраковано из-за присутствия в кадре облачности. Предварительный анализ результатов экспериментов, проведенных 24, 26 августа 2014 г. показал, что центр области генерации свечения находится на высоте приблизительно на 10 км ниже точки отражения волны накачки вблизи высоты ее верхнегибридного резонанса, а размер области свечения составляет около 20 км. Как правило, центр области при этом смещен от вертикали в направлении магнитного зенита (азимут 191°) приблизительно на $0,5^\circ$. В дальнейшем планируется использование модели области в виде эллипса с целью выявления возможной «вертикальной вытянутости» области свечения. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№ 14-12-00706).

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПРИБОРА ЗОНД ЛЕНГМЮРА МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ОБСТАНОВКА (1 ЭТАП)» НА БОРТУ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

**В.А. Грушин¹, С.И. Климов¹, Б. Киров²,
Д. Бачваров², В.Е. Корепанов³, И.Э. Белова¹,
Д.Ф. Дудкин³, Д.И. Новиков¹, Л.Д. Белякова¹**

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

² ИКИТ Болгарской академии наук, г. София, Болгария;

³ Львовский центр ИКД НАНУ/ГКАУ, г. Львов, Украина.

В ходе проведения международного эксперимента «Обстановка (1 этап)» на Российском сегменте Международной космической станции создана база данных измерений, выполненных прибором Зонд Ленгмюра (ЗЛ-1), изготовленным Институтом космических исследований и технологии Болгарской академии наук и входящим в Плазменно-волновой комплекс (ПВК) эксперимента «Обстановка (1 этап)». В докладе проводится сравнение данных ЗЛ-1 с данными других экспериментов («Космос-378», «Интеркосмос-10», «Интеркосмос-Болгария-1300») и данными других приборов ПВК, демонстрируются, как качественное подобие, так и различия результатов. Рассматриваются различные математические методы получения производных параметров по измеренным вольтамперным характеристикам. Выполняется пространственная группировка данных в географических и геомагнитных системах координат. Приводятся примеры синхронного обнаружения аномалий в данных ЗЛ-1 и данных магнитометрических приборов ПВК.

СВОЙСТВА МЕДИАНЫ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ F2-СЛОЯ В НОЧНОЙ СУБАВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

М.Г. Деминов

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

Характерной особенностью ночной субавроральной области является главный ионосферный провал (ГИП) в критической частоте F2-слоя foF2. Обычно этот провал достаточно отчетлив как для спокойных, так и возмущенных условий, что отражено в известных моделях локализации минимума ГИП. Тем не менее, современные эмпирические модели ионосферы, включая международную модель IRI, не показывают существования отчетливого ГИП для медианы foF2 за месяц в фиксированное местное время. Возможны два варианта: а) отсутствие ГИП для медианы foF2 в модели IRI связано с неточностью этой модели; б) отсутствие ГИП для медианы foF2 связано с особенностями свойств медианы foF2, для которой ГИП действительно отсутствует или очень слабо выражен. Целью данной работы были первые оценки свойств медианы foF2 в ночной субавроральной области для выбора одного из этих вариантов. Для этого использовались данные наземных ионосферных станций, по которым и была построена глобальная модель медианы foF2 (с коэффициентами SSIR) как составная часть модели IRI. Предварительные результаты этих оценок сводятся к следующему:

[1] Во многих случаях в ночные часы зимой медиана foF2 за месяц (в фиксированное местное время) показывает гораздо менее отчетливый ГИП по сравнению с широтным распределением среднего за месяц значения foF2. Это в значительной степени связано с тем, что на разных широтах медиане foF2 соответствует разная геомагнитная активность.

[2] Исключения составляют периоды продолжительной низкой геомагнитной активности, когда в ночные часы зимой ГИП достаточно отчетливо выражен даже для медианы foF2. Дано обсуждение особенностей ГИП в foF2 по данным наземных ионосферных станций и данным внешнего зондирования ионосферы со спутников. Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-05-00179) и Программой № 9 Президиума РАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ КОРОТКИХ ВОЛН ПРИ ИОНОСФЕРНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ

**В.Е. Захаров¹, М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко²,
Д.С. Котова^{1,2}**

¹ БФУ им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия, VEZakharov@kantiana.ru;

² КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, г. Калининград, Россия, maksim.klimenko@mail.ru, vvk_48@mail.ru, darshu@ya.ru.

Для описания распространения коротких волн в ионосфере широко применяется приближение геометрической оптики. Среда распространения считается слабо неоднородной и поглощающей. Развитие неоднородной структуры коротких волн при их распространении вглубь ионосферы является одним из актуальных эффектов для исследования. Под неоднородностью структуры волны понимается различие между направлением распространения фазы и направлением распространения энергии в волне. Целью исследования является численное моделирование развития неоднородной структуры коротких волн в трехмерно неоднородной анизотропной ионосфере. Для описания среды распространения радиоволн использовались эмпирическая справочная модель ионосферы IRI-2012, модель нейтральной атмосферы MSIS-86, а также Глобальная Самосогласованная Модель Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП). Модель ГСМ ТИП, в частности, расширяет возможности моделирования распространения радиоволн в ионосфере при переходе от спокойных условий к периодам геомагнитных возмущений. При моделировании лучевых траекторий и поглощения коротких волн в ионосфере использовался численный алгоритм, реализованный в комплексе прикладных программ, разработанный в 2006 г. Результаты проведенных исследований отражают анализ зависимостей углов между векторами импульса/индукции магнитного поля и луча в зависимости от выбора частоты, положения передатчика, направления излучения и геофизических условий.

РОЛЬ СДВИГА ДРЕЙФОВОЙ СКОРОСТИ ИОНОВ НА ВОЗБУЖДЕНИЕ ВОЛН ИОННО-АКУСТИЧЕСКОГО ТИПА В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ

**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.

Исследуется возбуждение наклонных волн ионно-акустического типа в присутствии сдвига дрейфовой скорости заряженных частиц, направленного вдоль однородного магнитного поля. Ионно-акустические волны рассматривались на фоне двух источников неоднородной плотности энергии: неоднородного электрического поля и сдвига дрейфовой скорости ионов. Для изучения нелокальной неустойчивости, приводящей к генерации волн ионно-акустического типа, 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 сдвига дрейфовой скорости ионов и локализованного электрического поля. С целью более детального анализа построены трехмерные графики, позволяющие лучше интерпретировать полученные результаты. Показано, что сдвиг дрейфовой скорости ионов могут возбуждать ионно-акустические волны независимо от неоднородностей электрического поля. Совместный учет неоднородностей электрического поля и градиентов продольного тока приводит к уширению области неустойчивости. При этом сдвиг дрейфовой скорости заряженных частиц оказывает на генерацию ионно-акустических волн большее влияние, чем градиент электрического поля.

МОДЕЛЬ ГЛАВНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА ДЛЯ ЗИМНИХ НОЧНЫХ УСЛОВИЙ ПО ДАННЫМ ИНТЕРКОСМОС-19 И СНАМР

**А.Т. Карпачев, М.В. Клименко, В.В. Клименко,
Л.В. Пустовалова**

ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, ГО, karp@izmiran.ru.

Впервые построена эмпирическая модель главного ионосферного провала (ГИП) для ночных условий местной зимы в северном и южном полушариях для спокойных условий ($K_p=2$). Модель состоит из двух частей – модели положения провала в терминах географической широты и модели формы провала, которая представляет собой вариации f_oF_2 в области ГИП с широтой и долготой в интервале широт $45-75^\circ$ в северном полушарии и $40-80^\circ$ в южном. Таким образом, фактически построена эмпирическая модель субавроральной ночной ионосферы. Для построения модели использованы данные спутника Интеркосмос-19 для высокой солнечной активности (~ 3500 витков) и данные спутника СНАМР ($\sim 30\,000$ витков), как для высокой, так и низкой активности. Модель справедлива для ночных условий в интервале местного времени 18-06 ч, для всех уровней солнечной активности. В рамках модели выделены и детально исследованы суточные и долготные вариации положения минимума ГИП в терминах географической широты. Выделены также и исследованы широтные и долготные вариации f_oF_2 в области ГИП. Адекватность модели проверена по данным наземных станций. Показано, что модель ночной зимней субавроральной ионосферы гораздо более адекватно воспроизводит суточные, долготные и широтные вариации f_oF_2 , чем международная модель ионосферы IRI-2012. Модель установлена на сайте ИЗМИРАН: <http://www.izmiran.ru/ionosphere/sm-mit/>.

КИНЕТИКА МЕТАСТАБИЛЬНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА В АТМОСФЕРАХ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

А.С. Кириллов

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

Молекулярный азот является основной составляющей атмосфер Земли, Титана, Тритона. Кроме того, в больших количествах он присутствует в атмосферах Венеры и Марса. При взаимодействии солнечных фотонов, высокоэнергичных электронов и протонов, фотоэлектронов с атмосферами указанных планет значительная доля вносимой энергии трансформируется в энергию электронного возбуждения молекул N_2 . В дальнейшем энергия электронного возбуждения трансформируется в энергию возбуждения триплетного метастабильного азота $N_2(A)$ при излучательных и столкновительных процессах. В рамках квантово-химических приближений проведен расчет скоростей гашения электронно-возбужденного азота $N_2(A)$ при неупругих взаимодействиях с молекулами N_2 , CO, O_2 и т.д., входящими в состав атмосфер планет Солнечной системы. При расчетах получены квантовые выходы продуктов неупругого взаимодействия. Исследованы процессы электронно-электронного и колебательно-колебательного обмена энергией при столкновениях возбужденных молекул N_2 с различными газами. Показана важная роль межмолекулярных процессов переноса электронного возбуждения при столкновениях молекул в возмущенных атмосферах планет Солнечной системы. Рассчитанные константы используются при моделировании населенностей колебательных уровней $N_2(A)$ в смеси молекулярного азота с другими газами.

ДОЛГОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВОЗМУЩЕНИЙ $foF2$ И TEC ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко¹, К.Г. Ратовский³,
И.Е. Захаренкова¹, Ю.В. Ясюкевич³

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

² БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия;

³ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

В данном исследовании представлены результаты расчетов, выполненные с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), а также данные спутниковых и наземных наблюдений электронной концентрации в системе ионосфера-плазмосфера, полученные как для спокойных условий, так и во время геомагнитных бурь 26–30 сентября 2011 года и 17–23 марта 2015 года. Проведено сравнение глобальных карт вызванных геомагнитными бурями возмущений $foF2$ и TEC , построенных по результатам модельных расчетов и по данным наблюдений, и выявлены сходства и различия между ними. Представлены результаты сравнения временного развития возмущений $foF2$ и TEC во время геомагнитных бурь на всех широтах в различных долготных секторах. Сделаны выводы относительно долготной зависимости отклика ионосферы на рассматриваемые геомагнитные бури. Проведено детальное исследование механизмов формирования этих возмущений в высоких, средних, низких и экваториальных широтах на различных этапах развития геомагнитных бурь. Особое внимание уделено ионосферным возмущениям, формирующимся на фазе восстановления геомагнитных бурь. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-05-00578, 14-05-00788 и 15-35-20364.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ВДОЛЬ ГЕОМАГНИТНОЙ ШИРОТЫ СТЕНДА «СУРА» МЕТОДОМ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ СИГНАЛАМИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

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

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

В течение 2010-2015 гг. было проведено несколько экспериментальных сессий измерений полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере Земли при воздействии на неё мощным коротковолновым радиоизлучением. Вариации ПЭС регистрировались на сети ГНСС – станций расположенных вдоль геомагнитной широты стенда «Сура» при пролете навигационного спутника (НС) над возмущенной областью (ВО) ионосферы определяемой угловыми размерами диаграммы направленности (ДН) стенда. ГНСС – сеть состояла из 3 специализированных приемников геодезического класса установленных в 3 пространственно разнесенных пунктах: Васильсурск (приемник расположен в 500 м от антенной системы стенда «Сура»), Зеленодольск (55°52' с.ш., 48°33' в.д; в сентябре 2014 года пункт прекратил свою работу и был перенесен в пункт АОЭ находящийся на территории Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта К(П)ФУ (55°50' с. ш., 48°48' в. д.)) и Казань (55°48' с. ш., 49°08' в. д). Расстояния между измерительными пунктами: Васильсурск-Зеленодольск – ~160 км; Васильсурск - АОЭ – ~170 км; Васильсурск-Казань – ~200 км. Особенностью постановки эксперимента являлось то, что радиотрасса НС GPS – Васильсурск пересекала ВО, а радиотрассы НС GPS – Зеленодольск; НС GPS – АОЭ; НС GPS – Казань – нет. В результате проведенного анализа были обнаружены вариации ПЭС, оставляющие в среднем 0.15-0.3 TECU (1 TECU = 10^{16} эл/м²) для всех пунктов наблюдения (Васильсурск, Зеленодольск, АОЭ, Казань). Такие вариации зарегистрированы в половине из обработанных сеансов наблюдений проведенных в период с 2010 по 2015 гг. Поперечный масштаб ионосферного возмущения, стимулированного мощной радиоволной, и скорость его распространения вдоль геомагнитной широты в направлении запад-восток составили, соответственно 29÷62 км и 300÷350 м/с. Кроме того, более чем в половине сеансов (65 % от общего количества) было зарегистрировано понижение ПЭС (до 0.55 TECU), связанное с прохождением солнечного терминатора (СТ) вдоль линии Казань-Зеленодольск-Васильсурск в направлении восток-запад. Период наблюдаемых вариаций ПЭС генерируемых при прохождении СТ составил ~20 – 23 мин, а поперечный масштаб наблюдаемых ионосферных неоднородностей 65 ÷ 80 км. Оценки скоростей распространения ионосферного возмущения, стимулированного мощной радиоволной, позволяют сделать вывод о том, что вектор скорости таких возмущений имеет как продольную, так и поперечную относительно магнитного поля Земли составляющие. Очевидно, что из-за разности коэффициентов амбиполярной диффузии вдоль и поперёк магнитного поля Земли распространение возмущений заряженной компоненты поперек магнитного поля в ионосфере на столь большие расстояния (160 – 200 км) невозможно. Следовательно, распространение подобных возмущений должно осуществляться за счёт нейтральной компоненты ионосферы. Таким образом, воздействие мощной наземной радиоволны приводит, по всей видимости, к генерации внутренних гравитационных волн (ВГВ) в ионосфере, и именно этот механизм и приводит к эффектам, наблюдаемым при измерении вариаций ПЭС на сети ГНСС – станций расположенных вдоль геомагнитной широты стенда «Сура». Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№ 14-12-00706).

ОТКЛИК ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА НАЧАЛО СУББУРИ

О.В. Козырева^{1,2}, В.А. Пилипенко^{1,2}, В.И. Захаров³

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

² *ИКИ РАН, н. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru;*

³ *МГУ, г. Москва, Россия, zvi_555@list.ru.*

Рассмотрены возмущения сигналов навигационной спутниковой системы GPS при начале суббури 5 апреля 2010 г. Для анализа ионосферных возмущений использованы данные 69 GPS станций системы IGS в регионе Аляска – Канада. Одновременно проанализированы данные сетей магнитометров CARISMA, GIMA, CANMOS, INTERMAGNET, дополненные данными сканирующих фотометров и риометров сети NORSTAR. Во время взрывной фазы суббури наиболее интенсивные магнитные возмущения (до ~2000 нТ) наблюдались в Аляске и Северной Канаде. Обнаружено, что начало суббури вызывает резкий рост интенсивности вариаций фазы навигационных сигналов, характеризуемой производной полного электронного содержания (ПЭС), dTEC. Резкий всплеск риометрического поглощения, вызванный высыпанием энергичных электронов, сопровождался одновременным увеличением ПЭС, достигающего до нескольких TECu. Сопоставление 2D карт пространственного распределения спектральной мощности магнитных флуктуаций в диапазоне Pc5 и ионосферных синцитиляций dTEC во время развития суббури показывает хорошее согласие между ними. Как магнитные, так и ионосферные флуктуации преимущественно концентрируются внутри границ аврорального овала, определенных по модели OVATION. Таким образом, сигналы спутниковых навигационных можно использовать для изучения пространственно-временной эволюции ионосферной проекции суббури. Рассмотрены возможные физические механизмы генерации ионосферных возмущений, ответственных за вариации ПЭС.

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ RWIS (RADIO WAVES IONOSPHERE SENSING) ПО ИЗМЕРЕНИЮ ИОНОСФЕРНЫХ ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛА КА «ЧИБИС-АИ» С ЦЕЛЬЮ ДИАГНОСТИКИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ И УТОЧНЕНИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**А.С. Косов, В.М. Анискович, В.В. Корогод,
М.М. Могилевский, Ю.А. Немлихер, Д.П. Скулачев**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Зондирование ионосферы планируется проводить с помощью сигналов передатчиков прибора ПБК (Передатчик Быстрого Канала), который будет установлен на КА Чибис-АИ. Передатчики прибора ПБК работают на частоте 2270 МГц (диапазон S) и на частоте 8400 МГц (диапазон X). Во время эксперимента передатчик диапазона S работает только в режиме излучения несущей частоты, передатчик диапазона X работает с внутренней фазовой модуляцией. Частота модуляции 50 МГц, фазовый сдвиг 180 градусов. При такой модуляции сигнал несущей на частоте подавляется и практически вся мощность передатчика излучается на поднесущих, отстоящих от несущей на ± 50 МГц. Все сигналы прибора ПБК синхронизируются от внутреннего кварца и являются когерентными. На поверхности Земли принимается сигнал, как от низколетящего спутника (Чибис-АИ), так и от навигационного спутника (GPS, Глонасс). Сигналы Чибис-АИ используются для определения задержек в ионосфере, а навигационного – в магнитосфере. Их разность позволит определить

параметры магнитосферной плазмы. В том случае, если принимаются сигналы нескольких пространственно разнесенных навигационных спутников (в обычных условиях 6-8), то появляется возможность по разности магнитосферных задержек определить положение плазмопаузы – границы плазмосферы.

ТРЕХМЕРНАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ ФОТОХИМИЧЕСКАЯ ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ, ВКЛЮЧАЮЩАЯ ОБЛАСТЬ D ИОНОСФЕРЫ: ЭФФЕКТЫ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

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

ЦАО РОСГИДРОМЕТА, МО, г. Долгопрудный, krivolutsky@mail.ru.

Представлены модельные глобальные распределения нейтральных (озон и другие) и заряженных (электронная концентрация, положительные и отрицательные ионы) химических составляющих и их изменения в цикле активности Солнца. Использована фотохимическая модель CHARM-I [1]. Необходимые для реализации численных сценариев компоненты глобальные поля компонент скорости ветра, а также поля температуры получены на каждый день года на основе расчетов по модели циркуляции ARM [2]. В качестве ионизирующих факторов при реализации численных сценариев были учтены потоки УФ радиации на длине волны 121,6 нм (Лайман-альфа), воздействующие на окись азота, также учитывалась ионизация метастабильных молекул кислорода излучением в полосе 102,7-111,8 нм, и ионизация ГКЛ, меняющаяся в солнечном цикле. Расчеты показали, что изменения в содержании озона составили около 10% в мезосфере, уменьшаясь с уменьшением высоты. Соответствующие изменения электронной концентрации и основных ионов составили в цикле активности на высотах 60-80 км порядка 20%.

[1] Криволицкий А.А., Черепанова Л.А., Репнев А.И., Вьюшкова Т.Ю. Трехмерная численная глобальная фотохимическая модель CHARM-I. Учет процессов в области D ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, № 4, с. 483-503, 2015.

[2] Криволицкий А.А., Черепанова Л.А., Вьюшкова Т.Ю., Репнев А.И., Ключникова А.В. Глобальная циркуляция атмосферы Земли на высотах 0-135 км, рассчитанная с помощью модели ARM. Учет вклада солнечной активности. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, №6, 2015.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВРОРАЛЬНОЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ МЕТЕОРНОГО РАДАРА И ИОНОЗОНДА

Р.Ю. Лукьянова^{1,4}, А.Е. Козловский², С.Л. Шалимов^{3,4}

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

² Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Финляндия;

³ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия;

⁴ ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Представлены результаты измерений температуры и скорости нейтрального ветра на высотах 85-100 км с помощью метеорного радара SkiYMET, а также результаты вертикального зондирования F слоя ионосферы в обл. Соданкюля (68N). (1) Впервые показано, что метеорные потоки Геменид (середина декабря) и Квадратид (начало января) изменяют свойства нижней ионосферы так, что значения температуры, рутинно рассчитываемые по скорости распада метеорных следов, оказываются на 20-50К меньше реальных значений. В периоды этих метеорных потоков наблюдается явно выраженная

антикорреляция между падением температуры и числом регистрируемых метеоров, а также появление сверхплотных метеорных следов. Эффект свидетельствует о том, что свойства (масса, скорость или химический состав) потоков Геменид и Квадратид, источником которых являются определенные астероиды, резко отличаются от других метеоров. Кроме того, артефакт падения температуры в зимней мезосфере вследствие метеорных потоков может приводить к неадекватной интерпретации атмосферной динамики во время зимних внезапных стратосферных потеплений (ВСП). (2) На фоне сезонных вариаций выделены сигналы ВСП в ионосфере. Показано, что большие ВСП сопровождаются похолоданием на мезосферных высотах, углублением высотной температурной инверсии, а также ветровыми сдвигами и разворотом среднего ветра. Суперпозиция ионограмм с минутным разрешением позволяет выделить сигналы атмосферных акустико-гравитационных волн (АГВ), определить их амплитуду и долгопериодные вариации. Во время ВСП ветровой сдвиг в области мезопаузы способствует генерации АГВ, а изменение направления среднего ветра — их проникновению в ионосферу. В то же время, на высотах F слоя наблюдается резкое затухание амплитуды АГВ, что свидетельствует об усилении турбулентных процессов на ионосферных высотах.

ВЛИЯНИЕ ТРОПОСФЕРНЫХ ПРИЛИВНЫХ ВОЛН НА ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ («ПУЗЫРИ»): ПУТИ ПЕРЕДАЧИ

Л.Н. Сидорова, С.В. Филиппов

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

Проведена проверка предположения о возможном влиянии тропосферного источника на характер долготных вариаций статистики плазменных «пузырей». С этой целью проведен сравнительный (корреляционный) с рядом термосферных и ионосферных характеристик, обнаруживающих характерные долготные структуры с волновым числом 4, которые однозначно связывают с проявлением влияния приливной волны DE3. Результаты проведенного исследования позволяют считать, что получены свидетельства возможного влияния тропосферы на долготную статистику плазменных «пузырей». Картина долготной статистики плазменных «пузырей» является откликом на комплексное воздействие со стороны ряда факторов: влияния магнитного поля, $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$ дрейфа, ветров и «программы», заложенной в период генерации «пузырей». Влияние тропосферы может «проводиться» несколькими путями. Во-первых, со стороны модулированных термосферных ветров на стадии генерации «пузырей» (высоты ~350-400 км). Во-вторых, под влиянием вечернего прединверсного всплеска $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$ дрейфа, модулированного приливами, в период их подъема. И, наконец, под влиянием модулированных приливами ветров, ориентированных вдоль магнитного поля, на стадии подъема и «растягивания» «пузырей» на высотах F-области до 500 км.

КРУПНОМАСШТАБНАЯ КОНВЕКЦИЯ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ ПО НАЗЕМНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

А.Е. Степанов, В.Л. Халипов, Г.А. Котова, М.С. Заболоцкий, И.А. Голиков, С.Е. Кобякова

ИКФИА СО РАН им. Ю.Г. Шафера, г. Якутск, Россия, a_e_stepanov@ikfia.sbras.ru.

Рассматриваются ионосферные материалы (суточные f -графики) Якутской меридиональной цепочки ионозондов (Якутск - Жиганск - Батагай - Тикси) с резкими падениями (срывами) критической частоты (f_oF_2) регулярного F2-слоя ионосферы. Проанализированы данные за 1968 - 1983 гг. и приведена статистика наблюдений срывов f_oF_2 , показывающая, что они регистрируются, в основном, в равноденственные месяцы и в послеполуденные и вечерние часы при умеренно-возмущенных геомагнитных условиях. Расчеты, проведенные на прогностической модели высокоширотной ионосферы, показывают, что положение срывов критической частоты совпадает с экваториальной границей крупномасштабной конвекции плазмы в вечернем секторе местного магнитного времени.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РФ

А.А. Титов, Д.В. Соломенцев, В.У. Хаттатов

ФГБУ "ИПГ" Росгидромета, Россия.

Мониторинг состояния ионосферы Земли в режиме реального времени дает возможность обеспечить надежное функционирование систем связи, учитывать влияние ионосферы на распространение радиоволн непосредственно в момент эксперимента, повысить точность определения текущего местоположения объектов системами спутниковой навигации. Для реализации работы ассимиляционной модели в режиме реального времени использованы массивы данных о полном содержании электронов в ионосфере на радиотрассах приема навигационных сигналов наземными станциями глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS. Получение таких массивов данных о полном содержании электронов в ионосфере в режиме реального времени над территорией РФ стало возможным благодаря созданной ФГБУ "Институт прикладной геофизики" (ФГБУ "ИПГ") Росгидромета сети наземных станций приема сигналов ГНСС и GPS.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ИНДУЦИРУЕМЫХ НА ВЫСОТАХ ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРИ МОДИФИКАЦИИ F₂-ОБЛАСТИ МОЩНЫМ КВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ СТЕНДА СУРА

**В.Л. Фролов, В.О. Рапопорт, Е.А. Шорохова,
А.С. Белов, М. Парро**

ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, frolov.418@nirfi.sci-nnov.ru.

В работе систематизированы результаты проведенных в 2005 – 2010 гг. за время миссии ИСЗ DEMETER исследований характеристик дактов плотности плазмы, формируемых на высотах ~ 660 км при модификации F₂-области ионосферы мощным КВ радиоизлучением О-поляризации, излучаемым среднеширотным нагревным стендом СУРА. Над стендом СУРА спутник пролетал в 18:00 – 18:30 UT в условиях ночной ионосферы и в 07:30 – 08:00 UT в дневных условиях. Он обладал широким набором бортовой аппаратуры, которая обеспечивала в непрерывном режиме измерение основных плазменных параметров, электромагнитных полей и потоков энергичных электронов. Одним из наиболее значимых результатов, полученных в рамках программы СУРА–DEMETER, является обнаружение формирования на высотах внешней ионосферы дактов с увеличенной плотностью плазмы с размерами поперек линий геомагнитного поля около 80 – 100 км. Детальное рассмотрение характеристик этих дактов (вариации температуры и плотности плазмы, ионный состав, тонкая их структура) и условий их образования с учетом всех полученных с помощью ИСЗ DEMETER экспериментальных данных является основной целью настоящей работы. В ней на основе результатов выполненных экспериментов также продемонстрировано влияние таких дактов на локальные ионосферно-магнитосферные связи. Кроме того, в работе рассматриваются полученные экспериментальные данные, касающиеся индуцируемых нагревом ионосферы шумов в диапазоне до 20 кГц, характеристики уширения спектра сигналов СДВ радиостанций, распространяющихся в дакте, условий просачивания сигналов мощной радиоволны во внешнюю ионосферу через закритическую до начала воздействия плазму F₂-слоя ионосферы. Не было обнаружено дактов в условиях модификации ионосферы в дневных условиях. Не было обнаружено появления каких-либо плазменных возмущений в магнитосопряженной к стенду СУРА ионосфере. В работе на основе модели SAMI-2 приведены результаты моделирования плазменных процессов, происходящих в F₂-области ионосферы при ее модификации мощными КВ радиоволнами. Показано, что формирование дактов происходит за счет выноса плазмы во внешнюю ионосферу из нагретой мощной радиоволной области вблизи высоты ее отражения. Время его формирования на высотах ~ 660 км составляет 10 – 20 мин; его релаксация происходит в две стадии: сначала быстрая релаксация за время ~ 6 мин, а потом медленная за время ~ 30 мин. Исследования Фролова В.Л. и Шороховой Е.А. выполнялись при поддержке гранта РФФ № 14-12-00556 в части анализа полученных экспериментальных данных. Исследования Белова А.С. были поддержаны грантом Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048).

РЕГИСТРАЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 22 ИЮНЯ 2015г.

**Ю.В. Ясюкевич, Р.В. Васильев, К.Г. Ратовский,
А.М. Веснин, М.В. Глоба, А.Ю. Федотова**

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

Нами проведено исследования неоднородностей электронной концентрации во время сильной магнитной бури 22 июня 2015г. Для исследований мы использовали данные о мерцаниях параметров регистрируемых сигналов, а также измерений полного электронного содержания (ПЭС) по данным GPS/ГЛОНАСС. Как известно, интенсивные мелкомасштабные ионосферные неоднородности оказывают существенное влияние на распространение радиоволн различных диапазонов вследствие эффекта рассеяния. Наиболее эффективно рассеяние происходит, когда размер неоднородности сопоставим с размером первой зоны Френеля. В результате можно использовать данные о мерцаниях для оценки интенсификации неоднородностей мелкого масштаба. Экспериментальный комплекс ИСЗФ СО РАН включает 3 установки, позволяющих на основе различных технологий получать оценку ионосферных мерцаний в диапазонах ~1-15 МГц (ионозонд DPS-4), ~150 МГц (радар некогерентного рассеяния), ~1200МГц/1600 МГц (приемник GPS/ГЛОНАСС). Вследствие того, что эти установки располагаются в одном пункте, нет возможности детально выявить физический механизм генерации таких неоднородностей. Для исследования пространственной структуры ионосферных возмущений мы использовали данные измерений полного электронного содержания (ПЭС) на сети приемников GPS/ГЛОНАСС. Было получено, что время магнитной бури 22 июня 2015 г. около 20:15 UT в данных радара некогерентного рассеяния регистрируется усиление мерцаний сигнала радиостанции «Лебедь-А». По данным ионозонда DPS-4 в этот день регистрировалось появление сильного F-рассеяния с 19:45 до 21:15 UT с максимумом около 20:15 UT. При этом наблюдалось кратковременное увеличение мерцаний фазы сигнала над фоновым уровнем в районе 19:30 UT. Стоит отметить, что появление сильных мерцаний и F-рассеяния в регионе г. Иркутск запаздывает примерно на 1 час относительно начала магнитной бури. Анализ пространственно-динамической картины вариаций ПЭС показал, что это запаздывание хорошо соотносится с распространением крупномасштабного возмущения генерируемого на границе аврорального овала и распространяющегося в сторону экватора. Стоит отметить, что в американском секторе наблюдались крупномасштабные возмущения прошедшие от авроральной области северного полушария через экватор до средних широт южного полушария. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-05-03946).

СЕКЦИЯ «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННЫЕ КИСЛОРОДНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ В АТМОСФЕРАХ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

О.В. Антоненко, А.С. Кириллов, Ю.Н. Куликов

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

Обсуждаются процессы возбуждения и гашения электронно-возбужденных состояний молекулярного кислорода в атмосферах планет земной группы на высотах свечения ночного неба. Рассмотрены процессы возбуждения атомарного кислорода в состояния 1D , 1S при вторжении высокоэнергичных частиц в атмосферу. Обсуждаются принципиальные различия кинетики возбуждения электронных уровней энергии кислородных составляющих в атмосфере Земли и атмосферах Венеры и Марса.

РЕЗОНАНСНОЕ УНЧ ПОГЛОЩЕНИЕ В УСЛОВИЯХ МАГНИТНОЙ БУРИ

В.И. Бадин

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

Для экспериментальной оценки резонансного поглощения ультранизкочастотных (УНЧ) колебаний в магнитосферном магнитогидродинамическом (МГД) резонаторе использованы доплеровские измерения норвежского ионосферного радара STARE. По данным OMNI выбран период завершения главной фазы и начала фазы восстановления умеренной магнитной бури ($K_p \approx 5$, $Dst \approx -40$ нТл), когда радар находился в утреннем секторе местного времени (MLT). Такой выбор данных позволяет изучать резонансное поглощение на фланге магнитосферы, избегая магнитных силовых линий, уходящих далеко в хвост на ночной стороне. Обработка доплеровских измерений включает усреднение данных вдоль каждого луча радара, вычисление дискретного преобразования Фурье (ДПФ) усредненных данных и последующий вариационный анализ полученного ДПФ. Поскольку резонансное поглощение происходит в континууме частот, эффект моделируется ступенчатым падением спектральной мощности УНЧ фона на нижней границе резонансного континуума, которая представляет собой минимальную частоту резонансного поглощения в данном секторе MLT. Вариационный анализ методом наименьших квадратов наилучшим образом вписывает ступенчатую модель резонансного поглощения в вычисленный профиль спектральной мощности ДПФ, что позволяет получить количественную оценку минимальной частоты резонансного поглощения. Известные спутниковые измерения показывают, что при прочих равных условиях, поворот межпланетного магнитного поля (ММП) с северного направления на южное приводит к тому, что магнитопауза на флангах магнитосферы удаляется от Земли, и это должно приводить к уменьшению минимальной резонансной частоты на флангах магнитосферы. Полученная в данной работе количественная оценка минимальной частоты резонансного поглощения в условиях магнитной бури оказалась достаточно высокой (около 5 мГц), в то время как полученная ранее оценка такой частоты в слабозмущенных условиях при ММП южного направления была значительно ниже (около 2 мГц). Высокую минимальную частоту резонансного поглощения в условиях магнитной бури можно объяснить значительным уменьшением геомагнитного поля на больших расстояниях от Земли при развитии кольцевого тока магнитной бури, что должно приближать магнитопаузу

к Земле и приводить к повышению минимальной частоты резонансного поглощения. Такой результат не противоречит известным численным расчетам резонансных МГД частот для условий магнитной бури по модели Цыганенко. Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-05-00179) и Программой № 9 Президиума РАН.

МОДУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ГЛОБАЛЬНЫМИ РС5 ПУЛЬСАЦИЯМИ, НАБЛЮДАЕМЫМИ ОДНОВРЕМЕННО С ПОМОЩЬЮ GPS-ПРИЕМНИКОВ И РАДАРА EISCAT

**В.А. Пилипенко¹, В.Б. Белаховский², Д. Мурр³,
Е.Н. Федоров¹, М. Энгебретсон³**

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия;

² ПГИ, г. Апатиты, Россия, belakhov@mail.ru;

³ Колледж Аугсбург, Миннеаполис.

Более ранние исследования показали, что полное электронное содержание ионосферы (ПЭС), определяемое по данным GPS приемников, достаточно чувствительно к наличию МГД возмущений. По данным GPS приемников в Скандинавии было показано, что во время появления мощных геомагнитных РС5 пульсации наблюдаются пульсации в ПЭС с той же частотой. В данной работе проанализирован одновременный отклик ПЭС и ионосферных параметров, определяемых с помощью радара EISCAT (Тромсё), на глобальные РС5 пульсации на восстановительной фазе сильной геомагнитной бури 31 Октября 2003 года. Сравнение РС5 пульсаций в электронной концентрации для разных высот по данным радара EISCAT показало, что основной вклад в РС5 пульсации в ПЭС обеспечивается нижней ионосферой, до высоты около 150 км, то есть E-слоем и нижней частью F-слоя. Этот факт говорит в пользу механизма появления РС5 пульсаций в ПЭС за счет переноса плазмы вдоль геомагнитного поля альвеновской волной. Аналитические оценки и численное моделирование подтверждают эту точку зрения.

ОТКЛИК ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ НИЗКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ РС5 ПУЛЬСАЦИИ

Е.В. Воронцова¹, В.А. Пилипенко²

¹ Научная Станция РАН, г. Бишкек, Киргизия, voroncova_e@mail.ru;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru.

Исследован возможный периодический отклик низкоширотной ионосферы на интенсивные глобальные РС5 пульсации во время восстановительной фазы магнитной бури 31 окт. 2003. Впервые обнаружен эффект модуляции ПЭС глобальными РС5 пульсациями (период порядка 6 мин.) по данным магнитометров и GPS приемников на полигоне в Бишкеке и Индии. Однако этот эффект нельзя объяснить на основании моделей взаимодействия альвеновских волн с ионосферой. Для интерпретации была разработана модель взаимодействия с ионосферой магнитозвуковой МГД волны. Теоретические оценки полученные с помощью этой модели показали, что наблюдаемый эффект может быть связан с модуляцией магнитного поля и плазмы полем магнитозвуковой волны.

КОЛЬЦО ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ОТ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО GPS- ДАННЫМ

В.И. Захаров¹, Г.И. Горчаков²

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

² *ИФА РАН им. А.М.Обухова, Россия.*

Работа посвящена исследованиям влияния мегаполиса на возникновения волновых возмущений, проявляющихся на ионосферных высотах над ним на примере г. Москвы летом 2010 года. По данным интерферометрии радиочастотных сигналов спутниковой навигационной системы GPS, принимаемых на расположенных в московском регионе станциях сети Навигационно-геодезического обеспечения г.Москвы (СНГО) и международной сети International Geophysical Survey (IGS), в ионосфере обнаружены перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), которые распространяются от московского мегаполиса и группируются в виде кольца вокруг него. Нами обработано свыше 21тыс час. индивидуальных GPS-наблюдений и методом GPS- интерферометрии проведен мониторинг ионосферных неоднородностей в период с июня по август 2010г. Продолжительные наблюдения дают возможность «накапливать сигнал» и выявить влияние острова тепла на приземный слой атмосферы, изменения в котором, в свою очередь могут приводить к возникновению волновых и распространению возмущений в атмосфере. Представлены эмпирические функции распределения скорости перемещения, наблюдаемой длительности и направления распространения таких ПИВ. Показано, что наблюдаемые ПИВ могут быть обусловлены, в частности, эффектом городского острова тепла (ГОТ). Кратко суммируя результаты, можно утверждать, что данные исследования являются яркой иллюстрацией важного положения о влияние нижней атмосферы на процессы в верхней, причем методы GPS- интерферометрии с использованием специальных алгоритмов классификации выделенных ионосферных волновых структур позволяют выявлять это влияние. Проведенная работа наряду с общефизическим, имеет несомненно важное экологическое значение, поскольку полученные результаты впервые позволяют разработать систему оценивания волновых проявлений развития острова тепла (пусть и в аномальных условиях блокирующего антициклона), что может оказаться полезным для построения различных моделей и для прогностических целей. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 15-45-03266.

СТРУКТУРА ПОЛЯ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРНЫХ СЛОЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ДИФРАКЦИИ

Я.А. Илюшин¹, А.Л. Гаврик², Т.Ф. Копнина²

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, *ilyushin@phys.msu.ru*;

² ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, *alg248@hotmail.com*.

Для исследования тонкой структуры ионосферы целесообразно применять радиоволны дециметрового диапазона, вариации параметров которых при распространении в плазменной оболочке планеты существенно превышают инструментальные флуктуации фазы и мощности сигнала, связанные с ограниченной стабильностью бортовой аппаратуры. Но влияние плазмы на трансформацию низкочастотной радиоволны может привести к нарушению условий лучевых приближений, на которых основана интерпретация результатов радиозатмений. В настоящей работе обсуждаются результаты прямого моделирования поля радиоволны, трансформированного ионосферой планеты. Принятая модель позволяет рассчитать стационарную структуру радиополя, формирующегося в результате прохождения плоской волны через сферически-симметричную ионосферу планеты. Использован метод численного решения параболического уравнения дифракции, что позволило анализировать взаимосвязь вариаций мощности и частоты радиосигнала в процессе радиопросвечивания ионосферы. Выполнено сопоставление результатов лучевых и дифракционных расчетов с экспериментальными данными, выявлен критерий для оценки правомерности использования геометрической оптики при анализе данных радиопросвечивания многослойных плазменных структур в ионосфере. Результаты моделирования подтвердили линейную связь между мощностью сигнала и изменением его частоты в процессе зондирования сферически симметричной ионосферы монохроматической высокочастотной радиоволной при условии, что выполняется лучевое приближение и отсутствует поглощение. Показано, что нарушение линейности взаимосвязи между мощностью и частотой может быть обусловлено влиянием шума или асимметрии ионосферы, а также появлением дифракционных эффектов при распространении радиоволны в неоднородной среде. Проведена валидация лучевой реконструкции вертикальных профилей электронной концентрации по радиозатменным данным спутников Венера-15,-16 и обоснована достоверность обнаружения и локализации многослойных структур ионосферы, что указывает на перспективность использования данной методики при исследовании земной ионосферы. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 9 Президиума РАН и гранта РФФИ № 15-45-03266.

АДАПТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ РАДИОЛОКАТОРА ГЛУБИННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ MARSIS, ОТРАЖЕННЫХ ОТ РЕЛЬЕФНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Я.А. Илюшин^{1,2,3}, Р. Оросей⁴, О. Витассе⁵,
Б. Санчес-Кано⁶

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, ilyushin@phys.msu.ru;

² ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН г. Москва, Россия;

³ ВНИИОФИ, г. Москва, Россия;

⁴ ИРА, НИА, Болонья, Италия;

⁵ ЕКА, Ноордвийк, Нидерланды;

⁶ Университет Лейчестера, Лейчестер, Соединенное Королевство.

Разработана и опробована программа численного моделирования радиолокационных отражений радара подповерхностного зондирования от рельефной поверхности планеты с использованием реалистичной модели топографии поверхностного рельефа. Построена компьютерная модель рельефа планеты на основе данных оптической лазерной альтиметрии в эксперименте MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter). Специально разработана алгоритмическая процедура для расчета отражения широкополосного радиолокационного ЛЧМ сигнала от рельефных поверхностей, с возможностью осуществления апертурного синтеза. Создано необходимое программное обеспечение для высокопроизводительных многопроцессорных кластерных систем на языке программирования C++ с использованием стандарта параллельного программирования OpenMP. Рассчитаны модельные радарграммы орбитального глубинного радиолокатора MARSIS для отдельных участков орбиты 9466 космического аппарата Mars Express (MEX). Проведено сравнение с реальными экспериментальными данными глубинного радиолокационного эксперимента MARSIS. Ранее разработанные алгоритмы коррекции частотной дисперсии радиолокационных сигналов опробованы на модельных результатах расчета отражений от поверхностного рельефа с фазовыми искажениями сигнала, вычисленными по данным модели вертикального профиля марсианской ионосферы NeMars [1]. Исследование выполнено при поддержке Европейского космического агентства, грантов РФФИ (13-02-12065 офи-м и 15-02-05476) и STFC (grant ST/K001000/1). Авторы благодарят администрацию НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова за предоставленные ресурсы суперкомпьютеров СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов" [2].

[1] Sanchez-Cano, B., Radicella, S., Herraiz, M., Witasse, O., Rodriguez-Caderot, G., 2013. NeMars: An empirical model of the Martian dayside ionosphere based on Mars Express MARSIS data. *Icarus* 225 (1), 236 – 247.

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

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ И ИСКУССТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО СВЕЧЕНИЯ В ЛИНИИ 630 НМ В ВОЗМУЩЕННОЙ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ ИОНОСФЕРЕ

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

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

В период с 2010 по 2015 гг. в экспериментах на стенде «Сура» удалось провести около 10 сеансов воздействия на ионосферу, в которых одновременно измерялись вариации искусственного оптического свечения ионосферы в красной линии оптического спектра атомарного кислорода (630 нм) и полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы на траектории распространения сигналов навигационных спутников. В работе представлены результаты анализа сопоставления положения крупномасштабных неоднородностей электронной плотности с размерами 5-50 км, детектируемых с помощью измерения ПЭС при движении спутника над возмущенной областью ионосферы, и областей генерации искусственного оптического свечения. Регистрация сигналов навигационных спутников осуществлялась с помощью ГНСС-приёмника «Prego-T», оптического свечения – с помощью ПЗС камеры S1C-3, оснащенной светосильным объективом HC-2 и соответствующим светофильтром. Приборы были расположены в непосредственной близости от стенда «Сура». Для сопоставления вариаций ПЭС и искусственного оптического свечения использовалась следующая методика [1]: (1) Удаление регулярного тренда вносимого движением спутника из исходной зависимости ПЭС от времени; (2) пространственная и временная привязка изображений ночного неба полученных с помощью ПЗС-камеры и нанесение траектории движения спутника на эти изображения; (3) наиболее наглядное выделение пятна искусственного свечения на изображениях ночного неба; (4) расчёт средней интенсивности свечения из области изображения (5×5 пикселей), соответствующей местоположению спутника в данный момент времени и динамики средней интенсивности свечения для реконструированного набора изображений. Режим работы стенда выбирался таким образом, что к моменту влета спутника в диаграмму направленности стенда интенсивность крупномасштабных неоднородностей с размерами 5-50 км достигала стационарного уровня и не изменялась в паузах между воздействиями. В результате сопоставления вариаций ПЭС и наблюдаемых пятен искусственного оптического свечения в проведенных экспериментах было выявлено, что максимальная интенсивность свечения на линии 630 нм коррелирует с минимумом электронной концентрации. Для однозначных выводов о корреляции ПЭС и интенсивности искусственного оптического свечения требуется проведение дополнительных экспериментов и дальнейшая обработка уже полученных данных. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№ 14-12-00706).

[1] А.В. Шиндин, и др.//Вестник ННГУ. 2012. № 4. С.105-113.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ГИДРОКСИЛА НА ВЫСОТЕ МЕЗОПАУЗЫ В ПГО ТИКСИ

**И.И. Колтовской, П.П. Аммосов, Г.А. Гаврильева,
А.М. Аммосова, А.Е. Степанов**

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

В докладе представляется предварительный анализ вращательных температур полосы ОН(3,1) на высоте 87 км измеренный спектрографом ANDOR, установленного на оптической станции ПГО Тикси ($\varphi = 63^\circ \text{ N}$, $\lambda = 129.5^\circ \text{ E}$). Прибор представляет собой - спектрограф SR303i производства ANDOR Technology со светодиодной линейкой iDus InGaAs DU490A-1.7. Рабочая область с квантовой эффективностью регистрирующей камеры $>85\%$ составляет 1000-1600нм. Спектрограф SR303i регистрирует ОН(3,1). Рабочее охлаждение -60°C . Угол зрения $\sim 5^\circ$. Разрешение спектрографа при ширине входной щели 0.2мм равна 1 нм. Прибор регистрирует свечение ночного неба под зенитным углом 47° и направлен на юго-запад (~ 220 градусов). Экспозиция 1 минута. Метод оценки вращательной температуры молекулярных эмиссий основан на подгонке модельных спектров, построенных с учетом аппаратной функции прибора для различных заранее заданных температур, к реально измеренному спектру методом наименьших квадратов. Для анализа будут использованы данные наблюдений за сентябрь, октябрь, ноябрь 2015г. Будут выбраны безлунные ясные ночи. Планируется сделать сравнение с данными полигона Маймага.

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

В. П. Кудрявцев, И. Х. Ковалёва

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, ikhkov@idg.chph.ras.ru.

Успешные результаты спутникового мониторинга за динамикой длинноволнового инфракрасного излучения, регистрируемого в ходе подготовки землетрясений и радиоактивного загрязнения атмосферы в моменты аварий на атомных электростанциях позволили установить, что регистрируемые при этом на спутниках аномалии потоков ИК излучения дают основание для рассмотрения вопроса о возможности дистанционной диагностики данных явлений. Аварии на атомных электростанциях в США (1979г.), в СССР (1986г.) и в Японии (Фукусима, март 2011г.) поставили вопрос о возможности объективного, независимого контроля уровня радиоактивного загрязнения атмосферы вследствие выброса в неё радиоактивных веществ. Для успешного анализа спутниковых данных по ИК излучению необходимо чёткое представление об основных источниках ИК излучения, приходящего на ионосферные высоты. В частности, спутниковые измерения проводятся в диапазоне длин волн 8-12мкм. В ходе подготовки землетрясения регистрируемые аномалии ИК излучения в этом диапазоне связывают с выходом на поверхность земли радона и последующей гидратации, сопровождающейся выделением тепловой энергии и, следовательно, ИК излучения. По измерениям, интенсивность длинноволнового инфракрасного излучения над эпицентром землетрясения на Суматре 26. 12. 2004г., согласно [Ouzounov D., Liu D., Kang C., et al. Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes. // Tectonophysics. 2007. V.431. PP. 211-220], возростала на 80Вт/м^2 , что должно сопровождаться увеличением температуры на 24°K , что не наблюдалось. В связи с этим представляется необходимым проведение более тщательного комплексного анализа различных причин и каналов возрастания регистрируемого спутниками ИК

излучения в данном диапазоне длин волн при различных возмущениях. Источниками неравновесного излучения могут быть кластерные ионы, излучение в процессе фазовых переходов, химических процессов. Возникновение электрических полей, аэрозолей тоже дают вклад в ИК излучение. Но, прежде всего, необходимо учесть неравновесное излучение электронно-возбуждённого молекулярного азота (нейтрального и ионизованного) – основной компоненты атмосферного воздуха. Конечная ширина полос излучения триплетных переходов молекулярного азота приводит к тому, что это излучение даёт вклад в исследуемый диапазон длин волн 8-12мкм. Рассмотрению данного канала ИК излучения посвящена настоящая работа. Основное возбуждение молекул производится вторичными электронами, так как максимумы сечений возбуждения различных электронно-возбужденных уровней лежат в диапазоне от 10 до нескольких десятков электрон-вольт. Теоретический расчет деградационного спектра электронов, или, $f(\epsilon)$ производился путем решения кинетического уравнения Больцмана. Методика расчета и функция распределения вторичных электронов по энергиям представлены в [Коновалов В.П., Сон Э.Е. Деградационные спектры электронов в газах. //Химия плазмы.№ 14. М. Энергоатомиздат. 1987, Сборник статей под ред. Б.М.Смирнова.] При этом была решена стационарная задача замедления электронов с энергией более 1 кэВ. Проведённые расчёты показали, что в результате возбуждения колебательных уровней молекул азота в пограничном слое атмосферы при её существенном радиоактивном загрязнении в ней генерируется неравновесное ИК излучение в широком диапазоне длин волн (0,4-30мкм), в том числе в окне, прозрачном для паров воды. Отметим, что во всех рассчитанных полосах присутствуют линии, которые измерялись на спутниках (8-12мкм) при дистанционной диагностике радиоактивно зараженной среды. Спутниковые данные можно интерпретировать как регистрацию неравновесного ИК излучения в диапазоне длин волн, прозрачном для облачного покрова. Подобная регистрация делает данные измерения погодонезависимыми.

ВОЗМУЩЕНИЯ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЧЕЛЯБИНСКОГО БОЛИДА

**Т.В. Лосева¹, А.П. Голубь², А.Н. Ляхов¹,
И.Б. Косарев¹, М.Ю. Кузьмичева¹**

¹ ИДГ РАН, г. Москва, Россия, losseva@idg.chph.ras.ru;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

В работе показано, что пролет Челябинского метеорита на высотах от 60 до 30 км вызвал возмущения нижней ионосферы Земли порядка 0.14 TECU. Эта величина согласуется с данными наблюдений на пунктах регистрации сигналов системы GPS в уральском регионе. Данные расчетов по величине высвеченной энергии в процессе пролета согласуются с данными наблюдений со спутников. Расчетные кривые светимости в видимом диапазоне совпадают с кривыми светимости, полученными в разных точках наземных наблюдений. В ИК диапазоне получено согласие с наблюдательными данными по величине плотности потока излучения. Построенная радиационно-газодинамическая модель включает испаренное вещество метеорита, газодинамические эффекты в атмосфере и перенос. В расчетах использованы оптические характеристики вещества метеорита (LL-хондрит) и воздуха. Реакция нижней ионосферы рассчитывалась по плазмохимической 22-компонентной модели, включающей малые возбужденные компоненты, ранее верифицированной в экспериментах на радаре некогерентного рассеяния EISCAT.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ F ОБЛАСТИ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

Р.Ю. Лукьянова^{1,2}, В.М. Уваров³

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

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

³ ГУПС, г. Санкт-Петербург, Россия.

Представлены результаты численной физико-математической модели F области высокоширотной ионосферы с учетом влияния электрических полей магнитосферного происхождения на распределение электронной концентрации (N_e). Модель позволяет оперативно рассчитывать трехмерную структуру полярной, авроральной и субавроральной ионосферы при различных гелио-геофизических условиях. Траектории конвекции плазменных трубок моделируются в блоке расчёта пространственного распределения ионосферных электрических полей с непрерывной зависимостью этого распределения от входных параметров в виде значений межпланетного магнитного поля, скорости солнечного ветра, дня года, мирового времени и уровня геомагнитной и солнечной активности. В ионосферном блоке для соответствующего топологического типа конвекции с учётом временной эволюции траектории плазменных трубок от некоторой начальной точки рассчитывается высотное распределение N_e . Учитываются обобщенный молекулярный ион и ион кислорода, концентрация которых определяется соответственно решением уравнения баланса и конвективно-диффузионного уравнения вдоль траектории конвекции с учётом поля коротации и параметров термосферы. Показана определяющая роль электрического поля в формировании крупномасштабных неоднородностей N_e в F слое полярной ионосферы.

О ПРОСТОЙ ОЦЕНКЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГКИХ ИОНОВ ПО РЕГИСТРАЦИЯМ МАГНИТНОЙ КОМПОНЕНТЫ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОННОГО СВИСТОВОГО МОДА НА БОРТУ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Б.В. Лундин¹, К. Крафт²

¹ ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, lundin.bv@gmail.com;

² LPP ECOLE POLYTECHNIQUE, Palaiseau, France.

В группе работ авторов на основе локального дисперсионного уравнения для волн в холодной околоземной плазме умеренной плотности, содержащей ионы и другие тяжелые заряженные частицы различного знака заряда, изучены дисперсионные свойства плоских волн электронного свистового мода. Детальные данные по ионному составу фоновой плазмы существенны для определения нижней границы частот диапазона прозрачности для электронных свистовых волн. Существенного продвижения при решении обратной задачи восстановления локальных данных об ионном составе фоновой плазмы без бортовых масс-спектрометров удалось достичь в рамках принятой модели многоионной плазмы, где ионы могут быть сгруппированы в соответствии с их гирочастотами в две группы легких ионов с сопоставимыми гирочастотами (как H^+ и He^+) и третью группу более тяжелых ионов (например, O^+) вместе с другими заряженными конгломератами с пренебрежимо малыми гирочастотами. Для практической реализации развитого подхода предложено использовать широкополосные данные многокомпонентной регистрации магнитных компонент волнового поля. Низкий уровень шумов в магнитных компонентах позволяет с большей точностью

определять ионные частоты отсечки; кроме того, ионная плазменная частота идентифицируется по существенной перестройке формы эллипса поляризации магнитной компоненты волнового поля электронных свистовых волн при переходе через нее частоты регистрации сигнала переменной частоты.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОДТАЛКИВАНИЯ УПРУГОЙ НИТИ ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИОТРАСС ВОЛН КВ-ДИАПАЗОНА В МОДЕЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

**И.А. Носиков, П.Ф. Бессараб, М.В. Клименко,
О.С. Рубцов, Г.А. Жбанков**

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

Представлено применение нового подхода к решению задачи о распространении радиоволн в модельной ионосфере с фиксированными точками излучения и приема. Решение задачи рассматривается в приближении геометрической оптики для радиоволн КВ-диапазона. В основе предлагаемого метода лежит принцип Ферма для функционала оптической длины пути радиолуча. Радиотрасса находится путем прямой минимизации функционала. Данная методика протестирована на различных двумерных модельных изотропных средах, в том числе, с учетом неоднородностей. Проведены расчеты в среде, где электронная концентрация задавалась на основе международной справочной модели IRI. Проведенное сравнение полученных результатов модельных расчетов с известными аналитическими решениями и численными решениями, полученными методом пристрелки, показало хорошее согласие. Продемонстрирована возможность получения нескольких решений в виде верхних и нижних лучей. Проведен анализ и сделана оценка возможности поиска верхних, нижних и трасионосферных лучей с точки зрения теории вариационного исчисления. Обозначены основные трудности их определения и пути возможного решения.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ УЕДИНЕННЫХ ВОЛН В ТЕРМОСФЕРЕ ПРИ УЧЕТЕ ДИССИПАЦИИ

О.Н. Савина, Е.М. Громов, В.В. Тютин

*НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия,
onsavina@mail.ru.*

Рассмотрена возможность существования уединенной внутренней гравитационной волны на высотах земной термосферы. Аналитические результаты получены в локальном приближении при слабой неизотермичности атмосферы. Внутренние гравитационные волны исследуются в рамках обобщенного уравнения Кортевега–де Вриза, учитывающего неоднородность, нелинейность и диссипацию в атмосфере. В неоднородной по вертикали атмосфере уравнение справедливо в параксиальном приближении при малых углах вектора скорости перемещения возмущения относительно горизонта. Получено квазисолитонное решение уравнения, соответствующее диссипативной нелинейной локализованной волне, распространяющейся с постоянной скоростью. В квазисолитоне малый угол вектора скорости к горизонту пропорционален коэффициенту линейных потерь, вертикальному масштабу неоднородности атмосферы и обратно пропорциональна скорости движения квазисолитона. Дисперсионное распыливание квазисолитона компенсируется его движением в более высокие слои атмосферы, приводящим к увеличению коэффициента нелинейности. Показано, что существует такая траектория движения квазисолитона, вдоль которой его

ширина и скорость не меняются во времени, хотя амплитуда медленно убывает, а скорость возмущения практически не меняется с высотой. В такой ситуации ширина квазисолитона "отслеживает" изменение фоновых параметров по мере распространения. Отмечена роль источников возмущений в формировании уединенной внутренней гравитационной волны, Рассмотрены некоторые известные данные о реальных источниках в авроральной ионосфере. Теоретические результаты полезны для интерпретации свойств уединенных перемещающихся ионосферных возмущений, наблюдаемых на высотах F-слоя ионосферы. Савина О.Н., Громов Е.М., Тютин В.В. Стационарные внутренние волны в верхней атмосфере при учете неоднородности, нелинейности и потерь // Геомагнетизм и аэрномия, 2015. Т. 55. № 5. С. 675—679.

ВАРИАЦИИ МИНИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ F-СЛОЯ И ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ НОЧНОГО НЕБА НА МЕЗОСФЕРНЫХ ВЫСОТАХ

А.Е. Степанов, И.И. Колтовской, Г.А. Гаврильева, С.Е. Кобякова

ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, a_e_stepanov@ikfia.sbras.ru.

Сопоставлены вариации критических частот (f_oF_2) и высот ($h'F_2$) ионосферного F-слоя на ст. Якутск и флуктуации интенсивности свечения ночного неба на мезосферных высотах. Интенсивности гидроксила (ОН) на высоте примерно 87 км, и интенсивности молекулярного кислорода (O_2) на высоте примерно 95 км, получены по данным инфракрасного спектрографа, регистрирующим тепловое состояние области мезопаузы на оптическом полигоне Маймага (около 130 км к северу от Якутска). Измерения спектральных наблюдений эмиссий мезопаузы производились каждые 10 мин, а ионосферные измерения вертикального радиозондирования каждые 15 мин. На примерах оптических измерений в безлунный период (январь 2007 г., 7 событий) показано, что вариации ионосферных параметров ($h'F_2$) и интенсивность гидроксила (ОН) имеют схожие колебания. Спектральный анализ показывает, что среднее запаздывание фаз колебаний составляет примерно 100 мин.

СИСТЕМАТИКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРО-ТЕРМАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЗАПЫЛЁННОГО ДИНАМО СЛОЯ НОЧНОЙ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Е.Е. Тимофеев, С.Л. Шалимов, М.К. Валлинкоски, Й. Кангас

ГУМРФ им. С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия, evgeny.timofeev47@gmail.com.

По данным ~2000 измерений параметров ионосферы радаром EISCAT в магнитном зените авроральной обсерватории Тромсё, относящихся к периоду международного эксперимента ERRIS, в настоящей работе выполнен анализ характеристик пространственных решёток, состоящих из серий аномальных электро-термальных структур (ЭТС). Аномальная с точки зрения традиционной модели динамо слоя ионосферы, положительная величина разности температур ионов (T_i) и электронов (T_e), в таких ЭТС структурах интерпретировалась за счёт эффекта охлаждения электронов и нагрева ионов на частицах метеорной пыли, описанного в работе (Тимофеев и др. 2013). Подобный эффект

имеет место только в условиях малых (ниже порога Фарлей-Бунемановской (ФБ) неустойчивости) электрических полей. Дальнейший анализ природы ЭТС выполнен в этой работе параллельно на 3-х высотных уровнях динамо слоя (~105, 110 и 115 км) км по данным измерений с переменной длительностью импульса радара (30, 45 и 90 С). Показано, что: 1) ЭТС структуры с максимальной амплитудой (T_i – $T_э$) до 250К возникают на высоте ~105 км при спокойном фоновом уровне плотности ионизации ($N_e \sim 2-4 \cdot 10^4 / \text{см}^3$) и ориентации вектора электрического поля (Е-поля) в N-W квадранте. При этом на высотах 110, 115 км амплитуда ЭТС меньше соответственно в 2, 3 раза, а фоновая величина (N_e) примерно настолько же выше. Величина ФБ–порога, напротив, падает с высотой, составляя (~15-20; ~7-10; и ~3-5 мВ/м) на высотах ~105, ~110 и ~115 км, соответственно; 2) Огибающая вариации температуры каждой ЭТС структуры обладает т.н. зеркальной симметрией. Каждому локальному максимуму величины T_i , зеркально соответствует локальный минимум величины $T_э$. 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 $T_э$ будет максимум $T_э$; Спектр поперечных масштабов таких полуволн простирается от ~3 до ~80 км. 4) На материале анализа 2-х часовых интервалов в событиях (09.04 и 10.04.1988) получены регрессионные соотношения величин $dT_э/T_э$ и dN_e/N_e . Высокие коэффициенты корреляции ($CC= 0,91; 0,87$ и $0,71$ для высот 105, 110 и 115 км, соответственно) подтверждают разумность интерпретации природы ЭТС за счет эффекта осаждения энергичных электронов на заряженных частицах метеорной пыли. 5) Отношение средней величины вариации (dN_e) к среднему её уровню на данной высоте (N_e), т.е. (dN_e/N_e), практически одинаково на высотах 105 и 110 км. Тем самым эффект аномального охлаждения электронов проявляется на масштабах импульса радара в диапазоне высот не менее 10 км в пределах одной и той же силовой трубки ГМП. Описанные выше особенности ЭТС структур интерпретируются в рамках нелинейной эволюции иерархии структур, возникающих в результате неустойчивости Экмановского типа.

МЕТОД СИНТЕЗИРОВАННОГО СИГНАЛА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ ФИДЕРОВ АНТЕННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Л.Ю. Фадеева

*КНИТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия,
milafadeeva@yandex.ru.*

В современных исследованиях космического пространства на космических летательных аппаратах (КЛА) при функционировании антенных систем, систем связи и управления КЛА имеет место ряд проблем, связанных с передачей сигналов в соответствующих цепях, что непосредственно влияет не только на корректность работы оборудования систем КЛА, но и на качество и репрезентативность получаемой в экспериментах информации. В работе предлагается комплекс новых эффективных методов для решения задач диагностики и контроля фидеров, используемых в антенных системах, в том числе в радиоастрономии и на КЛА, базирующихся на идее использования синтезированного сигнала. Одной из областей приложения являются новейшие разработки антенн в низкочастотной радиоастрономии, занимающейся изучением свойств радиоисточников внеземного происхождения. Такого же рода задачи актуальны как на этапах проектирования и изготовления КЛА и антенных систем, представляющих собой в этом случае фазированные антенные решетки, излучающие элементы которых могут находиться на значительном расстоянии друг от друга, а также и на этапе их непосредственной эксплуатации в ходе проведения натурных экспериментов и

последующей обработки и анализа данных. Представлены детально: новый метод диагностики линий передачи, основанный на использовании зондирующего сигнала в виде набора квазигармонических сигналов и последующей когерентной весовой обработки измеренных коэффициентов отражения на входе; способ диагностики, основанный на совместном использовании синтезированных сигналов суммарного и разностного типов и последующей нелинейной их обработки; рекомендации в части реализации метода и его модификаций в задачах диагностики линий передачи и смежных задачах. Рассмотрены методы устранения искажений отраженного сигнала вследствие наличия потерь и дисперсии в линиях; новые способы устранения влияния боковых лепестков и исключения фантомных откликов в структуре синтезированного сигнала. Обсуждаются приложения в задачах контроля и диагностики аппаратуры связи при активной и пассивной радиолокации протяженных кабельных линий с нерегулярностями, пути построения диагностической аппаратуры для антенных систем КЛА, а также вопросы практического использования разработанных методов синтезированного сигнала.

ДОЛГОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СУТОЧНЫХ АНОМАЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В F2 СЛОЕ ИОНОСФЕРЫ НА СРЕДНИХ И АВРОРАЛЬНЫХ ШИРОТАХ

**Н.В. Чирик¹, В.В. Клименко², М.В. Клименко^{1,2},
А.Т. Карпачев³, И.Е. Захаренкова², А.М. Веснин⁴,
К.Г. Ратовский⁴, А.Е. Степанов⁵, Н.А. Коренькова²**

¹ БФУ им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия, wsaad@mail.ru;

² КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru,
maksim.klimenko@mail.ru, zakharenkova@mail.ru;

³ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, МО, г. Троицк, Россия, karp@izmiran.ru;

⁴ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, art-irk@inbox.ru, ratovsky@iszf.irk.ru;

⁵ ИКФИА им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия, a_e_stepanov@ikfia.sbras.ru.

Результаты последних исследований ионосферы показывают, что долготные вариации электронной концентрации в F2 слое высоко- и среднеширотной ионосферы сопоставимы по порядку величины с суточными вариациями. В данной работе мы воспользовались Глобальной Самосогласованной Моделью Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), двумя опциями модели IRI (URSI и CCIR), данными наземного зондирования ионосферы и данными наблюдений, полученными радиозатменным методом, для исследования долготной зависимости суточно-сезонных вариаций электронной концентрации в максимуме F2 слоя ионосферы. Отметим, что в модели ГСМ ТИП учитывается несовпадение географической и геомагнитной осей, а также зональный и меридиональный электромагнитный дрейф ионосферной плазмы, которые являются важнейшими элементами для модельного описания долготных вариаций в ионосфере и плазмосфере Земли. Все это позволило нам провести исследование возможных причин и механизмов формирования долготной зависимости суточно-сезонных вариаций на средних и авроральных широтах. В дальнейшем результаты обработки данных радиозатменных наблюдений планируется использовать для построения глобальной эмпирической модели основных параметров F2 слоя ионосферы. Таким образом, данная работа может рассматриваться как начальный этап тестирования банка данных, собранных для создания эмпирической модели. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-00788 и 15-35-20364.

РАЗВИТИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ВО ВРЕМЯ БОЛЬШИХ МИРОВЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ И ВО ВРЕМЯ РЕКУРРЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

**В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов^{2,3}, Г.А. Котова¹,
С.Е. Кобякова², В.В. Богданов⁴, А.В. Кайсин⁴**

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

² ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия;

³ ТИСВ ФУ, г. Якутск, Россия;

⁴ ИКИР ДВО РАН, Камчатский край, Россия.

По данным измерений спутников DMSP и данным доплеровских измерений на ионосферных станциях DPS-4 в Якутске (L=3) и Жиганске (L=4) исследованы вертикальные и горизонтальные дрейфы плазмы в области F2 ионосферы во время возникновения поляризационного джета (PJ) в ходе развития больших мировых магнитных бурь. Показано, что по наземным данным в периоды наблюдения PJ скорость вертикального дрейфа в области F2 на широтах главного ионосферного провала возрастает до 50-150 м/с, а скорость горизонтального западного дрейфа увеличивается до 300 – 700 м/с. Соответствующие скорости дрейфа, измеренные на спутниках DMSP, составляют 1-2 км/с и 2 – 3 км/с. Восходящие потоки плазмы регистрируются в течение многих часов. Во время рекуррентных возмущений в послеполуденном секторе наблюдается раннее появление PJ в 15-16 часов местного времени. Дополнительно во время мировых магнитных бурь анализируются данные наземных ионозондов на станциях Иркутск, Хабаровск, Якутск, Магадан, Петропавловск-Камчатский. Работа выполнена при частичной поддержке Программы РАН П7.

ВКЛАД РЕГИОНАЛЬНОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ В НАБЛЮДАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДНЕ- И НИЗКОШИРОТНЫХ УНЧ ШУМОВ ДИАПАЗОНА 10^{-2} - 10^{-1} ГЦ (Pc2-4): МОДЕЛЬ, НАБЛЮДЕНИЯ И ОЦЕНКА ВКЛАДА В ЗАДАЧУ О ВЫЯВЛЕНИИ СЕЙСМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ

Н. Ягова, В. Пилипенко, Е. Федоров

ИФЗ, г. Москва, Россия.

На основе анализа данных измерений геомагнитного поля наземными магнитометрами в Японии и базы данных WWLLN по молниевым разрядам оценен вклад грозового источника в параметры естественных УНЧ шумов диапазона 10^{-2} - 10^{-1} Гц. Показана важность региональной грозовой активности и возможность появления ложных корреляций при неучете этого фактора в задаче о выявлении сейсмоэлектромагнитного сигнала (УНЧ предвестника землетрясения). Оценен эффект пространственного перераспределения локальных гроз в периоды подготовки землетрясения как возможного источника описанных в литературе предвестников в УНЧ-КНЧ диапазоне.

CONNECTION OF VARIATIONS OF THE IONOSPHERIC TOTAL ELECTRON CONTENT WITH PARAMETERS OF SW AND IMF

O.A. Maltseva¹, T.V. Nikitenko¹, M.A. Sergeeva²

¹ *Institute for Physics SFU, Rostov-on-Don, Russia, mal@ip.rsu.ru;*

² *SciESMEX, Geophysics Institute campus Michoacan of the NAU of Mexico, tes19@mail.ru.*

One of the first, attempts had been undertaken to connect a singularity of behavior of the total electron content TEC with indexes Dst and Kp. The basic attention was paid to severe negative disturbances. Later, the beginning of negative and especially positive disturbances of TEC have been connected with sharp variations of parameters of solar wind SW and international magnetic field IMF. Recently, there were the papers analyzing behavior of TEC in cases $Dst \geq 50$ nT. It was appeared that lack of considerable southern Bz-components was characteristic for these cases, however essential variations were inherent in components Bx and By of IMF. The magnetic storm on March, 17th 2015 has already stimulated variety of publications, as the strongest disturbance in 24 solar cycle, with a detailed describing of geophysical conditions. In the present paper, the array of values of global map JPL was calculated on a northern hemisphere grid with a step 5° on a latitude and 15° on a longitude for the March 2015 including disturbance with minimum $Dst = -223$ nT. Global pictures of behavior of relative deviations δTEC of these TEC values from monthly medians for various latitudinal zones (high, middle, low) are in details analyzed. Disturbance has begun on March, 17th in $\sim 4:45$ UT. In 10 UT on all longitudes, except areas ($-30^\circ \div -45^\circ$) and ($-180^\circ \div -135^\circ$), positive disturbance, the strongest around a latitude 60° was exhibited. In 18 UT it was replaced by negative disturbance in a range of longitudes $-165^\circ \div 30^\circ$, the strongest in the European region with longitudes $0^\circ \div 15^\circ$ for a latitude 60° . At a latitude 45° in the same area positive disturbance has reached a maxima of 80 %. At a latitude 30° strong positive disturbance (60 % \div of 80 %) had been developed in a zone of longitudes from -60° to 60° . On March, 18th and 19 the ionosphere has been enveloped by negative perturbation of various intensity practically at all latitudes and longitudes. On March, 21st in the majority of areas there was a return to a non-disturbed condition. Coefficients of correlation between δTEC and Dst, Bz, Bz for various latitudes have revealed longitudinal zones of positive and negative values, zones of dominant influence of this or that factor. Attempt is done to connect these singularities with other parameters of SW, with UT-control of the ionosphere and other factors.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИАЛЬНЫХ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ

В. А. Андреева, Н. А. Цыганенко

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

Предложен новый метод построения эмпирических моделей, позволяющий воспроизводить на основе спутниковых данных распределение магнитного поля в ближней магнитосфере с заданной степенью разрешения. В отличие от предыдущих моделей, основанных на модульном подходе и ряде априорных предположений о геометрии токовых систем, в новом методе не накладывается никаких ограничений на пространственную структуру внеземных источников поля. Внешняя часть поля разлагается на сумму тороидальной и полоидальной компонент, а их производящие функции описываются формальными разложениями по радиальным базисным функциям (РБФ). Это позволяет минимизировать ограничения, накладываемые на модель априорными гипотезами, и максимизировать информацию о реальной структуре геомагнитного поля, извлекаемую из измерений. Применимость метода продемонстрирована результатами построения модельных конфигураций магнитосферы для четырех характерных её состояний в ходе геомагнитной бури: спокойных условий, главной фазы бури в период понижения Sym-H индекса, максимума околоземной депрессии поля с пиковым значением Sym-H, и фазы восстановления бури. В расчётах использовались данные спутников Polar, Cluster, Geotail, THEMIS и Van Allen в пределах геоцентрических расстояний $2 < R < 12 R_E$. Модельные РБФ-разложения успешно воспроизвели вклады от всех крупномасштабных источников магнитосферного поля, включая западный и восточный кольцевой токи, токовый слой хвоста, диамагнитные токи в полярных каспах и продольные токи. Для главной фазы бури модель выявила сильную утренне-вечернюю асимметрию магнитной депрессии на низких широтах, простирающуюся в вечернем секторе и на дневные часы местного времени. Показано, что значительный наклон земного диполя к плоскости терминатора в летний и зимний сезоны приводит к резко различной глубине депрессии поля внутри северного и южного каспов и её протяжённости вдоль магнитных силовых линий. По мере выведения на орбиты новых спутниковых миссий и быстрого накопления архивных данных, разработанный нами подход позволит исследовать и моделировать структуру магнитосферы с растущей детальностью, как в локальных областях, так и в глобальном масштабе.

ФОРМИРОВАНИЕ КАППА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ТУРБУЛЕНТНЫЙ ТРАНСПОРТ

**Е.Е. Антонова^{1,2}, М.В. Степанова⁵, И.Л. Овчинников¹,
И.П. Кирпичев^{2,1}**

¹ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

³ Университет Сантьяго де Чили, Чили, elizaveta.antonova@gmail.com.

В бесстолкновительной магнитосферной плазме релаксация формирующихся в результате ускорения и переноса функций распределения частиц приводит первоначально к каппа-распределениям и значительно позже к близким к максвелловским распределениям частиц. Каппа-распределение соответствует максвелловскому распределению при малых энергиях и непрерывно переходят в степенное распределение при больших энергиях. Каппа распределения формируются в результате существования дальнедействующих корреляций в бесстолкновительной магнитосферной плазме и действия процессов турбулентного ускорения и турбулентного переноса частиц. Приведены результаты анализа функций распределения электронов и ионов магнитосферы при одновременных наблюдениях вдоль полуночного меридиана на различных геоцентрических расстояниях спутниками миссии THEMIS. В процессе наблюдений в магнитоспокойных условиях функции распределения хорошо описывались каппа-распределениями. Получены радиальные зависимости параметров каппа-распределений для исследованных событий. Продемонстрирован рост показателя каппа в каппа-распределениях с увеличением геоцентрического расстояния. Проведен анализ процессов регулярного переноса из хвоста магнитосферы во внутренние области и турбулентного переноса из внутренних областей магнитосферы в хвост.

СВЯЗЬ ВЫСЫПАНИЙ СУБРЕЛЯТИВИСТСКИХ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В СТРАТОСФЕРЕ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, bazilevs@sci.lebedev.ru.

В ходе долговременного эксперимента по мониторингу потоков заряженных частиц в атмосфере Земли, осуществляемому в ФИАН с 1957 г., в Мурманской области (68°57'N, 33°03'E) зарегистрировано более 500 случаев высыпаний магнитосферных электронов с энергией выше нескольких сотен кэВ. В эксперименте детектируются не сами электроны, которые поглощаются на высотах более 50 км, а генерируемое этими электронами тормозное рентгеновское излучение, которое проникает в атмосферу до высот ~ 20 км. В течение более полувека высыпания регистрируются практически в одном месте и в достаточно узком диапазоне местного времени. Частота высыпаний хорошо коррелирует с частотой высокоскоростных потоков солнечного ветра и демонстрирует максимум на фазе спада 11-летнего цикла солнечной активности. Геомагнитные возмущения, связанные с корональными выбросами массы (ICME), как правило, не приводят к тому типу высыпаний, который регистрируется в нашем эксперименте. В докладе анализируются характеристики солнечного ветра и межпланетного магнитного поля во время геомагнитных возмущений с целью выявить наиболее важные условия, приводящие к наблюдаемым высыпаниям.

ДИНАМИКА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУКТУР В ЗОНЕ АВРОРАЛЬНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ

П.А. Беспалов¹, В.Г. Мизонова²

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

² *НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия.*

Рассмотрена трехмерная задача о формировании мелкомасштабных каверн плотности с нестационарным электрическим полем в зоне интенсивных авроральных электрических токов и токов кинетических альвеновских волн. Показано, что вероятной причиной формирования каверн является превышение токовой скоростью электронов некоторого критического значения, имеющего порядок их тепловой скорости. Рассмотрены линейная и нелинейная стадии формирования каверн плотности и сделаны оценки их основных параметров. В случае сравнительно сильных магнитных полей могут формироваться каверны со сравнимыми продольными и поперечными по отношению к магнитному полю масштабами. Установленные свойства параметров мелкомасштабных каверн плотности и нестационарного электрического поля согласуются с известными экспериментальными данными.

ВЫСЫПАНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В НИЗКОШИРОТНЫХ ОБЛАСТЯХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «РЭЛЕК» НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ»

**А.В. Богомолов¹, И.Н. Мягкова¹, М.И. Панасюк^{1,2},
С.И. Свертилов^{1,2}, В.В. Богомолов^{1,2}, А.В. Прохоров^{1,2},
В.Л. Петров¹**

¹ *МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯФ им. Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия, aabboogg@rambler.ru;*

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

В состав научной аппаратуры «РЭЛЕК», установленной на низкоорбитальном КА «Вернов» (высота орбиты от 640 до 830 км, наклонение - 98.4 градусов, период обращения 100 мин) входил ряд детекторов рентгеновского, гамма-излучения и электронов, регистрирующих потоки и спектры электронов в широком диапазоне энергий от 200 кэВ до 18 МэВ. Для регистрации электронов высоких энергий прежде всего использовался прибор ДРГЭ-3, позволяющий оценивать пичч-угловое распределение электронов благодаря взаимно ортогональной ориентации трех его блоков. Косвенным образом, по тормозному излучению, электроны могут регистрироваться также в блоках ДРГЭ-1 и ДРГЭ-2. В ходе эксперимента наблюдались возрастания потоков электронов в приэкваториальных областях на малых L, наиболее значимые из которых - 27 октября 2014 года на L~1.02, а также 29 октября на ещё меньших L. В обоих случаях спутник находился в районе Бенгальского залива. Тот факт, что на соседних пролетах эти пики не наблюдались, как и при пролетах над этим же местом за несколько дней до и после события, означает, что время существования подобной структуры составляло менее десятков минут. Дрейфовые периоды этих электронов составляют от нескольких минут до нескольких десятков минут. Анализируется возможная связь подобных явлений с молниевой активностью. Приводится сравнение данных, полученных на спутнике «Вернов», с результатами других спутниковых экспериментов (в частности, POES), а также с мировой сетью молний WWLLN.

СКОШЕННОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЧАСТИ ОКОЛОПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН: КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ МГД МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

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

Хорошо известно, что в результате орбитального движения планет носовая часть их магнитосфер и ударной волны (УВ) отклонены от направления на Солнце (X) на несколько градусов в плоскости планетных орбит. Характерная величина такой аберрации составляет $\sim 4^\circ$ на орбите Земли. Присутствие межпланетного магнитного поля (ММП) в потоке солнечного ветра приводит к дополнительной скошенности носовой части ударной волны от аберрированной оси X в плоскости (X_{gipm}, Y_{gipm}) системы координат GIPM. Такая дополнительная скошенность при малых Альвеновских числах Маха может достигать $\sim 30^\circ$ как в плоскости планетных орбит, так и перпендикулярно этой плоскости в зависимости от направления ММП. Приведенная в докладе аналитическая аппроксимация вышеупомянутого эффекта сравнивается с результатами 3-х мерного МГД моделирования околопланетных ударных волн, выполненного с высоким пространственным разрешением. Работа выполнена при частичной поддержке программы П7 РАН.

КИНЕТИЧЕСКИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ ЭЦР РАЗРЯДА УДЕРЖИВАЕМОЙ В МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ

**М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев,
Д.А. Мансфельд**

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru.

Проведены исследования процессов генерации электромагнитных волн при развитии кинетических неустойчивостей в плазме, создаваемой и поддерживаемой мощным миллиметровым излучением гиротрона в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке в условиях электронного циклотронного резонанса. На разных стадиях разряда с различными параметрами плазмы обнаружено более пяти различных режимов развития кинетических неустойчивостей. Проведены исследования электромагнитного излучения, как в плотной, так и в разреженной плазме. Изучена тонкая структура динамических спектров излучения плазмы в широком диапазоне частот. Наблюдаемая картина развития неустойчивостей имеет много общего с процессами в магнитосферной плазме и представляет большой интерес для лабораторного моделирования.

РАДИАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ ПО ДАННЫМ ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ И НИЗКОВОСОТНЫХ СПУТНИКОВ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{1,2}

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

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, elizaveta.antonova@gmail.com.

Проведен анализ проблем, возникающих при определении давления по данным спутников, измеряющих параметры частиц и плазмы в экваториальной области. Такие спутники движутся достаточно медленно. При этом, характерное время получения распределения давления вдоль орбиты спутника сопоставимо с характерным временем изменения давления (~ времени между инъекциями). Характерное время, за которое может быть получен радиальный профиль давления по данным низколетящих спутников значительно меньше. Время пересечения аврорального овала, например, составляет несколько минут. Поэтому возникает возможность получать реалистичные профили давления на расстояниях, превышающих апогей спутника в экваториальной области. В работе проведено сопоставление результатов измерений в экваториальной плоскости на спутнике AMPTE/CSE и на низких высотах спутниками DMSP с целью определения распределения давления в магнитосфере во время магнитной бури 23-27.11.1986 и вычисления величины Dst вариации. Использован разработанный ранее метод последовательных итераций для вычисления искажений магнитного поля полученными профилями давления. Показано, что вычисленные значения Dst хорошо соответствуют экспериментально наблюдаемым.

НАСКОЛЬКО ТОЧНЫ ГЛОБАЛЬНЫЕ МГД МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ?

Е.И. Гордеев, В.А. Сергеев

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

Для динамических процессов в магнитосферной системе свойственен нестационарный и многомасштабный характер, что значительно затрудняет интерпретацию физических процессов по данным точечных наблюдений наземных станций и космических аппаратов. Недостаточное пространственно-временное покрытие спутниковых и наземных наблюдений приводит к необходимости использования количественных моделей магнитосферы, которые являются мощным вспомогательным инструментом исследования. Одним из быстро развивающихся и перспективных направлений является численное глобальное магнитогидродинамическое моделирование (ГМГД). Принципиальной особенностью такого подхода является возможность моделировать магнитосферу целиком как открытую систему и одновременно следить за состоянием и динамикой её различных частей. Однако один из важнейших аспектов остается слабо исследованным – на каком уровне (качественно и количественно) ГМГД модели способны воспроизводить основные характеристики и динамическую структуру магнитосферы Земли? Для прояснения этого вопроса предложен метод тестирования, который применён к четырём ГМГД моделям, общедоступным через Центр Моделирования НАСА (ССМС). Метод основан на статистическом сравнении ключевых параметров магнитосферы, характеризующих её крупномасштабное состояние, с известными эмпирическими соотношениями для этих параметров. По результатам тестирования четырех ГМГД моделей оказывается, что в широком диапазоне параметров солнечного ветра они в целом успешно, хотя и с разной степенью точности, воспроизводят параметры системы, характеризующие крупномасштабное равновесие внешней

магнитосферы (такие как размер и форма магнитосферы, давление в долях и плазменном слое), для которых МГД подход представляется уместным. В то же время, для динамических характеристик некоторые модели демонстрируют систематические и значительные отклонения от наблюдаемых значений, в особенности для интенсивности магнитосферной конвекции, величины полного продольного тока, производимого в магнитосфере, и параметров фазы роста суббури – её длительности и количества магнитного потока, загружаемого в доли хвоста. Результаты тестирования общедоступных ГМГД моделей магнитосферы Земли подтвердили достоинства глобальных численных моделей, но и выявили некоторые значительные недостатки, требующие внимания со стороны разработчиков. Полученные результаты также могут быть полезны при планировании исследований с использованием ГМГД моделей.

НАГРЕВ И УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ ДИПОЛИЗАЦИЙ

Е.Е. Григоренко, Е.А. Кронберг, П. Дали

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, elenagrigorenko2003@yahoo.com.

Спонтанные магнитные диполизации, сопровождающиеся резкой перестройкой магнитной конфигурации от вытянутых силовых линий к квази-дипольной, часто наблюдаются в ближних областях геомагнитного хвоста (на радиальных расстояниях от Земли $8 - 15 R_E$, R_E – радиус Земли). Эти события сопровождаются резким возрастанием положительной величины V_z -компоненты магнитного поля, сильными магнитными флуктуациями и волновой активностью в широком диапазоне частот, и имеют длительность от десятков минут до нескольких часов. Считается, что данные явления связаны с ослаблением/разрушением поперечного тока хвоста и формированием суббуревой токовой системы. Процессы, происходящие при этом в плазменном слое, влияют на тепловые и энергетические характеристики плазмы. В данной работе, на основе 5-летних наблюдений спутников Cluster в ближнем хвосте, мы статистически исследовали динамику ионной и электронной температур, а также энергетических спектров электронов и различных ионных компонент (H^+ , He^+ , O^+) во время диполизаций. Статистически установлено, что на фронте диполизации (во время основного скачка V_z) отношение ионной и электронной температур T_i/T_e падает до $\sim 3 - 4$, тогда как за фронтом, во время «турбулентной» фазы диполизации, это отношение уменьшается до 2. Методом наложения эпох, примененным к нескольким десяткам диполизаций, установлено, что наблюдение минимума T_i/T_e совпадает с наблюдением роста высокочастотных магнитных и электрических флуктуаций (до частот порядка электронной гирочастоты), что может обусловить эффективный нагрев электронов. Также установлено, что на турбулентной фазе диполизации происходит увеличение потоков энергичных ионов (> 100 кэВ), что приводит к уменьшению величины степенного показателя энергетического спектра. Таким образом, наряду с обсуждавшимися ранее механизмами ускорения и нагрева плазмы на фронте магнитной диполизации, важную роль в изменении тепловых и энергетических характеристик плазменного слоя играют электромагнитные флуктуации, развивающиеся в системе после основного скачка V_z .

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА КОЛЬЦЕВОГО ТОКА – ТОКОВ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

В.В. Калегаев, Н.А. Власова

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

Представлены результаты исследования динамики максимальных потоков захваченных и высыпающихся ионов с энергией в диапазоне кольцевого тока (30-80 кэВ) по данным КА NOAA POES во время геомагнитных бурь разной интенсивности. Считается, что приэкваториальный буревой пояс (STEB – storm time equatorial belt) является «образом» кольцевого тока, а поток высыпающихся в высоких широтах частиц свидетельствует об интенсивности инжекции из хвоста магнитосферы [2]. Получены экспериментальные зависимости максимальных потоков ионов в данной геомагнитной буре от максимальной величины Dst -вариации. Сравнительный анализ полученных экспериментальных зависимостей показал, что максимальные величины потоков частиц STEB из области кольцевого тока возрастают с мощности бури, в то время как максимальные потоки высыпающихся частиц – убывают. Это можно интерпретировать так, что с ростом $|Dst|_{max}$ относительный вклад кольцевого тока в Dst возрастает. Полученные результаты соответствуют выводам работы [1] об относительных вкладах магнитосферных токовых систем (кольцевого тока и тока геомагнитного хвоста) в Dst -вариацию, сделанных на основе теоретических расчетов по параболоидной модели магнитосферы A2000.

[1]Kalegaev V.V., Makarenkov E.V.] Relative importance of ring and tail currents to Dst under extremely disturbed conditions // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2008, том 70, № 2-4, с. 519-525

[2]Søraas F., Oksavik K., Aarsnes K. et al.] Storm time equatorial belt – an “image” of RC behavior // Geophys. Res. Lett. 2003. V. 30. N 2. P. 1052-1055. doi:10.1029/2002GL015636.

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ МАГНИТОПАУЗЫ В ДНЕВНОМ СЕКТОРЕ

И.П. Кирпичев¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, С.С. Знаткова²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, МГУ, г. Москва, Россия,
ikir@iki.rssu.ru, elizaveta.antonova@gmail.com.

На основе базы данных пятиспутникового проекта THEMIS отобраны события пересечения магнитопаузы Земли в дневные часы (от 9 до 15 MLT). Для каждого пересечения проведена селекция времен нахождения спутников перед магнитопаузой (магнитослой) и за ней (магнитосфера). По восстановленным спектрам всенаправленного дифференциального потока протонов в диапазоне от 40 до 600 кэВ проводились аппроксимации функций распределения. Показано, что наблюдается высокий уровень флуктуаций показателя спектра энергичных ионов в районе магнитослоя, магнитопаузы и низкоширотного погранслоя. При этом величина показателя степени в среднем остается равной ~ 6. Уровень флуктуаций значительно уменьшается внутри магнитосферы.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

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

Ранее нами была предложена физическая модель реконструкции распределения плотности холодной плазмы во всей плазмосфере на основе данных одного пролета спутника через эту область. Использование такой модели позволяет исследовать распределение плазмы в различных секторах плазмосферы при разных геомагнитных условиях. Модельное положение плазмопаузы – последней замкнутой линии тока, сравнивается с положением этой границы определенной по данным спутников Интербол-1 и Магион-5 по формальным критериям, ранее использовавшимся для определения положения плазмопаузы. Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П7.

ВЛИЯНИЕ СКАЧКОВ НАПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ВЕРОЯТНОСТЬ СРЫВА СУББУРЬ

Д.И. Кубышкина, В.С. Семенов, М.В. Кубышкина

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, kubyshkina.darya@gmail.com.

Принято считать, что магнитосферная суббурия состоит из двух фаз: предварительной и взрывной. Во время первой, подготовительной, фазы энергия накапливается в хвосте магнитосферы, что приводит к увеличению величины магнитного поля в долях и электрических токов в плазменном слое. Следующая, взрывная, фаза связана с процессом магнитного пересоединения, в котором накопленная магнитная энергия высвобождается и приводит к образованию ускоренных потоков плазмы (BBFs) в хвосте магнитосферы. Такая схема развития суббурии находит подтверждение как в экспериментальных данных, так и с теоретической точки зрения, и используется в огромном числе исследований. Самое слабое место этой теории – это не вполне ясные физические условия, необходимые для возникновения пересоединения и срыва суббурии. В числе известных условий, приводящих к срыву суббурии, например, скачки давления, поворот межпланетного магнитного поля к северу и так далее. В настоящем исследовании мы рассматриваем влияние на порог срыва суббурии изогнутости токового слоя в хвосте магнитосферы, впервые предсказанное в статье [Kivelson and Hughes, 1990]. Идея состоит в том, что при асимметричной конфигурации магнитосферы градиенты и плотность тока в хвосте возрастают, что делает условия более подходящими для возникновения пересоединения. В таком случае, даже малого внешнего воздействия может быть достаточно для срыва суббурии. Мы проанализировали возможность влияния асимметрии токового слоя на вероятность срыва суббурии с точки зрения теории и наблюдений (статистического анализа числа суббурий). У изгиба токового слоя хвоста могут быть разные источники, и наиболее очевидные из них – это изменения угла наклона геодиполя и направления распространения солнечного ветра. При этом вариации угла наклона диполя - процесс достаточно медленный, поэтому в данном исследовании мы фокусировались, в основном, на исследовании скачков направления солнечного ветра. Статистический анализ включает исследование числа событий в зависимости от угла наклона диполя и направления солнечного ветра, которые приводят к изгибу и смещению токового слоя хвоста. Теоретическая интерпретация основана на исследовании квазидинамической модели изогнутого токового слоя. Мы обнаружили, что в модельных

конфигурациях токовый слой может утончаться или расширяться под действием индуцированного (вихревого) электрического поля, возникающего за счет быстрых изменений симметрии конфигурации, и результат согласуется со статистическим исследованием. Эффект наиболее заметен для периодов, когда угол наклона земного диполя близок к максимальному, поэтому мы полагаем, что он может быть ответственен за большее число слабых событий в данные периоды.

ДИНАМИКА ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ В НОЯБРЕ–ДЕКАБРЕ 2014 ГОДА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА КА «ВЕРНОВ» И «МЕТЕОР-М №2»

**И.Н. Мягкова¹, А.С. Ковтюх¹, М.И. Панасюк^{1,2},
С.И. Свертилов^{1,2}, В.В. Богомолов^{1,2}, А.В. Богомолов¹,
Д.В. Сибирякова², Е.С. Балан¹**

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

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

Аппаратура РЭЛЕК, установленная на КА «Вернов» (высота орбиты от 640 до 830 км, наклонение - 98.4 градусов) регистрировала потоки и спектры электронов в широком диапазоне энергий от 200 кэВ до 18 МэВ, а также позволяла оценивать питч-угловое распределение электронов. КА «Метеор-М №2», функционировавший одновременно с КА «Вернов» также имел круговую полярную орбиту (высота 825 км, наклонение 98.8 градусов). Совместный анализ потоков электронов по данным РЭЛЕК и «Метеор-М №2» дает возможность воссоздать картину пространственного и питч-углового распределения энергичных электронов в околоземном пространстве. В частности, было показано, что после воздействия на магнитосферу Земли межпланетной ударной волны 6 декабря 2014 потоки электронов с $E = 235\text{--}300$ кэВ во внешнем поясе возросли и граница его сдвинулась на более высокие L , а на $L \sim 1.5\text{--}1.7$ (вблизи максимума внутреннего пояса) и на $L \sim 2.0\text{--}2.5$ (в зазоре между поясами) сформировались дополнительные локальные возрастания потоков частиц. При этом геомагнитные индексы K_p и D_{st} практически не изменились. Время жизни локального пика электронов на $L \sim 1.5\text{--}1.7$ составило не менее суток, а пик электронов на $L \sim 2.0\text{--}2.5$ продержался не менее двух суток. Было получено, что потоки электронов в ближайшем к Земле возрастании сильно анизотропны, а показатель анизотропии потоков электронов во всплеске на $L \sim 2.3$ сильно изменялся со временем, по мере ослабления этого всплеска потоки в нём становились более изотропными.

РАЗВИТИЕ ГЛАВНОЙ ФАЗЫ МАГНИТНЫХ БУРЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФУНКЦИИ СВЯЗИ МЕЖДУ СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ И МАГНИТОСФЕРОЙ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ТЕЧЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

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

В литературе предложено множество различных функций (так называемых «функций связи - ФС»), которые позволяют по текущим значениям плазменных параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля оценить текущие значения Dst и (корректированного на давление) Dst* индексов. Так как реакция магнитосферы зависит от типа солнечного ветра [Николаева и др., 2014, 2015, Ермолаев и др., 2015], то настоящая работа посвящена поиску наилучшей ФС для описания временного развития Dst и Dst* индексов главной фазы магнитных бурь, генерированных разными типами течений солнечного ветра. С этой целью на основе «Каталога явлений солнечного ветра за период 1976-2000г» [Ермолаев и др., 2009] были выделены главные фазы магнитных бурь ($Dst_{min} \leq -50$ нТ), генерированных магнитными облаками MC (10 - бурь, 77 точек), «поршнями» Ejecta (31 буря, 324 точки), областью сжатия перед MC и Ejecta, Sheath (21 буря, 166 точек), коротящими областями взаимодействия CIR (31 буря, 279 точек), для которых в базе OMNI имеются необходимые данные для вычисления индексов по 12 ФС: 8 ФС из работы [Borovsky and Birn, 2014], две функции связи, которые учитывают влияние динамического давления на развитие Dst индекса, функция связи ($\sim vsw + 56 Bs$) из работы [Borovsky, 2014], и Альфвеновское число Маха. В работе анализируется коэффициент корреляции между рассчитанными по этим ФС и измеренными значениями Dst (и Dst*) индексов на главных фазах магнитных бурь для 4-х типов источника в СВ. Анализ показывает, что развитие Dst и Dst* индексов главной фазы магнитных бурь, зависит как от типа источника магнитных бурь, так и от вида используемой ФС.

СРАВНЕНИЕ УСЛОВИЙ БАЛАНСА ДАВЛЕНИЙ НА МАГНИТОПАУЗЕ В СПОКОЙНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ И ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ

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

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

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

Впервые проведен анализ соблюдения баланса давлений на магнитопаузе во время магнитных бурь. Рассмотрен периода функционирования спутников миссии THEMIS с момента запуска (2007 год) по 2014 год включительно. За это время была зафиксирована 91 магнитная буря (в расчет принимались возмущения, в которых индекс Dst опускался ниже - 50 нТл). Выделено 32 геомагнитных бури, во время которых хотя бы один из спутников THEMIS пересекал магнитопаузу. В 16 из 32 удалось провести анализ баланса давлений на магнитопаузе (в остальных случаях либо в источнике не хватает данных по скоростям частиц, из-за чего расчет давления невозможен, либо не удается выделить момент пересечения из-за сильных флуктуаций всех параметров). Проведен тщательный анализ выделенных бурь. Как правило, в течение одной бури спутники несколько раз пересекали магнитопаузу. Каждое пересечение анализировалось отдельно. Проведено статистическое сравнение исследованных буревых пересечений с пересечениями магнитопаузы в спокойных

условиях. 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. При усреднении по многим пересечениям было получено, что вклад магнитной компоненты давления в полное давление значительно возрастает при возмущенных геомагнитных условиях. Плазменное давление повышается при выходе в магнитослой, но в среднем его вклад в полное давление существенно уменьшается по сравнению со спокойными условиями. 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. Точность соблюдения баланса давлений сильно варьирует от события к событию. В среднем дисбаланс возрастает при буревых пересечениях. В исследованных случаях величина дисбаланса составляла от ~ 2% до ~ 50%. Показано, что, как и в спокойных геомагнитных условиях, так и во время магнитных бурь, можно наблюдать очень высокий уровень турбулентных флуктуаций в магнитослое. Корреляции между величиной дисбаланса давлений и значением Dst во время пересечения магнитопаузы не наблюдается. Во время одной и той же магнитной бури разные спутники могут наблюдать совершенно разные картины во время пересечений магнитопаузы.

ЗНАЕМ ЛИ МЫ ТОЧНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МАГНИТОПАУЗЫ ДЛЯ ТИПИЧНЫХ УСЛОВИЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ?

**А.А. Самсонов¹, Е. Гордеев¹, И. Ванг²,
Н.А. Цыганенко¹, В.А. Сергеев¹,
З. Немечек³, Я. Шафранкова³**

¹ СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия,
andre.samsonov@gmail.com;

² ГСФЦ, г. Гринбелт, США;

³ Карлов Университет, г. Прага, Чехия.

Положение магнитопаузы можно определить с помощью эмпирических и глобальных МГД моделей, а также из условия баланса давлений. Мы находим положение магнитопаузы для типичных условий в солнечном ветре, используя несколько наиболее известных эмпирических и численных МГД моделей. Сравнение результатов показывает значительный разброс даже при определении положения подсолнечной точки. Существенными недостатками осесимметричных эмпирических моделей являются отсутствие углублений в каспах и не учет угла наклона диполя. Предсказания двух неосесимметричных моделей (Lin et al., 2010; Wang et al., 2013) во многом не совпадают, поэтому модели требуют дополнительной верификации. Глобальные МГД модели не учитывают должным образом ряд факторов: существование кольцевого тока, возможное уменьшение давления солнечного ветра в окрестности отошедшей ударной волны и большее, чем предполагается, плазменное давление в магнитосфере. Совместно эти факторы могут приводить к увеличению расстояния до дневной магнитопаузы на величину порядка одного радиуса Земли.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИСТЕКАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЫ HD209458B СО ЗВЕЗДНЫМ ВЕТРОМ

И.Ф. Шайхисламов, П.А. Прокопов, М.Л. Khodachenko

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

Планетарный ветер газовых гигантов на экстремально близких орбитах является уникальным явлением, не встречающимся в Солнечной системе. Существующие теоретические и численные модели показывают, что верхняя атмосфера, состоящая из водорода и нагреваемая интенсивным звездным XUV излучением, формирует сверхзвуковое течение, которое качественно меняет плазменное окружение Горячих Юпитеров. Спектральные особенности, наблюдаемые во время транзита, дают многообещающие примеры такого окружения и возможностей его детектирования. Другим определяющим фактором окружения Горячих Юпитеров является звездный ветер, который сталкивается с планетарным потоком и ограничивает его ионопаузой, или магнитопаузой, если планета обладает значительным магнитным полем. Из-за сложности проблемы такое взаимодействие до настоящего времени не изучалось. Единственным примером остается численное исследование экзопланеты WASP-12b Bisikalo et al. (2013). В настоящей работе применяется полностью самосогласованное гидродинамическое моделирование взаимодействия немагнитного аналога HD209458b со звездным ветром. Используется многожидкостное описание планетарных атомов и протонов, звездных протонов и Энергичных Нейтральных Атомов (ЭНА). Основная цель состоит в нахождении физически различных режимов взаимодействия в зависимости от приливных сил, давления звездного ветра и интенсивности XUV излучения. Обнаружено, что давление звездного ветра аналогичного Солнечному разделяет в диапазоне орбитальных расстояний 0.06-0.09 а.е. два принципиально различных режима истечения планетарного вещества. На больших расстояниях звездный ветер способен остановить планетарное течение и полностью перенаправить его в хвост. На более близких расстояниях приливные силы преодолевают давление звездного ветра, и планетарное вещество ускоряется по направлению к звезде. В первом случае планетарное течение должно приобрести, благодаря силе Кориолиса, форму закрученного кометного хвоста, в то время как во втором – двойного кометного хвоста. Благодаря этому и ЭНА облако, формируемое в ходе перезарядки между быстрыми звездными протонами и медленными планетарными атомами, тоже будет иметь различную пространственную структуру. Установлено, что типичные максимальные плотности ЭНА составляют несколько частиц в см^{-3} . Облако простирается в поперечном направлении по крайней мере на 10 планетарных радиусов, а полное содержание вдоль линии наблюдения доходит до 10^{12} см^{-2} . Эти результаты сравнимы с моделированием, выполненным методом частиц (Kislyakova et al. 2014), в котором форма ионопаузы и плотность инжектируемых через нее планетарных атомов задавались эмпирическим образом. Таким образом, комбинируя гидродинамическую модель с моделью тестовых частиц, в будущих исследованиях планируется получить самосогласованную и наиболее адекватную для сравнения с транзитными наблюдениями в линии Ly- α 3D структуру ЭНА облака. Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №14-29-06036, программы №9 президиума РАН, Программы исследований СО РАН (проект П.10.1.4, 01201374303) и Австрийского Научного Фонда (S11606-N16, S11607-N16).

Bisikalo et al. 2013, ApJ, 764:19.

Kislyakova G. K., Holmström M, Lammer H., et al. 2014, Science, 346, 981.

Khodachenko M. L., I. F. Shaikhislamov, H. Lammer, P. A. Prokopov, 2015, ApJ., 813:50.

Shaikhislamov I. F. et al. 2014, ApJ, 795:132.

ВЛИЯНИЕ АЗИМУТАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОННУЮ АНИЗОТРОПИЮ В МАГНИТНОМ ХВОСТЕ ЗЕМЛИ

**Е.В. Юшков¹, А.В. Артемьев¹, А.А. Петрукович¹,
Р.Накамура²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, yushkov.msu@mail.ru;

² SRI, Austrian Academy of Sciences, Graz.

Доклад посвящен исследованию зависимости электронной анизотропии по питч-угловому распределению от азимутальной составляющей магнитного поля B_u . Сравнение параллельных и перпендикулярных электронных потоков и температур вблизи нейтральной плоскости магнитного хвоста Земли проводилось с помощью данных спутниковой миссии Cluster (за 2001-2009 год). Статистический анализ показал, что рост азимутальной компоненты B_u приводит к доминированию параллельного магнитному полю потока для электронов с энергиями больше 50 эВ -- так отношение параллельной к перпендикулярной составляющей в среднем увеличивается более, чем в два раза при увеличении B_u от 0 до 10 нТл и имеет четко выраженный максимум, сдвигающийся в область высоких энергий. Подобные максимумы анизотропии, как для отношения потоков, так и для отношения температур, имеют явную импульсную структуру с характерными временами от десятков секунд до нескольких минут, что дает основание предположить, что основным источником наблюдаемой анизотропии являются диполяризационные процессы. Особое внимание в докладе уделено сравнению B_u и B_z -электронной анизотропии, а также отличиям анизотропии в различных пространственных областях.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОТОНОВ В ПЛАЗМОСФЕРЕ В СПОКОЙНЫХ И ВОЗМУЩЕННЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ ВДОЛЬ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ТРУБОК ПО ДАННЫМ ИНТЕРБОЛА-1

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

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

Проанализированы данные о температуре и концентрации холодной плазмы в плазмосфере Земли, полученные при помощи плоского энергоанализатора с тормозящим потенциалом в течение 1995-2000 гг на участках орбит ИНТЕРБОЛА-1 вдоль магнитным силовых трубок в диапазоне $1.5 < L < 4.5$. При $L < 2$ орбита спутника совпадала с магнитной силовой трубкой вблизи экваториальной плоскости, при $L > 3$ орбита КА совпадала с силовой трубкой, как правило, на геомагнитных широтах $\sim 20 - 30^\circ$. Показано, что в периферийной области плазмосферы на $L > 3.5$ распределение концентрации холодной плазмы вдоль силовых трубок отличается от равновесного даже в спокойных геомагнитных условиях. Геомагнитные возмущения дополнительно приводят к возникновению 'изолированных' плазменных образований. Во внутренней плазмосфере, при $L < 2.5$, подобных явлений не наблюдалось. Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П7.

ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ НА ЮПИТЕРЕ И САТУРНЕ

Е.С. Беленькая

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

Сияния на Юпитере связаны с торможением вращения плазмы на переднем краю магнитодиска вследствие радиального разлета заряженных частиц на альфвеновском радиусе. В этом месте плотность кинетической энергии плазмы превышает плотность магнитной энергии, и разлетающаяся радиально плазма определяет структуру магнитного поля. Возникает магнитодиск. Вытекающие из юпитерианской ионосферы сильные продольные токи, приходящие к внутреннему краю магнитодиска, связаны с овалом полярных сияний на Юпитере. На Сатурне, у которого менее развитый магнитодиск, называемый кольцевым током, природа полярных сияний иная. Приполярная граница овала расположена вблизи границы между открытыми и замкнутыми силовыми линиями. Однако, приэкваториальная граница утренней полярной дуги, часто наблюдаемой в структуре полярных сияний, проектируется в утренне-дневную часть кольцевого тока, располагаясь от его переднего края до середины. Эти свечения могут быть связаны с сильными продольными токами, вызванными как градиентом плазменного давления и торможением вращения в кольцевом токе, так и прямыми высыпаниями горячей плазмы в ионосферу Сатурна.

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ИНЖЕКЦИИ ПЛОТНЫХ СВЕРХЗВУКОВЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНУЮ АРКУ

**М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев,
Д.А. Мансфельд**

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru.

В данной работе предложен новый экспериментальный подход, позволяющий исследовать в лабораторных условиях взаимодействие сверхзвуковых (ионное число Маха до 2.7) плазменных потоков высокой плотности (концентрация до 10^{15} см^{-3}) с неоднородным магнитным полем (магнитные ловушки арочной конфигурации с полем до 3.3 Т в пробке), что предоставляет широкие возможности для моделирования процессов в околоземной и космической плазме. Потоки полностью ионизированной плазмы с концентрацией от 10^{13} см^{-3} до 10^{15} см^{-3} , созданные с помощью специально разработанного плазмогенератора на основе вакуумно-дугового разряда, инжестировались в магнитное поле в форме изогнутой открытой магнитной ловушки. Экспериментально продемонстрировано заполнение плотной плазмой магнитной ловушки арочной конфигурации и дальнейший «разрыв» потоком плотной плазмы магнитных силовых линий поля. Показано, что при инъекции потоков плазмы поперек магнитного поля происходит торможение потока и его остановка в области, где динамическое давление потока плазмы равно магнитному давлению. Кроме того, при такой инъекции плазмы обнаружено электромагнитное излучение на частотах 1.5-2 ГГц, соответствующих электронно-циклотронному диапазону частот для магнитного поля 0.05-0.07 Тл в точке остановке потока плазмы. Частота излучения увеличивается с увеличением концентрации плазмы потока и не зависит от величины тока, создающего магнитное поле. Это подтверждает гипотезу о том, что источник электромагнитного излучения находится в области остановки плазменного потока. Наблюдаемое излучение может быть связано с развитием циклотронных неустойчивостей в плотной плазме, где плазменная частота электронов больше их гирочастоты. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60056 мол_а_дк.

ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ОБРЕЗАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОГО ГЕОМАГНИТНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ В МАРТЕ 2012 г.

**М.И. Тясто¹, О.А. Данилова¹, Е.С. Вернова¹,
В.Е. Сдобнов²**

¹ Санкт-Петербургский Филиал ИЗМИРАН, md1555@mail.ru;

² ИСЗФ СОРАН, г. Москва, Россия.

Одним из важных факторов, определяющих космическую погоду, являются космические лучи, жесткости обрезания которых сильно изменяются под воздействием состояния магнитосферы Земли и межпланетного космического пространства. В данной работе представлены изменения геомагнитных порогов, рассчитанные для периода сильной геомагнитной бури в марте 2012. Эта буря имела сложный характер и характеризуется скоростью солнечного ветра более 700 км/с в минимуме $\text{Dst} = -143 \text{ нТ}$. Теоретические вертикальные эффективные геомагнитные пороги были получены методом траекторных расчетов в магнитном поле возмущенной магнитосферы Цыганенко TS01 для ряда станций. Проведено сравнение их с экспериментальными жесткостями обрезания, полученными методом спектрографической глобальной съемки по данным мировой сети нейтронных

мониторов. Проведен совместный анализ временных вариаций, полученных теоретических и экспериментальных геомагнитных порогов и связи их с параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля.

ТОЛЩИНЫ И СТРУКТУРА LLBL ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ THEMIS ПРИ РАДИАЛЬНОМ МЕЖПЛАНЕТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

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

¹ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия;

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

Исследованы пересечения низкоширотного погранслоя (LLBL) спутниками миссии THEMIS. Проанализированы параметры плазмы и магнитного поля внутри LLBL по данным приборов ESA и MGF. Определялась толщина слоя с учетом скорости плазмы внутри LLBL, перпендикулярной магнитопаузе. Проанализирована диаграмма зависимости толщины LLBL от часового угла $\theta = \tan^{-1}(V_y/V_z)$. Выявлены два пика при $\theta \sim 45^\circ$ (от 30° до 70°) и 135° (от 120° до 160°), когда значения компонент V_y и V_z были примерно одинаковы. Число событий в пиках составляло порядка 10% от общего количества. Эти пересечения LLBL наблюдались на низких широтах. Значения компоненты V_x ММП в эти моменты времени в 2-3 раза превышали остальные компоненты ММП, что соответствовало радиальному направлению ММП. Предположено объяснение возникновения наблюдаемых пиков, основанное на анализе динамического давления солнечного ветра и полученных ранее результатах.

О ПРИРОДЕ ИОННЫХ СТРУКТУР TDIS (TEMPORARY DISPERSED ION STRUCTURES) В ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ

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

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

² ИАФПИ (IRAP), г. Тулуза, Франция.

В работе представлены результаты по исследованию формирования ионных структур, TDIS (Temporary Dispersed Ion Structures) в ночном секторе полярной зоны плазменного слоя в ходе развития суббури. Структуры представляют собой спорадические повторяющиеся инъекции ионов, имеющих дисперсию энергия-время в диапазоне 5-20 кэВ; период повторения составляет ~ 2 -3 мин. Анализ проведен на основе базы данных о потоках ионов и электронов (прибор ИОН) со спутника ИНТЕРБОЛ-2 на геоцентрических расстояниях 3-4 R_E , где R_E – радиус Земли. На таких высотах функция распределения частиц не испытывает существенной модификации из-за авроральных процессов по сравнению с ею в плазменном слое в экваториальной плоскости, поэтому по параметрам структур можно судить о процессах в магнитосферном хвосте. Исследования включали анализ данных по планетарной картине полярных сияний с UVI-камеры спутника POLAR, по магнитному полю и частицам с космического аппарата WIND и с геостационарных спутников, а также по геомагнитным пульсациям и вариациям магнитного поля с наземных обсерваторий. Такой комплексный анализ позволил заключить, что TDIS ассоциируются с началом суббури, ростом амплитуды пульсаций P_2 и взрывообразным уярчением полярного сияния. Оценки

показывают, что источник образования инжекций расположен на геоцентрических расстояниях $\sim 10-20 R_E$ в хвосте магнитосферы в замкнутых силовых трубках. Характерный контур дисперсионных структур позволяет заключить, что они сформировались из резонансно усиленных ионных популяций в приполярной области центрального плазменного слоя – CPS, распространяющихся по силовым линиям к авроральной зоне и испытывающих при этом дисперсию по энергии в результате времяпролетного эффекта. При этом пограничный плазменный слой – PSBL утончается и/или даже исчезает. На полярной кромке плазменного слоя появляются восходящие потоки ионов до нескольких сотен кэВ ионосферного происхождения, участвующих в балансе энергии магнитосферного хвоста. Вероятной причиной усиления потоков ионов в CPS и формирования TDIS как индикаторов этого усиления являются резонансные колебания целых силовых трубок геомагнитного хвоста. Свидетельством этого является возникновение в наблюдаемой области альвеновских волн большой амплитуды с периодом в несколько минут.

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА РЕГРЕССИИ МЕЖДУ МЕЖПЛАНЕТНЫМ И МАГНИТОСФЕРНЫМ ПОЛЕМ V_y ОТ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА БАЗЫ ДАННЫХ

А.С. Лукин, А.А. Петрукович

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

Азимутальная компонента магнитного поля в хвосте магнитосферы V_y (в направлении запад-восток) определяется, в основном, аналогичной компонентой межпланетного магнитного поля и динамикой магнитосферы. По наблюдениям проекта Geotail 1995–2005 гг. сформирована база данных, позволяющая анализировать влияние различных факторов на зависимость магнитосферного поля V_y^m и межпланетного V_y^i . Показано, что коэффициент регрессии между V_y^m и V_y^i зависит от условий выбора набора данных для анализа. Набор, составленный только по пересечениям спутником экваториальной плоскости по магнитным наблюдениям, включает больше измерений, сделанных в магнитоактивный период (при южном межпланетном поле), когда конфигурация хвоста постоянно меняется. Набор, составленный из длительных пересечений спутником плазменного слоя (приэкваториальной зоны), включает больше измерений, сделанных в магнитоспокойный период. В результате рассматриваемый коэффициент регрессии значительно отличается для двух наборов данных, что связано с наличием некоторого усиления V_y^m в магнитоактивное время.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ В ПЕРИОД МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 2007 г.

**Е.И. Морозова¹, И.П. Безродных¹, А.А. Петрукович¹,
М.Н. Будяк², В.Т. Семёнов²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, morozova.evgeniya2014@yandex.ru;

² ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва, Россия.

В работе анализируется структура потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли, формируемых в условиях низкой геомагнитной активности в минимуме 23 солнечного цикла. В 2007 г. основным источником высокоскоростных потоков солнечного ветра (СВ) были корональные дыры. Рекуррентные потоки СВ со скоростью > 500 км/с наблюдались $\sim 30\%$ времени, со скоростью > 400 км/с $\sim 60\%$, $\sim 10\%$ времени регистрировались потоки со скоростью > 600 км/с, средняя скорость медленного ветра составила ~ 344 км/с. В работе рассмотрены 29 возрастных потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли (ВРПЗ), формируемых в 2007 г. при воздействии отдельных достаточно изолированных высокоскоростных потоков СВ. В выделенных событиях 12 возрастных потоков СВ со скоростью большей 600 км/с, 12 событий — при скорости большей 500 км/с и 5 событий — при скорости < 500 км/с. В 9 случаях наблюдались скачки скорости > 300 км/с. Для каждого события анализируется временная динамика энергетических спектров электронов ВРПЗ (диапазон энергии 21 кэВ – 2 МэВ, данные спутников LANL). Рассмотрено влияние параметров потоков СВ (скорости, плотности и динамического давления) и Kp и Dst геомагнитных индексов на динамику максимальных потоков электронов для четырех энергетических диапазонов (~ 24 кэВ, ~ 172 кэВ, ~ 400 кэВ и ~ 1 МэВ). По всем выделенным событиям вычислены средние спектры для моментов регистрации минимальных и максимальных значений потоков электронов с энергиями 24 кэВ и 925 кэВ. Для медленного СВ и высокоскоростных потоков СВ вычислены средние спектры потоков электронов ВРПЗ.

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ОСТРОВА В ГЕОМАГНИТНОМ ХВОСТЕ ВОЗМУЩЕННОЙ МАГНИТОСФЕРЫ

И.С. Назарков, В.В. Калегаяев

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

Была исследована структура магнитосферного магнитного поля во время SSC бури 14 февраля 2009 года. Спутники THEMIS зарегистрировали отрицательные значения Vz компоненты магнитного поля в хвосте магнитосферы на начальной фазе геомагнитной бури. Было показано, что аномально спокойные геомагнитные условия в 2009 году способствовали расширению магнитосферы и были благоприятны для образования структур магнитное поля с отрицательной Vz компонентой в области геомагнитного хвоста. Было проведено моделирование на основании данных по солнечному ветру при помощи модели магнитосферного магнитного поля Земли A2000, во время которого были рассчитаны модельные параметры (характеризующие магнитосферное магнитное поле) для каждого часа времени. В результате было установлено, что магнитные острова могли возникать, когда магнитный поток сквозь доли хвоста превышал граничные значения, зависящие от размеров магнитосферы. Проведены расчеты магнитного поля в магнитосфере, демонстрирующие формирование магнитного острова в геомагнитном хвосте во время начала бури. Показано,

что формирование магнитного острова преобразовывает магнитный поток сквозь доли хвоста и предотвращает чрезмерно сильное развитие магнитного поля в хвосте.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ВСПЛЕСК ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ 0.2 - 5 ГЦ, КАК ПРЕДВЕСТНИК ВНЕЗАПНОГО НАЧАЛА ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ СВЯТОГО ПАТРИКА 17.03.2015

**В.А. Пархомов¹, Н.Л. Бородкова,² Б.В. Довбня³,
А.Г. Яхнин⁴, А.В. Суворова⁵, А.Ю. Пашинин⁶,
В.Э. Чиликин¹**

¹ Байкальский ГУЭП, г. Иркутск, Россия, *rekines_41@mail.ru*;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

³ ГО Борок, ИФЗ РАН, Россия;

⁴ ПГИ КНЦРАН, г. Апатиты, Россия;

⁵ ISS, NCU, Jhongli, Taiwan, НИИЯФ МГУ;

⁶ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

По материалам сопоставлений наблюдений с высоким временным разрешением фронтов межпланетных ударных волн (МУВ) на спутниках СПЕКТР-Р, Кластер и ТЕМИС и наземных наблюдений геомагнитных пульсаций на сети индукционных магнитометров 17.03.2015 г. описаны свойства импульсных сигналов, отражающих первый контакт взаимодействия сильно наклонной ($N_x=-0.95$, $N_y=-0.05$, $N_z=+0.30$) МУВ с магнитосферой. Приводимые результаты подтверждают результаты [1], согласно которым на сети станций сигналы наблюдаются в виде кратковременных (≤ 20 с) цугов колебаний амплитудой ~ 3 пТ в частотном диапазоне $0.2 \div 5$ Гц с резонансной структурой спектра. Всплески пульсаций предваряют или регистрируются в начале предварительного импульса внезапного начала (PRI), являющегося частью классического импульса внезапного начала. Сигналы наблюдаются одновременно (с запаздыванием ≤ 2 с) в широтно-долготном интервале $\Delta\Phi \sim 35^\circ$ и $\Delta\Lambda \sim 240^\circ$. Вероятность появления сигналов зависит от параметров межпланетной среды. С наибольшей вероятностью сигналы наблюдаются при положительных значениях B_z компоненты ММП при положительном возрастании её значения на фронте волны и при резких ($\leq 1 \div 3$ с) и больших (≥ 3 нПа) возрастаниях давления солнечного ветра. Физическая природа всплесков неясна. Обсуждаются две альтернативные модели возбуждения наблюдаемых импульсных сигналов. Согласно первой модели сигналы могут быть отражением осцилляций структуры волны сжатия, распространяющейся после контакта МУВ с магнитосферой. Согласно второй модели наблюдаемые сигналы могут генерироваться в ионосфере и приобретать резонансную структуру спектра в области существования ионосферного альвеновского резонатора.

[1]. Пархомов В.А., Довбня Б.В., Бородкова Н.Л., Сафаргалеев В.В., Пашинин А.Ю. Импульсные всплески геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2-7 Гц как первый сигнал о взаимодействии межпланетных ударных волн с магнитосферой. Солнечно-земная физика, 2014, вып.25, с.21-28.

К ВОПРОСУ ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА «ИНТЕРБОЛ-2»

Н.Ф. Смирнова, Г. Станев, Т.М. Мулярчик

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nsmirnova@romance.iki.rssi.ru.

До сих пор существует неясность в определении не только величины, но и знака электрического потенциала спутника «Интербол-2» относительно плазмы. Дело в том, что во время активной работы «Интербол-2» была твердая уверенность, что потенциал в авроральной зоне магнитосферы положительный, поэтому тестовые включения приборов, способных дать точное представление о величине и знаке потенциала, не проводились. Потенциал «Интербол-2» определялся двумя зондовыми приборами – ИЭСП-2 и КМ-7. ЭСП-2 – измеритель электрических полей методом двойного зонда с использованием трех пар сферических датчиков. ИЭСП-2 измерял величину U_{ps} (разность потенциалов между зондом и спутником) для всех шести зондов, но потенциал спутника определялся средним значением $-U_{ps}$ (разность потенциалов между спутником и зондом для двух сфер на штанге по оси Y). Эту величину можно использовать как значение потенциала спутника, если потенциал зонда лежит вблизи плазменного потенциала. Это условие выполняется в достаточно плотной плазме в ионосфере, а в магнитосфере для приведения электрического потенциала зонда к потенциалу окружающей плазмы используется ток смещения. Ток смещения (I_b) – это созданный технически поток электронов с зонда на спутник (здесь положительный), или наоборот с космического аппарата на зонд (отрицательный). Если зонд находится в плазме с малой плотностью и подвергается солнечному излучению (как зонды ИЭСП-2), то ток смещения должен быть отрицательным, чтобы компенсировать поток фотоэлектронов с поверхности зонда. Обратим внимание, что ИЭСП-2 определяет правильно знак и величину потенциала только при корректном токе смещения. ИЭСП-2 функционировал с $I_b = -72$ нА и $I_b = -110$ нА. Другой зондовый прибор КМ-7 (датчик электронной температуры) позволяет контролировать корректность выбора тока смещения при проведении измерений прибором ИЭСП-2. Приборы КМ-7 и ИЭСП-2 методически идентичны, так как используют один и тот же тип датчика (сферический зонд Ленгмюра) и измеряют одну и ту же величину U_{ps} . Зонд прибора КМ-7 защищен экраном от UV эмиссии в отличие от зондов ИЭСП-2. Существенным отличием приборов ИЭСП-2 и КМ-7 является тот факт, что ИЭСП-2 измеряет U_{ps} при постоянном отрицательном токе смещения, а КМ-7 снимает вольт-амперные характеристики, состоящие из 11 измерений U_{ps} при различных положительных значениях токов смещения (I_b варьируются от 153 нА до 0.15 нА). Таким образом, данные КМ-7 можно интерпретировать как измерения потенциала 11-ти приборов типа ИЭСП-2 в тени. Это представление позволяет сопоставить вариации U_{ps} , измеренные КМ-7 и ИЭСП-2. Проанализированы данные, полученные с ~350 орбит за ~806 часов совместного включения этих приборов при работе телеметрии СТО (частота опроса ИЭСП-2 400 мс, а цикл работы КМ-7 5.12 с.). Это сопоставление показало, что ИЭСП-2 определяет правильный потенциал в течение ~615 часов, что составляет ~76 %. По результатам этих измерений потенциал положительный, в основном в диапазоне 2-5 В, а в остальных случаях КМ-7, как правило, определяет потенциал с отрицательным знаком. Таким образом, ~76 % измерений прибором ИЭСП-2 корректны для определения потенциала и электрического поля. Сопоставление одновременных измерений потенциала спутника «Интербол-2» относительно плазмы приборами ИЭСП-2 и КМ-7 позволяет оценить плотность фотоэлектронного тока по методике, предложенной ранее. В докладе также обсуждается потенциал «Интербол-2» при пересечении радиационных поясов на основе данных с приборов АНОД и КМ-7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ НАПОЛНЕНИЯ ПЛАЗМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

**Д.В. Чугунин¹, Г.А. Котова¹, М.В. Клименко^{2,3},
В.В. Клименко², И.Е. Захаренкова²**

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

² Калининградский филиал ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, г. Калининград, Россия;

³ БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия.

На данный момент существует целый ряд моделей плазмосферы. Часть из них базируется только на эмпирических зависимостях, полученных на основе спутниковых измерений и наблюдений распространения свистящих атмосфериков, другая часть использует различные математические модели плазмосферы или системы ионосфера-плазмосфера. Однако, все существующие модели учитывают только зависимость процессов наполнения плазменных трубок в плазмосфере, связанных с силовыми линиями геомагнитного поля, от местного магнитного времени (MLT) и параметра Мак-Илвейна (L). В то же время, результаты математического моделирования, данные вертикального зондирования ионосферы и измерения полного электронного содержания показывают, что должна существовать долготная зависимость распределения электронной концентрации в плазмосфере и диффузионных потоков плазмы из ионосферы в плазмосферу и обратно. В данном исследовании предпринята попытка на основе данных измерений, полученных на спутниках Интербол 1 и Интербол 2, выяснить, существует ли на самом деле такая зависимость. Кроме того, в работе используются данные альтиметров, установленных на спутнике GRACE, для выявления долготных вариаций плазмосферного электронного содержания. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-00788 и 15-35-20364.

СВЯЗЬ ВЫСЫПАНИЙ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ С ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин, Н.В. Семенова

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

Ранее по данным спутников NOAA POES для 38-дневного интервала, было выявлено три типа высыпаний релятивистских (~ 1 МэВ) электронов (ВРЭ), имеющих разные механизмы рассеяния в конус потерь: 1) ВРЭ в окрестности границы изотропизации; 2) ВРЭ, наблюдаемые внутри анизотропной зоны одновременно с высыпанием энергичных (> 30 КэВ) электронов; 3) ВРЭ, регистрируемые одновременно с высыпанием энергичных протонов. В этой работе рассмотрена зависимость этих типов ВРЭ от геомагнитной активности. С этой целью выбраны три интервала одинаковой длительности, характеризующиеся разным средним уровнем геомагнитной активности. Показано, что вероятность наблюдения ВРЭ имеет тенденцию к росту при увеличении активности. Средняя интенсивность потока каждого типа ВРЭ зависит от среднего по интервалу уровня активности. Сделан вывод о том, что зависимость ВРЭ разных типов от геомагнитной активности определяется особенностями механизмов высыпаний и их связью с конфигурацией плазмосферы и магнитосферы.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВСПЛЕСКОВ ЖЕСТКОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В НЕРАВНОВЕСНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ

С.И. Безродных¹, Б.В. Сомов²

¹ ГАИШ МГУ, ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, Россия, sbezrodnykh@mail.ru;

² ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, somov@sai.msu.ru.

В большом многообразии гипотез о происхождении космических гамма-всплесков видное место занимают теоретические представления, в основе которых лежит рассмотрение взрыва особого типа сверхновой звезды в двойной системе с нейтронной звездой или другим релятивистским объектом, обладающим сильным магнитным полем. Ударная волна от взрыва сверхновой обладает гигантской энергией и быстро сжимает магнитосферу нейтронной звезды, формируя систему электрических токов, подверженных воздействию нескомпенсированных магнитных сил. В работе обсуждаются особенности быстрого магнитного пересоединения в такой существенно неравновесной магнитосфере. Представлено аналитическое решение двумерной задачи, моделирующей структуру магнитосферы в главном сечении. Найдена форма магнитосферы и распределение плотности тока в пересоединяющем токовом слое. Определены величины прямого и обратного токов, а также величина нескомпенсированной силы, действующей на обратный ток. Оценены характерные параметры неравновесной магнитосферы и показано, что избыточная энергия магнитосферы сопоставима с механической энергией, вносимой в нее ударной волной в момент удара. Обсуждается возможность возникновения жесткого электромагнитного излучения. Лит. [1] Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares. Springer SBM, New York, 2013. [2] Bezrodnykh S.I., Somov B.V. Analysis of magnetic field and magnetosphere of neutron star under effect of a shock wave // Advances in Space Research. 2015. V. 56. P. 964-969.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТРЕТЬЕГО АДИАБАТИЧЕСКОГО ИНВАРИАНТА В ПОТОКОВОЙ ФОРМЕ В АКСИАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ И НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ ЕГО СОХРАНЕНИЯ

В.В. Богданов

ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, п-ов Камчатка, Россия, vbogd@ikir.ru.

На примере аксиальной магнитной системы, создаваемой двумя однонаправленными витками с током, рассмотрен вопрос вычисления третьего адиабатического инварианта заряженной частицы в потоковой форме Φ . Для такой магнитной системы выделена внутренняя ловушка с линейными размерами порядка диаметра витков с током (пробкотрон) и внешняя ловушка с линейными размерами много больше диаметра витков (диполь). Качественно рассмотрена топологическая связь магнитного потока внутренней и внешней ловушек для конкретной силовой линии. Задан вектор возмущающего поля от произвольного

внешнего источника. Возмущающее поле однородно в пространстве, является функцией времени и удовлетворяет условию сохранения третьего адиабатического инварианта. Показано, что при вычислении третьего инварианта основным является не численное значение самого магнитного потока Φ , а только его изменение, равное разнице конечного и начального значений потоков, рассчитанных по параметрам дипольного невозмущенного поля. В этом случае при вычислении потоков отпадает необходимость в использовании несобственных интегралов, что для реальных ограниченных магнитных полей является принципиальным моментом. В свою очередь, эта разница равна магнитному потоку возмущающего поля, рассчитанного по параметрам конечной инвариантной поверхности исходного невозмущенного поля, на которую сместилась начальная оболочка с вмороженной в нее плазмой. Полученные результаты на примере магнитной системы, создаваемой двумя однонаправленными витками с током, распространены на геомагнитную ловушку, в которой внешнее возмущающее поле определяется кольцевым током (КТ). Механизм образования КТ в данной работе не рассматривается. Показано, что на главной фазе магнитной бури плазма со скоростью электрического дрейфа стягивается к КТ как с внутренней, по отношению к нему, стороны, так и с внешней. Поле во внутренней области уменьшается за счет Dst-вариации, а во внешней возрастает. В этом плане такой самоподдерживающий механизм КТ подобен пинчу. В свою очередь, стягивание плазмы с вмороженным в нее магнитным полем к КТ приводит к сгущению силовых линий по обе стороны от тока и, как следствие, к некоторому усилению общего поля. Чем больше КТ, тем ярче проявляется данный эффект. При этом во внутренней области плазма остывает, а во внешней нагревается. На восстановительной фазе картина обратная: плазма во внешней и внутренней областях дрейфует от КТ. При этом во внутренней области плазма нагревается, а во внешней остывает. Такой механизм, приводящий как бы к "размыванию" КТ, действуя на восстановительной фазе бури совместно с перезарядкой ионов на атомах экзосферы, циклотронной неустойчивостью и развивающейся питч-угловой диффузией, приводит к ослаблению и затуханию КТ.

ГЕНЕРАЦИЯ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИСТОЧНИКЕ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ В ДИПОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Т.М Буринская, М.М. Шевелев

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

В приближении геометрической оптики проведено исследование генерации и распространения аврорального километрового излучения в узкой трехмерной плазменной каверне, в которой вдоль магнитного поля распространяется поток слаборелятивистских электронов. Показано, что необходимым условием для максимального усиления волн является наличие у них в момент старта групповой скорости, направленной к Земле, так как при этом они дважды, вниз и вверх, проходят область усиления. Учет продольной скорости потока энергичных электронов ведет к изменению вида дисперсионных зависимостей и к смещению неустойчивости в область волновых векторов направленных к Земле. С ростом продольной скорости диапазон частот, в котором возможна генерация волн с частотами выше частоты отсечки окружающей холодной плазмы в месте старта волн, увеличивается, хотя коэффициент усиления этих волн уменьшается. Для волн, возбуждаемых с частотами меньше частоты отсечки фоновой плазмы на стартовой высоте, коэффициент усиления увеличивается с ростом продольной скорости электронов, вследствие того, что эти волны дольше находятся в области усиления.

ЛЕНГМЮРОВСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В ПЛАЗМЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ ПЛОТНОСТИ. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.С. Волокитин, К. Краффт

ИЗМИРАН, ИКИ РАН, г. Москва, Россия, a.volokitin@mail.ru

На основе численного моделирования представлено исследование ленгмюровской турбулентности в плазме солнечного ветра которая возбуждается электронными потоками. Показано, что при наличии внешних флуктуаций плотности плазмы солнечного ветра часть энергии ленгмюровских волн перекачивается в длинноволновую область, в результате чего происходит ускорение части электронов до скоростей примерно в два раза превышающих начальную скорость пучка. В частности, рассмотрены нелинейные процессы распада ленгмюровских волн с участием ионно-звуковых волн и анализируется их зависимость от внешних длинноволновых флуктуаций плотности плазмы. Показано, что в присутствии неоднородностей процессы распада локализованы в пространстве, и, из-за разницы групповых скоростей ленгмюровских и ионно-звуковых волн, длительность их взаимодействия ограничена, так что полное нелинейное насыщение неустойчивости не достигается. Отмечено также, что отражение и рассеяние ленгмюровских волновых пакетов на случайно изменяющихся флуктуациях плотности окружающей среды и плотности оказывают важное влияние на развитие спектра ионно-звуковых волн. Эти процессы, повторяющиеся в разных областях пространства, образуют серии каскадов передачи энергии волны, аналогичные тем, которые изучались в рамках слабой теории турбулентности. Изучены динамика такого механизма каскадирования и его влияние на ускорение самой энергичной части электронного пучка. Обсуждается роль процессов распада в формировании профилей ленгмюровских волновых пакетов и показано, что сигналы, которые в последнее время наблюдались на борту космических аппаратов STEREO и WIND и сигналы, рассчитанные по результатам моделирования, подобны.

Построена аналитическая модель, учитывающая влияние случайных неоднородностей плотности плазмы на резонансное взаимодействие частиц с ленгмюровскими волнами, получены формулы для коэффициента диффузии и инкрементов неустойчивости, обобщающие известные формулы квазилинейной теории в случае наличия флуктуаций плотности плазмы. Проведен анализ диффузии частиц в пространстве скоростей на основе статистического анализа полученных в результате моделирования траекторий большого числа тестовых частиц и его результаты сравниваются аналитической моделью и классической теорией квазилинейной диффузии.

ПРЕЗЕНТАЦИЯ КИГИ А.Л.ЧИЖЕВСКОГО «СОЛНЕЧНЫЙ ПУЛЬС ЖИЗНИ»

А.Л. Голованов¹ Д.Л. Голованов²,

¹ Региональный ФПОИИ «Гелиос» *golova2505@mail.ru*;

² Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
dm_golovanov@mail.ru.

Еще в 1924 году А.Л.Чижевский писал: «Есть некоторая вземная сила, воздействующая извне на развитие событий в человеческих сообществах. Одновременность колебаний солнечной и человеческой деятельности служат лучшим указанием на эту силу» Перед нами новая книга научных трудов Александра Леонидовича Чижевского. Книга создана при поддержке Института Космических исследований РАН РФ и института прикладной геофизики им. Академика Е.К.Федорова. Предисловие к книге подготовлено директор ИКИ РАН, академиком, вице-президентом академии наук России Л.М.Зеленым. Структура издания складывается из двух составляющих: первая часть, гелиобиология - переиздание известной книги А.Чижевского «Земное эхо солнечных бурь». Вторая часть – Солнце и социальные процессы - разделы из книги «Земля в объятиях Солнца», развивающие концепцию автора о влиянии солнца на всемирно-исторический процессы и на психические эпидемии. Сегодня влияние солнечной активности на биосферу Земли и на здоровье людей уже мало у кого вызывает сомнение. Вместе с прогнозом погоды мы ежедневно интересуемся и информацией о солнечных пятнах, зная, что изменение солнечной активности, порой, сильнее метеорологических колебаний влияет на состояние и самочувствие человека. Вместе с тем, не столь однозначно воспринимают многие ученые труды А.Чижевского связанные с влиянием солнца на исторический процесс, а уж о трудах, объединяющих историю, психологию, общественную жизнь и колебания солнечной активности – и сегодня многие слышать не хотят. Поэтому, при подготовке нового издания книги «Земное эхо солнечных бурь» было решено, взяв за основу первое издание книги 1973 года, добавить в него главы, в которых говорится о влиянии Солнца на общественно-исторические процессы. В 70-ых годах, по понятным причинам, о публикации работ ученого о влиянии солнечной активности на социальную жизнь и общественно-политическую активность человечества говорить не приходилось. Эти разделы опубликованы во второй части настоящего издания. Сегодня, не опасаясь критики со стороны «правлящей партии», мы можем изучать закономерности периодической деятельности Солнца и исследовать влияние ее на возникновение массовых волнений, революций, войн и тд. В качестве примера, в докладе приводится попытка связать влияние последних солнечных циклов солнечной активности с социально-политическими событиями в мире последних лет. Также в докладе высказывается предположение, о возможности моделирования на основе трудов А.Л.Чижевского «бархатных революций» и иных социальных возмущений в различных странах мира.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН С НЕОДНОРОДНЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ СТРУКТУРАМИ: АКТИВНЫЕ ИОНОСФЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

**Н.А. Айдакина, М.Е. Гушин, И.Ю. Зудин,
С.В. Коробков, А.В. Костров, В.О. Рапопорт,
А.В. Стриковский, В.Л. Фролов, Е.А. Шорохова,
М. Парро, Ж.-Л.Рош**

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

Неоднородности околослойной плазмы, как спорадические, так и искусственные (например, формирующиеся при проведении нагревных ионосферных экспериментов) представляют значительный интерес с точки зрения влияния на процессы распространения и генерации низкочастотных волн. С одной стороны, такие неоднородности, как правило – сильно вытянутые вдоль внешнего магнитного поля, могут играть роль волноводных каналов, способствующих эффективной транспортировке излучения по трассе ионосфера-магнитосфера в «гидрированном» режиме; с другой стороны, турбулизированные области околослойной плазмы, например в авроральной ионосфере, могут блокировать распространение радиоволн от наземных источников, создавая препятствия эффективному выводу низкочастотной мощности в магнитосферу Земли. В данном обзорном докладе представлены результаты активных ионосферных, модельных лабораторных и численных экспериментов, в которых исследовалась динамика плазменных неоднородностей и их влияние на низкочастотные волны, распространяющиеся преимущественно в свистовой моде. Особое внимание уделено мелкомасштабным неоднородностям: сильно вытянутым вдоль направления внешнего магнитного поля возмущениям, или дактам плотности, имеющим поперечные размеры меньше длины квазипродольной свистовой волны, порядка инерционной длины электрона c/ω_p , где c – скорость света в вакууме, c/ω_p – электронная плазменная частота. По данным натурных экспериментов такие неоднородности, как правило, не возникают уединенно, но существуют в виде системы, которая может обладать специфическими волноводными свойствами. Ионосферные результаты получены в нагревных экспериментах на стенде «СУРА» с использованием бортовых данных ИСЗ «DEMETER». Модельные лабораторные эксперименты выполнены на уникальном крупномасштабном плазменном стенде «КРОТ». Численное моделирование распространения пучка низкочастотных волн в плазме в присутствии системы мелкомасштабных неоднородностей выполнялось методом конечных разностей во временной области (FDTD). Работа выполнена по программе ОФН РАН №15 при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-02-12241-офи_м) и Российского научного фонда (проект № 14-12-00556).

СЕРФОТРОННОЕ УСКОРЕНИЕ ПРОТОНОВ И ЯДЕР ГЕЛИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

**В.М. Лозников, Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова,
Л.А. Михайловская**
ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nerokhin@iki.rssi.ru.

В работе на основе численных расчетов нелинейного уравнения для фазы волны на траектории заряженной частицы продолжено исследование ультрарелятивистского ускорения протонов и ядер гелия в космической плазме электромагнитной волной, распространяющейся поперек внешнего магнитного поля, применительно к вопросу возникновения вариаций потоков космических лучей, наблюдаемых экспериментально. Проведен анализ условий захвата частиц волной для различных значений исходных параметров задачи, исследована сложная динамика компонент скорости и импульса частиц, захваченных волной. Рассмотрены характерная структура фазовой плоскости ускоряемых частиц, оптимальные условия для реализации ультрарелятивистского серфотронного ускорения протонов и ядер гелия электромагнитной волной с основной компонентой электрического поля вдоль направления распространения волны. Подтверждена реализация достаточно простой структуры фазовой плоскости при релятивистских энергиях ускоряемых частиц, что позволит в дальнейшем усовершенствовать исходную модель с учетом затухания волны при ускорении частиц и установить максимальные энергии этих частиц. Из проведенного анализа следует, что при реализации черенковского резонанса волна-частица в режим захвата волной попадает малая доля частиц с энергиями, например, порядка сотен ГэВ, которая после доускорения с увеличением их энергии, например, до величин порядка 10^{15} эВ и более, приводит к значительному росту потока КЛ, в частности, в области колена на спектре КЛ. Такая ситуация может реализоваться в плазме местных межзвездных облаков и на границе гелиосферы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ НЕУСТОЙЧИВЫХ БЫСТРЫХ И МЕДЛЕННЫХ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ОПТИЧЕСКИ ТОНКОЙ ПЛАЗМЕ

Д.И. Завершинский, Н.Е. Молевич

СГАУ, СФ ФИАН, г. Самара, Россия, dimanzav@mail.ru.

В данной работе была изучена нелинейная динамика быстрых и медленных магнитоакустических волн в оптически тонкой плазменной среде с тепловой неустойчивостью[1]. Наличие тепловой неустойчивости в среде обусловлено процессами нагрева в ходе различных экзотермических реакций и охлаждений за счет излучения. Процессы нагрева и охлаждения зависят от температуры и плотности среды. Наиболее наглядным примером среды подобного типа является солнечная атмосфера. В ходе исследования была рассмотрена изоэнтропическая тепловая неустойчивость, представляющую собой волновую неустойчивость, приводящую к усилению магнитоакустических мод в среде. Влияние тепловых неустойчивостей изобарического и изохорического типа в данной работе не рассматривалось. Ранее было продемонстрировано[2], что в газовых средах акустическая неустойчивость способствует распаду слабых ударных волн ниже порогового значения на последовательность ударных автоволновых импульсов. Подобные автоволновые структуры кроме резкого фронта обладают способностью восстановления формы после взаимодействия. Нами была исследована возможность распада слабых ударных возмущений на быстрые и медленные автоволновые структуры. Одномерная динамика волн исследовалась с помощью полной системы уравнений магнитной гидродинамики[3], учитывающей неадиабатические процессы

нагрева и охлаждения. Считалось, что вектор внешнего магнитного поля находился в плоскости $x-z$, а магнитоакустические волны распространялись вдоль оси z . Численное моделирование проводилось с помощью неявной полностью консервативной разностной схеме. Для размытия резкого фронта ударноволновых решений использовалась линейная искусственная вязкость. В ходе моделирования показан распад ударной волны на последовательность быстрых ударных импульсов, движущихся по невозмущенной среде и медленных ударных импульсов распространяющейся по возмущенной среде за фронтом группы быстрых ударноволновых импульсов. Моделирование проводилось при различных углах наклона вектора внешнего магнитного поля к направлению распространения волн. Параметры быстрых и медленных магнитоакустических автоволновых структур описаны аналитически. 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 № 102, 608 и 1451 ГР 114091840046, грантами РФФИ 13-01-97001, 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, СП-3664.2013.2.

- [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.
- [3] Molevich, N. E. Parametrical amplification of Alfvén waves in heat-releasing ionized media with magnetoacoustic instability/ N. E. Molevich, D. I. Zavershinsky // *Astrophysics and Space Science*. 2015 - V. 358, article id.12.

ДРЕЙФОВЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ МОДЫ В МАГНИТОСФЕРЕ

**Д.Ю. Климушкин, П.Н. Магер, Д.А. Костарев,
М.А. Челпанов**

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

Дрейфовая компрессионная мода (ДКМ) является модой колебаний неоднородной бесстолкновительной плазмы конечного давления, в частности, магнитосферной плазмы. Теоретическое исследование ДКМ проводится на базе гирокинетики — разновидности кинетического формализма, применимого для колебаний с частотами, много меньшими ионной гирочастоты. Частота ДКМ имеет порядок частоты магнитного дрейфа ионов и зависит от азимутального волнового числа m . В дипольно-подобной магнитосфере ДКМ сосредоточена вблизи геомагнитного экватора. Спонтанное возбуждение ДКМ (дрейфово-компрессионная неустойчивость) возможно при наличии сильных пространственных градиентов плотности плазмы или инверсной функции распределения. Порог неустойчивости понижается при наличии анизотропии давления плазмы (поперечное давление превышает продольное). При наличии кривизны силовых линий ДКМ сцеплены с альфвеновскими модами. Если азимутальное волновое число превосходит некоторое критическое значение m^* , эти ветви сливаются и образуют неустойчивую УНЧ-моду — баллонную дрейфовую моду. Предполагается, что одна из разновидностей УНЧ-волн в магнитосфере (буревые компрессионные волны Pc5) может быть отождествлена с ДКМ. Признаками ДКМ обладают также волны, регулярно регистрируемые с помощью недавно введенного в строй Екатеринбургского радара, относящегося к российскому сектору SuperDARN: их частоты ниже характерных альфвеновских и зависят от величины m , что является характерным признаком ДКМ.

О НЕЛИНЕЙНОМ ЭКРАНИРОВАНИИ ЗАРЯДОВ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

В.Л. Красовский, А.А. Киселев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vkrasov@iki.rssi.ru;

МФТИ, г. Долгопрудный, Россия.

Представлены новые результаты решения двух классических задач физики плазмы, экранирования точечного внешнего заряда и задачи о возмущении плазмы сферическим телом, поглощающим заряженные частицы. Основная цель выполненных расчетов – дать ответ на открытый до сих пор вопрос об определении функции распределения захваченных частиц, движущихся по финитным орбитам около заряда. Явный вид распределения захваченных частиц невозможно найти в рамках линейного приближения и путем непосредственного анализа стационарных состояний возмущенной плазмы. Поэтому, существующие в настоящее время теоретические модели (например, известная формула Дебая) не в состоянии дать ответ даже на простой и ясный вопрос, какими именно частицами экранируется заряд (заряженное тело), зарядом облака захваченных частиц или зарядом, обусловленным возмущением концентрации частиц, движущихся по инфинитным орбитам. Предлагаемый подход позволяет преодолеть отмеченную трудность принципиального характера путем решения соответствующих нелинейных задач с начальными условиями. При этом распределение захваченных частиц в стационарном состоянии на больших временах становится вполне определенным. Показано, что учет вклада этих частиц в экранирование заряда необходим как для ясного понимания физики экранирования, так и для последовательного теоретического анализа этого явления, как фундаментального свойства плазмы. Нелинейные эффекты, связанные с захваченными частицами играют особенно важную роль при высоких значениях заряда, помещенного в плазму.

К ОЦЕНКЕ РАЗМЕРА ЭЛЕКТРОНА НА ОСНОВЕ РАСЧЁТА ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ ЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И МАГНИТНОГО МОМЕНТА

А.И. Лаптухов, А.А. Рухадзе

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, a.laptukhov@mail.ru;

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, rukh@fpl.gpi.ru.

При оценке полной энергии W магнитного поля электрона с магнитным дипольным моментом \mathbf{M} можно векторный потенциал магнитного поля точечного диполя $\mathbf{A}=\text{rot}(\mathbf{M}/R)$ заменить на $\mathbf{A}=\text{rot}(\mathbf{M}/R_a)$, где $R_a=(R^2+a^2)^{1/2}$, а постоянная a характеризует размер покоящегося или нерелятивистского электрона. Тогда энергия $W=\{\mathbf{B}^2/(8\pi i)\}$ [1] магнитного поля $\mathbf{B}=\text{rot}\mathbf{A}=\{(2a^2-R^2)\mathbf{M}+3\mathbf{R}(\mathbf{M}\mathbf{R})\}/R_a^5$ электрона будет конечной величиной, равной $W=15\pi i\mathbf{M}^2/(256a^3)$. Здесь и ниже фигурные скобки обозначают интегрирование по всему пространству, $\pi i=3,1415926$. Если в качестве размера электрона взять его, так называемый классический радиус $a=r_e=e^2/(mc^2)=2,818\cdot 10^{-13}$ см, то для энергии магнитного поля электрона получим $W=864mc^2$, что недопустимо много. При замене рассматриваемой модели распределения электрического тока по объёму ядра электрона на произвольную иную с той же величиной дипольного магнитного момента коэффициент $q=864$ в формуле $W=qmc^2$ изменится, но порядок величины сохранится: $q\sim 1000$. Значит, размер электрона не может быть равен классическому радиусу r_e и, тем более, не может быть меньше его. Поэтому

имеющиеся в научной литературе утверждения, что зарядовый радиус электрона меньше 10^{-16} или 10^{-15} см и поэтому закон Кулона для электрона выполняется вплоть до расстояний 10^{-15} см не могут соответствовать действительности, грубо противоречат ей, так как даже при $a \sim 10^{-15}$ см имеем $W > 10^9 mc^2$, что просто нелепо. Если учесть, что величина W должна быть меньше полной энергии электрона mc^2 , то получим $a > 3 \cdot 10^{-12}$ см. Этому условию удовлетворяет комптоновская длина волны электрона $d = h/(mc) = 2,426 \cdot 10^{-10}$ см, где h – постоянная Планка. По-видимому, $a \sim d$. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что комптоновская длина волны протона $d_p = h/(m_p c) = 1,3 \cdot 10^{-13}$ см по порядку величины совпадает с радиусом ядра протона $r_p \sim 10^{-13}$ см. Покажем, что этот же размер $a \sim d$ следует и из оценки величины дипольного магнитного момента электрона $M = eh/(4\pi mc)$. По определению дипольного магнитного момента произвольной системы токов с плотностью \mathbf{j} имеем [1]: $\mathbf{M} = \{[\mathbf{R}\mathbf{j}]\}/2c$, где $\mathbf{j} = p\mathbf{V}$ – плотность электрического тока внутри объема ядра электрона с плотностью электрического заряда p и скоростью \mathbf{V} . При учёте очевидного неравенства $V < c$ (или $V = c$) справедливы следующие оценки: $\text{mod } \mathbf{M} = M < \{Rp\}/2 = R_x \{p\}/2 = R_x e/2$. Отсюда для величины $R_x = \{Rp\}/\{p\}$, которая характеризует линейный размер системы токов, имеем: $R_x > 2M/e = h/(2\pi mc) = d/(2\pi) = 3,86 \cdot 10^{-11}$ см. Именно эта величина с размерностью длины входит в уравнения Дирака для электрона. Можно показать [2], что максимум сечения рассеяния электрона при взаимодействии его с фотоном в эффекте Комптона тоже указывает на то, что размер электрона $a \sim d$. Итак, размер электрона порядка комптоновской длины электрона $a \sim d \sim 10^{-10}$ см.

[1]. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. Наука. М. 1967.

[2]. Лаптухов А.И., Рухадзе А.А. Замечание о характерном размере электрона// Инженерная физика. 2015. №3. С. 19-23.

БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА

Е.Н. Пелиновский, Н.С. Петрухин, М.С. Рудерман

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, pelinovsky@hydro.appl.sci-nnov.ru;

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Распространение акустических и магнитогидродинамических волн в атмосфере Солнца в линейном приближении описывается волновым уравнением с переменными коэффициентами (переменная плотность газа, неоднородное магнитное поле и т.д.). В общем случае распространение волн сопровождается потерей энергии вследствие отражения волны от областей сильного изменения параметров среды. Между тем при выполнении ряда специальных условий на характер неоднородности возможно безотражательное распространение волны, несмотря на сильную неоднородность. Метод получения таких специальных условий на характер неоднородности среды изложен в докладе. Он основан на трансформации исходного волнового уравнения с переменными коэффициентами к уравнению Клейна-Гордона с постоянными коэффициентами. В результате находятся обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка для профилей неоднородности (плотности газа, магнитного поля), обеспечивающих безотражательное распространение волн. Безотражательные профили получают нескольких типов. Первые из них соответствуют вырожденному типу «бездисперсионного» уравнения Клейна-Гордона, и в этом случае безотражательная волна может иметь любой спектр. Другие типы безотражательных профилей ведут к дисперсионным эффектам в распространении волн, но не их затуханию. Некоторые приложения данного подхода к динамике Солнца описаны в наших публикациях.

- [1]Петрухин Н.С., Пелиновский Е.Н., Бацына Е.К. Безотражательное распространение акустических волн в атмосфере Солнца. Письма в *Астрономический Журнал*, 2012, том 38, No. 6, 439 - 445.
- [2]Ruderman M.S., Pelinovsky E., Petrukhin N.S., Talipova T. Non-reflective propagation of kink waves in solar magnetic tubes. *Solar Physics*, 2013, vol. 286, 417-426.<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1063/2013/nhess-13-1063-2013.pdf>.
- [3]Petrukhin N.S., Ruderman M.S., Pelinovsky E. Non-reflective propagation of kink pulses in magnetic waveguides in solar atmosphere. *Solar Physics*, 2015, vol. 290, No. 5, 1323-1335.

СУПЕРДИФФУЗИОННЫЕ СКЕЙЛИНГИ ПЕРЕНОСА В ПЛАЗМЕ: ТЕОРИЯ – ЭКСПЕРИМЕНТ

**С.П. Савин¹, В.П. Силин², В.П. Будаев^{1,3},
Л.С. Рахманова¹, М.О. Рязанцева^{4,1},
В.Ю. Попов^{4,1}, С.А. Урюпин²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² ФИ им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия;

³ НИЦ Курчатовский институт, г. Москва, Россия;

⁴ МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

Скейлинги аномального переноса (супердиффузии), полученные экспериментально в турбулентной плазме магнитосферы Земли и лабораторной плазме термоядерных установок и обработанные с помощью современных статистических каскадных моделей сильной турбулентности с перемежаемостью, предлагается рассматривать также в рамках подхода физической кинетики к теории турбулентности плазмы, в том числе ионно-звуковой турбулентности. Мы представляем сравнение данных с ведущих магнитосферных спутников и лабораторных установок в сравнении с современной теорией.

ЭЛЕКТРОН-ИОННАЯ ПЛАЗМА С ТОКОМ В РАВНОВЕСИИ С ИЗЛУЧЕНИЕМ

В.Ф. Туганов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, princet@rambler.ru.

Ток в плазме, будь плазма космическая или лабораторная, всегда, независимо от природы тока, - это ее нагрев. Омический нагрев прост и по физическим принципам, и по технологии его реализации: плазма, обладая сопротивлением R , нагревается. И хотя мощность нагрева $Q = I^2 R$ квадратично зависит от тока I , он всегда ограничен сверху условиями устойчивости плазмы. Поэтому достаточно большой нагрев может быть лишь при высоком *сопротивлении плазмы*. Но по мере нагрева полностью ионизованной плазмы оно быстро падает ($R \sim T^{-3/2}$) с ростом температуры T , и эффективность омического нагрева снижается: омический нагрев ограничивает сам себя. Поэтому для достижения, например, термоядерных температур ($T \sim 10^8$ К) используют другие методы нагрева. Но в условия космической плазмы их может и не быть. Зато есть нечто другое, чего практически нет в лабораторных условиях, - за исключением плотной плазмы (100 г/см^3), создаваемой в лазерных мишенях методами инерциального термоядерного синтеза. Здесь, так же как и в недрах звезд, плазма существует в условиях равновесия с излучением. Благодаря полной изотропии черного излучения из каждого элемента его объема исходит равномерно во все стороны поток энергии. Поэтому в системе координат, связанной с электроном, на него не действует никакая сила со стороны

излучения: здесь просто нет выделенного направления. Кстати, то же самое имеет место при этом и со стороны ионов. Но такой изотропии нет в лабораторной системе координат, где электрон движется со скоростью V . Как следствие, - возникает сила торможения от двух источников: и со стороны ионов, и со стороны фотонов. То есть, соответствующее ускорение электрона $\mathbf{a} = - (v_{ei} + v_{ef})\mathbf{V}$, а значит и сопротивление $R \sim v_{ei} + v_{ef}$ этой трех-компонентной плазмы обусловлено двумя частотами столкновений электронов с разной зависимостью от ее температуры T . Электрон-ионная частота $\nu_{ei}(T) \sim Zn/T^{3/2}$, где n – плотность плазмы, Z – эффективный заряд ионов, а частота электрон-фотонных столкновений, очевидно, пропорциональна 4-ой степени температуры, то есть, $\nu_{ef}(T) \sim \alpha \sigma T^4$, где α – коэффициент «черноты» излучения ($0 < \alpha < 1$), а σ - постоянная Стефана-Больцмана [1]. Следовательно, при $T_* \sim (nZ/\alpha)^{2/11}$ существует минимальный предел поглощаемой мощности омического нагрева $Q_{min} = Q(T_*) \sim (nZ)^{8/11} (\alpha)^{3/11}$, значение которого растет с увеличением любого из этих 3-х параметров системы: n , Z и α . Естественно, что применимость такого расширения технологии омического нагрева требует конкретного рассмотрения его условий как для космической плазмы, так и для лабораторной. В частности, для совместного российско-итальянского термоядерного проекта «Игнитор» (г. Троицк, Москва) только за счет планируемого в 10 раз повышения плотности плазмы n удалось бы, не меняя параметры Z и α , существенно повысить минимальную мощность нагрева Q_{min} , практически не изменив отвечающую ей температуру плазмы $T_* \sim 10^{7.8} (n/10^{14})^{2/11}$ К. При этом не менее важным остается и вопрос о динамике установления равновесия между всеми тремя компонентами такой плазмы. Включая и проблему ее отклика на включение (формально слабого) электрического поля: именно так и можно будет выявить соответствующие интегралы столкновений, проводимость плазмы и ее сопротивление.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. V. Статистическая физика. М.:Наука, 1975

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ»

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДАКТОВ ПЛОТНОСТИ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

**Н.А. Айдакина, М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин,
С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский**

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

Мелкомасштабные неоднородности ионосферной плазмы, формирующиеся при проведении активных нагревных экспериментов, могут обеспечивать режимы волноводного распространения низкочастотных волн, возбуждаемых наземными передатчиками, и способствовать выводу излучения из волновода «Земля-ионосфера» в магнитосферу. Вопросы генерации искусственных неоднородностей плотности, как в околоземной, так и в лабораторной плазме [1] представляют значительный интерес. На крупномасштабном плазменном стенде "Крот" (ИПФ РАН, г. Н. Новгород) проведены экспериментальные исследования процессов формирования и взаимодействия неоднородностей плотности плазмы, вытянутых вдоль внешнего магнитного поля (дактов). Тепловые дакты плотности формировались в результате локального нагрева плазмы электромагнитным излучением высокой интенсивности. В работе детально исследована пространственная структура и динамика мелкомасштабных неоднородностей, как при образовании одиночной неоднородности, так и при одновременном формировании двух плазменных неоднородностей. Подробно исследованы случаи большого (порядка ширины одиночного дакта) и малого (порядка полуширины одиночного дакта) расстояния между дактами. В ходе лабораторных экспериментов установлены некоторые особенности процесса генерации неоднородностей при одновременном формировании двух плазменных дактов. Эффект взаимного влияния дактов проявляется в перераспределении плотности таким образом, что величины возмущений в дактах выравниваются независимо от начальных величин возмущений плотности плазмы. Кроме того, временная эволюция возмущений плотности существенно различается в дактах и в области между дактами. Динамика переноса плазмы вдоль внешнего магнитного поля при одновременном развитии нескольких неоднородностей имеет более сложный характер, чем в случае одиночной плазменной неоднородности. В лабораторных экспериментах продемонстрирована возможность использования плазменных неоднородностей, вытянутых вдоль внешнего магнитного поля для обеспечения волноводного распространения низкочастотных волн свистового диапазона. Показано, что захват пробного излучения может происходить как в один дакт, так и в оба дакта, в зависимости от выбранных параметров эксперимента. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-02-12241 офи_м) и Российского научного фонда (проект № 14-12-00556).

[1] В.Л. Фролов, В.О. Рапопорт, Е.А. Шорохова, Н.А. Айдакина, М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, М. Парро, Ж.-Л.Рош. Тонкая структура дактов плотности, формирующихся при активном радиочастотном воздействии на лабораторную и космическую плазмы. Письма в ЖЭТФ, Т.101, №5, с.342-346 (2015).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОДЯЩИХ ЧАСТИЦ В СЛАБОИОНИЗОВАННОЙ СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

В.С. Грач

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

Анализируется взаимодействие двух проводящих сфер в потоке слабоионизованной столкновительной плазмы. Поток создан внешним электрическим полем, при этом 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, 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. На основе полученных ранее результатов решения задачи о зарядке сфер, определены электростатические силы, действующие на частицы, и проведен сравнительный анализ влияния внешнего поля, поля пространственного заряда и зарядов, образующихся на сферах. Построены зависимости электростатических сил, действующих на сферы, и времени сближения сфер под действием этих сил от начального расстояния между сферами. Показано, при рассматриваемых параметрах плазмы основным фактором взаимодействия двух сфер является их сближение во внешнем поле за счет разности зарядов (одна сфера "догоняет" другую). Это сближение (с учетом силы трения, действующей на сферы со стороны нейтрального газа) происходит существенно медленнее всех остальных процессов в системе.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПЛАЗМЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВИСТОВЫХ ВОЛН

**И.Ю. Зудин, Н.А. Айдакина, М.Е. Гущин,
С.В. Коробков, А.В. Костров**

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

Работа посвящена изучению особенностей распространения низкочастотных волн в магнитоактивной плазме при наличии возмущений концентрации, вытянутых вдоль внешнего магнитного поля. На основании результатов численного моделирования установлено, что область возмущенной плазмы может выступать в роли волноведущей структуры для волн свистового диапазона частот, определены основные свойства захваченных волн. В том случае, когда поперечный масштаб неоднородностей в возмущенной области сопоставим либо превосходит длину волны в невозмущенной плазме, каждая из неоднородностей представляет собой независимый волноводный канал. При уменьшении характерного периода неоднородностей до величины, сопоставимой с длиной волны (случай мелкомасштабных неоднородностей), оказывается возможной перекачка энергии между каналами. В результате, вся возмущенная область становится единой волноведущей структурой. Свойства волн, направляемых областями плазмы с вытянутыми мелкомасштабными неоднородностями, схожи со свойствами волн распространяющихся вдоль каналов с повышенной, либо пониженной концентрацией плазмы. Возмущения с

повышенной концентрацией способны направлять квазипродольные свистовые волны, частота которых ниже половины гирочастоты электронов. Косые волны захватываются возмущениями с пониженной концентрацией. Предполагается, что полученные результаты могут быть использованы для объяснения влияния радиочастотного нагрева околоземной плазмы, сопровождающегося возбуждением возмущений плотности на распространение низкочастотных волн сквозь ионосферу. Работа выполнена при поддержке фондов РФФИ (грант №13-02-12241 офи_м) и РНФ (грант № 14-12-00556).

ПЫЛЕВЫЕ ВИХРИ В ИОНИЗИРОВАННЫХ АТМОСФЕРАХ МАРСА И ЗЕМЛИ

Ю.Н. Извекова, С.И. Попель

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

Пылевые вихри (Dust Devils, DD), широко распространенное явление в атмосферах Земли и Марса, представляют собой сильное хорошо сформированное и относительно долгоживущее вихревое образование, размеры которого изменяются в диапазоне от малых (полуметра шириной и нескольких метров высотой) до больших (более ста метров в ширину и километра в высоту) в условиях земной атмосферы. Марсианские пылевые вихри могут быть более чем в пятьдесят раз шире и более чем в десять раз выше земных. Даже небольшие пылевые вихри производят радиошумы и электрические поля, достигающие 10^4 В/м и выше. Пылевые вихри захватывают небольшие пылевые частицы. Вращаясь в вихревой структуре, пылевые частицы сталкиваются и трутся друг о друга и приобретают электрический заряд. При этом мелкие частицы заряжаются отрицательно, а крупные положительно. В восходящем потоке это приводит к пространственному разделению зарядов и возникновению электрического диполя. Кроме того, вращающиеся частицы создают магнитное поле. Электрические поля способствуют подъему вещества в атмосферу с поверхности. Математически динамика пылевых вихрей близка к динамике тороидальной плазмы, соответственно, методы развитые в исследованиях управляемого термоядерного синтеза могут быть применимы при моделировании пылевых вихрей. Сильные локальные вихри более эффективно поднимают пыль с поверхности, чем горизонтальные ветра, поэтому полагают, что DD являются основным механизмом подъема пыли на Марсе. В данной работе развивается методика описания зарядки пылевых частиц в пылевом вихре, обсуждаются процессы ионизации и моделируется динамика заряженных частиц. Работа выполнена при поддержке Президентского гранта (проект № МК-6935.2015.2) а также частично Программы Президиума РАН №9 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд».

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ В ТЕОРИИ ПЛАЗМЫ

В.М. Корюкин, А.В. Корюкин

МарГУ, г. Йошкар-Ола, Россия, vmkoryukin@gmail.com.

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 [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]. Мы предложили [2, Корюкин В.М. Известия вузов. Физика, **55**, N 6, (2012), 81] получение потенциала Черникова 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). Мы предполагаем, что энергия фундаментальных взаимодействий должна зависеть от числа частиц и квазичастиц, участвующих в этих взаимодействиях, причем ее зависимость от пространственных координат определяется средним числом бозонов, которыми обмениваются две частицы. Естественно, что на очень малых расстояниях r , в том числе и для так называемых «черных дыр», процессы должны описываться квантовой теорией, а не классической [3, Koryukin V.M., PoS(Baldin ISHEPP XXII) 024]. Аналогичный формализм получения потенциала $C / (\exp(Br) - 1)$ 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. Кроме того отметим, что для описания физической системы, характеризующейся конечным радиусом экранирования, удобно использовать симметрии, групповая структура которых становится точной лишь в асимптотических пределах, а в общем случае зависит от координат пространства.

ПРИНЦИПЫ ОПИСАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ НУЛЕВЫХ ТОЧЕК 1-ГО, 2-ГО И ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ

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

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, в частности, нами использовано разложение по базисным функциям, представляющим собой однородные гармонические полиномы на основе перенормированных шаровых функций. Нули 1-го порядка неоднократно рассматривались в литературе ранее. Описание нулей 2-го и высших порядков затрудняется тем, что уравнения линий поля зачастую не удаётся проинтегрировать аналитически, однако оно может быть упрощено за счёт преобразования системы координат, а также посредством нахождения решений, аналитического либо численного, сформулированной нами задачи на собственные функции. Последние дают исходящие из нулевой точки лучи (реперы), на которых вектор магнитного поля направлен радиально или же обращается в нуль. Дальнейший анализ заключается в рассмотрении асимптотического поведения линий поля вблизи реперов. Исследования показывают, что нули 2-го и высших порядков демонстрируют более разнообразную геометрию линий поля в своих окрестностях по сравнению с 1-м порядком. У нулевых точек 1-го порядка потенциального поля может иметься либо 6 реперов, либо континуум. Показано, что у нулей 2-го порядка, соответственно, может быть до 14-ти реперов (в случае конечного числа последних). Типичными являются случаи наличия 10-ти либо 14-ти реперов, все из которых ненулевые. Проведённое исследование может быть полезно при рассмотрении процессов магнитного пересоединения на Солнце и в гелиосфере.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПЛАЗМЕ С ТЯЖЕЛЫМИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ ДЛЯ ВОЛН ЭЛЕКТРОННОГО СВИСТОВОГО МОДА

Б.В. Лундин

ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, lundin.bv@gmail.com.

В областях приземной плазмы умеренной плотности загрязнение тяжелыми электроотрицательными молекулами и прочими конгломератами с высоким сродством к электронам приводит к локальному уменьшению плотности электронов, что меняет условия для резонансного излучения пучком волн диапазона электронных свистов и возможности их регистрации. Несущественное результирующее изменение фоновой ионной плазменной частоты из-за появления тяжелых отрицательно заряженных конгломератов приводит лишь к локальному росту нижнегибридной частоты в сторону исходного значения фоновой ионной плазменной частоты. Однако, при интенсивных загрязнениях фоновой плазмы электроотрицательными молекулами нижняя граница спектра излучаемых плоских свистовых волн также может приблизиться к ионной плазменной частоте. Проблема влияния энергичных электронов пучка на процессы электронного обмена между частицами фоновой плазмы в зоне его распространения не рассматривается.

ВОЛНЫ И НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ПЛАЗМЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЛУНЫ ПРИ ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МАГНИТОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ

Т.И. Морозова, С.И. Попель

*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, timoroz@yandex.ru;
МФТИ (ГУ), МО, г. Долгопрудный, Россия.*

Рассматриваются процессы, происходящие в плазменно-пылевой системе в приповерхностном слое освещенной части Луны. Система включает в себя электроны и ионы солнечного ветра, фотоэлектроны, нейтралы и заряженные пылевые частицы. В работе обсуждаются линейные и нелинейные волны, распространяющиеся в приповерхностном слое Луны. Отмечается, что распределение фотоэлектронов по скоростям может быть представлено как суперпозиция двух функций распределения, имеющих разную температуру электронов. Низкоэнергетичные электроны выбиваются с поверхности фотонами, с энергиями, близкими к работе выхода реголита (порядка 5-6 эВ), а высокоэнергетичные – фотонами, соответствующими пику солнечного спектра (10.2 эВ). Анизотропия функции распределения электронов по скоростям искажается из-за движения солнечного ветра по отношению к фотоэлектронам и пылевым частицам, что приводит к развитию неустойчивости и возбуждению высокочастотных колебаний с частотами в диапазоне ленгмюровских и электромагнитных волн. Отдельное место отводится описанию возможности возбуждения пылевых звуковых волн. Обсуждается возможность развития пылевой звуковой неустойчивости в результате относительного движения плазмы хвоста магнитосферы Земли и пылевой плазмы приповерхностного слоя части Луны. Работа была частично поддержана Президиумом Российской академии наук (в рамках Фундаментальной исследовательской программы № 9 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд») и Российским фондом фундаментальных исследований (проект №. 15-02-05627-а). Т.И. Морозова выражает благодарность Совету по грантам Президента Российской Федерации.

ПЫЛЕВАЯ ПЛАЗМА В АТМОСФЕРЕ МАРСА

**Т.И. Морозова, Ю.Н. Извекова,
С.И. Попель**

*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, timoroz@yandex.ru;
МФТИ (ГУ), МО, г. Долгопрудный, Россия.*

Рассмотрена плазменно-пылевая система в атмосфере Марса. Характерная особенность атмосферы Марса - постоянное присутствие пыли, придающее атмосфере желтый оттенок. Транспорт пыли в атмосфере Марса осуществляется за счет таких процессов и явлений как пылевые штормы, пылевые вихри, обычное атмосферное оседание, поднятие пыли над поверхностью грунта (состоящего из мелких частиц), искусственного воздействия космических аппаратов. Рассматривается возможность зарядки пылевых частиц по данным, характеризующим структуру атмосферы Марса и степень ионизации, полученным в рамках космических миссий. Учитываются особенности природных явлений, происходящих в атмосфере Марса, воздействующие на зарядку пылевых частиц. К таким явлениям относятся пылевые вихри (и возникающие внутри них электрические поля), пылевые облака (в том числе аналогичные серебристым облакам в атмосфере Земли, но возникающие в результате конденсации паров CO₂), а также пылевые бури. Таким образом плазменно-пылевая система в атмосфере Марса включает в себя электроны и ионы солнечного ветра, фотоэлектроны,

нейтралы, а также заряженные пылевые частицы и встречается на различных высотах (у поверхности, в пылевых вихрях, достигающих 9 км в высоту, на высотах 15-70 км, где сосредоточены пылевые облака). Работа была частично поддержана Президиумом Российской академии наук (в рамках Фундаментальной исследовательской программы № 9 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд»). Т.И. Морозова выражает благодарность Совету по грантам Президента Российской Федерации. Ю.Н. Извекова выражает благодарность гранту Президента Российской Федерации для молодых ученых № МК-6935.2015.2 «Нелинейные волновые процессы и перенос пылевых частиц в атмосферах Земли и Марса».

ВЛИЯНИЕ ШИРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗВИТИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ПЛАЗМЕ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЯ

М.М. Шевелёв, Т.М. Буринская

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

В рамках одножидкостной магнитной гидродинамики проведено исследование развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца с учётом конечной ширины переходной области, при этом не накладывается никаких ограничений на направление распространения возмущений и отношение масштабов изменения скорости и направления магнитного поля. Анализ линейной стадии развития неустойчивости показал, что при наличии шира магнитного поля возмущения, распространяющиеся под небольшим углом к направлению скорости потока, могут обладать большими инкрементами, чем возмущения, распространяющиеся строго вдоль скорости потока. Полученные результаты также указывают на то, что диапазон направлений, в которых колебания оказываются неустойчивыми, зависит от отношения плотности в движущейся среде к плотности покоящейся среды.

ИЗЛУЧЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВОГО КАНАЛА В УСЛОВИЯХ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Е.А. Широков, Ю.В. Чугунов

ИПФ РАН, г. Москва, Россия, eshirokov@appl.sci-nnov.ru.

В работе рассматривается излучение плазменно-волнового канала в условиях ионосферы Земли. Под плазменно-волновым каналом понимается дакт плотности плазмы, который образуется в фоновой плазме вследствие ионизационной нелинейности при распространении квазипотенциальных волн, излучаемых антенной. Канализация этих волн в дакте поддерживает его рост (т. е. вытягивание вдоль магнитного поля) на начальной стадии и равновесную конфигурацию в стационарном режиме, в котором длина канала имеет некоторое постоянное конечное значение. Амплитудная модуляция исходного высокочастотного сигнала на антенне приводит к периодическому изменению параметров канала: в такт с частотой модуляции возникают колебания параметров среды (концентрации и температуры электронов в канале). Это приводит к появлению в плазменном шнуре токов на частоте модуляции, которые возбуждают низкочастотные электромагнитные волны. Расчёт токов проводится с помощью численного решения соответствующего интегрального уравнения, следующего из электродинамических граничных условий на условной боковой «стенке» канала. Из сказанного ясно, что плазменно-волновой канал в указанных условиях

может рассматриваться как плазменная антенна, достаточно эффективно излучающая электромагнитные волны в интервале частот от 10 до 1000 Гц.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ ТОКОВЫХ СЛОЕВ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ОКРЕСТНОСТИ 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. В работе [3] показано, что вблизи установившегося токового слоя без присоединённых ударных волн возникают области сильного разрежения плазмы. В рассматриваемой задаче эффект разрежения плазмы вблизи слоя также имеет место. Рассмотрены характерные особенности изменения характеристик среды вдоль траекторий "жидких частиц" плазмы.

[1] V.V.Somov. Plasma Astrophysics. N.-Y.: Springer, 2013.

[2] С.И.Безродных, В.И.Власов, Б.В.Сомов. Обобщённые аналитические модели токового слоя Сыроватского //Письма в астрон. журн. 2011. Т. 37, № 2. С. 133-150.

[3] Сомов Б.В., Сыроватский С.И., Тр. Физич. института им. П.Н. Лебедева АН СССР 74, 14 (1974).

ТЕПЛОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩЕГО ТОКОВОГО СЛОЯ

Л.С. Леденцов, Б.В. Сомов

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

С целью интерпретации современных спутниковых наблюдений последовательного увеличения яркости корональных петель в солнечных вспышках мы решили задачу об устойчивости малых продольных возмущений однородного пересоединяющего токового слоя. В рамках магнитогидродинамического приближения показано, что условиями неустойчивости служат определенные соотношения между характерным временем теплопроводного перераспределения энергии внутри токового слоя и временем лучистого охлаждения плазмы в нём. В результате неустойчивости в токовом слое образуется периодическая структура холодных и горячих волокон, расположенных поперек направления электрического тока. Предлагаемый механизм тепловой неустойчивости пересоединяющего

токового слоя может объяснить последовательное увеличение яркости, «поджиг», вспышечных петель во вспышках. Обсуждаются приложения решения задачи к конкретным спутниковым наблюдениям Солнца.

ГЕЛИОСФЕРНЫЙ ТОКОВЫЙ СЛОЙ И ЭФФЕКТЫ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СОЛНЕЧНЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ

**Х.В. Малова^{1,2}, В.Ю. Попов², Е.Е. Григоренко²,
А.В. Дунько¹, А.А. Петрукович²**

¹ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, hmalova@yandex.ru.

Работа посвящена исследованию эффектов, возникающих в результате взаимодействия солнечных космических лучей (СКЛ) с гелиосферным токовым слоем (ГТС) в солнечном ветре (СВ). Развита кинетическая самосогласованная модель ГТС, в которой могут присутствовать ионы с квазиadiaбатической динамикой. ГТС рассматривается как равновесная вложенная токовая структура, где вклад в ток вносят два основных сорта плазмы с разными температурами (низкоэнергичная фоновая плазма СВ и высокоэнергичная компонента СКЛ). В целях верификации результатов проведено сравнение с численной моделью ГТС в присутствии частиц СКЛ, основанной на методе трассирования частиц в заданной модели магнитного поля. Показано, что ГТС представляет собой сравнительно тонкую многомасштабную токовую конфигурацию, вложенную в более широкий плазменный слой. При этом, в ГТС, как правило, присутствует шировая (тангенциальная току в слое) компонента магнитного поля. Учет наличия высокоэнергичных частиц СКЛ в ГТС может приводить к изменению его структуры, к усилению таких его свойств, как вложенность и многомасштабность. Рассмотрены параметрические семейства решений, в которых токовое равновесие в ГТС обеспечивается при разных температурах СКЛ и разных концентрациях высокоэнергичной плазмы. Найдены концентрации СКЛ, при которых может наблюдаться заметное для спутниковых исследований утолщение ГТС.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ В ЗАМКНУТЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ С ШИРОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.Ю. Малыгин^{1,2}, Е.Е. Григоренко¹, Х.В. Малова^{1,3}

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² МФТИ (ГУ), МО, г. Долгопрудный, Россия;

³ НИИЯФ (МГУ) им. Скобелева г. Москва, Россия.

Многочисленные спутниковые наблюдения показали, что в хвосте магнитосферы Земли довольно часто наблюдаются замкнутые магнитоплазменные конфигурации типа плазмоедов и магнитных островов с ненулевой компонентой B_y . Целью данной работы является изучение кинетических особенностей динамики неadiaбатических ионов в токовом слое (ТС) внутри плазмоеда(ов) и эффектов пространственного распределения частиц в таких конфигурациях. Для этого были исследованы траектории тестовых ионов различных масс (H^+ и O^+) в заданной магнитной конфигурации с единичным стационарным плазмоедом, находящимся с хвостовой стороны от ближней магнитной X-линии. В работе использовалась модель обращённого магнитного поля, на невозмущённую конфигурацию которого ($B_x(z)$),

$V_y=0$, $V_z=\text{const}$) накладывалась $V_z(x)$ -вариация, обеспечивающая нам плазмоидо-подобную конфигурацию, в которой $V_y=\text{const}$. 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. Введение в модель магнитной конфигурации плазмоида сдвиговой компоненты магнитного поля (V_y) приводит к значительному изменению динамики ионов, и появлению асимметрии “север-юг” в распределении частиц взаимодействующих с токовым слоем плазмоида, которая зависит от амплитуды V_y . Получены пространственные распределения плотности частиц для различных амплитуд V_y .

УЧЕТ ЭЛЕКТРОНОВ В КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С ПОСТОЯННОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**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 новой численной модели тонкого токового слоя (ТТС) в хвосте магнитосферы с постоянной нормальной компонентой магнитного поля на более детальном уровне с учетом электронов получены квазистационарные конфигурации 2-х типов, которые ранее методом самосогласованного трассирования крупных частиц были получены с учетом только протонов. Для найденных конфигураций ТТС впервые в численном моделировании получены с достаточно высоким разрешением функции распределения протонов и электронов.

НОВЫЙ МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СТАЦИОНАРНОГО УРАВНЕНИЯ ВЛАСОВА, ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ, И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТОНКИХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ

О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, М.Н. Мельник

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru.

В предыдущих исследованиях для моделирования стационарных конфигураций бесстолкновительного тонкого токового слоя (далее ТТС) с заданной постоянной нормальной компоненты магнитного поля нашей группой для численного решения стационарного уравнения Власова использовался вариант метода самосогласованного трассирования на основе метода крупных частиц. Однако этот метод не удобен для реализации на графических процессорах (GPU), а также не позволяет эффективно находить функцию распределения в любой точке пространственной сетки из области моделирования. Поэтому нами разработан новый метод численного решения стационарного уравнения Власова в ограниченной области пространства для задач, в которых плотность тока поддерживается за счет падающих извне потоков плазмы. Типичными примерами таких задач являются токовые слои размерности 1D3V и 2D3V. Новый метод, в отличие от метода крупных частиц, удобен для эффективной организации массивно параллельных вычислений на кластерных суперкомпьютерах с выполнением основного объема вычислений на графических процессорах (GPU), а также имеет строгое и ясное математическое обоснование. В новом методе значение функции распределения в данном узле адаптивной сетке в фазовом пространстве одной частицы находится в результате расчета выпущенной из этого узла в прошлое фазовой траектории системы Ньютона-Лоренца (характеристики уравнения Власова) до момента выхода из области моделирования (то есть попадания в область определения заданной на границе функции влета). Новый метод по сравнению с предыдущим, хотя и требует на несколько порядков большего объема вычислений (в зависимости от специфики задачи), за счет эффективного использования графических процессоров (GPU) позволяет в разы сократить время расчетов. В частности, применение нового метода позволило учитывать электроны в модели тонкого токового слоя.

INVESTIGATION OF THE SCALING PROPERTIES OF THIN CURRENT SHEETS WITH PARTICLE KINETICS METHODS

Ю.Л. Сасунов, М.Л. Ходаченко, И.И. Алексеев, Е.С. Беленькая, Е.И. Гордеев

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

A thin current sheet (TCS), with the width of an order of thermal proton gyroradius, appears a fundamental physical object which plays an important role in structuring of the major magnetospheric current systems (e.g., magnetotail, magnetodisk, etc.). The TCSs are nowadays under extensive study by means of space missions and theoretical models. We consider a simple model of the TCS separating two half-spaces occupied by a homogenous magnetic field of opposite sign, tangential to the TCS; a small normal component of the magnetic field is prescribed. An analytical solution for the electric current and plasma density in the close vicinity of the TCS has been obtained and compared with numerical simulation. The particle number density and the electric current profiles have two maxima each. The characteristic spatial scale Z of the maxima location was investigated as a function of initial pitch-angle of the incoming charged particles. The effect of the thermal dispersion of the incoming proton beam has been taken into consideration.

The obtained theoretical results have been compared with Cluster in-situ measurements in the magnetotail region. In particular, the influence of average plasma energy E on the scaling of TCS was investigated for several cases of TCSs crossings. The outcome of this study has shown good agreement with the analytical predictions.

СТРУКТУРА ТОКОВЫХ СЛОЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЯ

А.Г. Франк, Г.В Островская

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru.

Структура токовых слоев, развивающихся в лабораторных условиях, отличается большим разнообразием, что в значительной степени определяется условиями формирования слоя. В докладе приводятся некоторые результаты экспериментального изучения структуры и эволюции токовых слоев, которые создавались в 2D и 3D магнитных конфигурациях с особой линией X типа. Основные характеристики магнитных конфигураций – это градиент h поперечного (по отношению к X линии) магнитного поля и напряженность B^0 продольного (вдоль X линии) магнитного поля. Начальная плазма с концентрацией в диапазоне $10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ создается в одном из инертных газов (аргон, гелий, криптон). Токовый слой развивается при возбуждении в замагниченной плазме электрического тока параллельно X линии; амплитуда тока достигает 60 кА, полупериод составляет 6 мкс. Динамика плазмы в токовых слоях определяется преимущественно структурой сил Ампера, которые в 2D магнитных полях вызывают как сжатие тока и плазмы в одном из направлений, так и расширение в другом направлении, а в 3D полях могут приводить к деформации токовых и плазменных слоев. Нормальная к поверхности слоя компонента магнитного поля, как правило, отлична от нуля, что приводит к возникновению сил, направленных вдоль поверхности слоя, ускорению плазмы и генерации сверхтепловых потоков. При внедрении потоков плазмы в сильное поперечное магнитное поле возбуждаются индукционные электрические поля и токи, направленные в противоположную сторону по отношению к основному току в слое. В результате у боковых краев слоя возникают токи обратного направления, а также может значительно возрасти концентрация плазмы. Экспериментальные данные свидетельствуют о качественных изменениях структуры токовых слоев при изменении исходной магнитной конфигурации, в которой происходит развитие токового слоя, в том числе при изменениях поперечного градиента h и напряженности продольной компоненты магнитного поля B^0 . Рассмотрены особенности эволюции токовых слоев, формируемых в плазме различных газов, т.е. фактически при изменении массы ионов плазмы в 10-20 раз. Показано, что существенную роль играет возбуждение в слое токов Холла, взаимодействие которых с продольной компонентой магнитного поля приводит к зависящим от времени изменениям формы токовых слоев. Обсуждается влияние токов обратного направления, возникающих у боковых концов слоя, на характер динамических явлений в токовых слоях.

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ТОКОВОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

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

ФФ МГУ им. Ломоносова, г.Москва, Россия, p.shustov@gmail.com.

Рассматривается рассеяние заряженных частиц в магнитном поле с сильной кривизной силовых линий, которое моделирует токовый слой в ближней магнитосфере Земли. Такое рассеяние частиц связано с нарушением адиабатичности движения в области с сильным градиентом магнитного поля. Исследовался режим рассеяния в поле с промежуточным значением градиента, достаточным для нарушения адиабатичности движения, но слишком слабым для возникновения полностью хаотичного движения. При таком значении градиента поля задача не имеет аналитического решения, поэтому применяется подход численного моделирования. В работе произведена аппроксимация значений скачка магнитного момента в зависимости от параметров магнитного поля и приведена соответствующая формула. В отличие от предыдущих работ других авторов, найден диапазон параметров магнитного поля, при котором возникает существенное рассеяние частиц с большим адиабатическим инвариантом (магнитным моментом). Анализ и аппроксимация величин скачка адиабатического инварианта позволила выразить рассеяние в терминах диффузии и получить выражение для коэффициента диффузии по магнитному моменту.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ ТОКОВЫХ СЛОЕВ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫЙ ТОКОВЫЙ СЛОЙ В ОДНОРОДНОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

И.С. Веселовский, Р.А. Кислов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru.

Рассмотрен токовый слой Харриса в однородном вертикальном гравитационном поле. Показано, что существуют две ветви решений для магнитного поля – антисимметричные относительно нейтральной плоскости, похожие на классическое решение Харриса, и не обладающие симметрией. Нарушение симметрии связано с появлением электрического поля из-за разделения зарядов в гравитационном поле.

О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ГАЗОКИНЕТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ПЛАЗМЫ В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ

**Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк,
Д.Г. Васильков, Е.В. Воронова**

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, kyrie@fpl.gpi.ru.

Токовые слои, формируемые в лабораторных условиях – это пространственно выделенные области плотной нагретой плазмы, давление которой уравновешено магнитным давлением снаружи слоя. В процессе формирования токового слоя происходит накопление избыточной магнитной энергии, которая затем может трансформироваться в тепловую и кинетическую энергию плазмы, потоки ускоренных частиц и излучений. В настоящей работе впервые исследованы пространственные (вдоль большего поперечного размера, ширины токового слоя) распределения температур ионов аргона и гелия, а также концентрации электронов и газокINETИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ гелиевой плазмы. Исследованы изменения этих распределений во времени. Проведено сопоставление параметров плазмы при развитии токовых слоев в 2D и 3D магнитных конфигурациях. Определен вклад градиента газокINETИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ в процесс тангенциального (вдоль ширины токового слоя) ускорения плазмы. Исследования проводились методами спектроскопии. Температуры ионов аргона и гелия определялись на основе доплеровских уширений спектральных линий Ar II 480.6 нм и He II 468.6 нм, а концентрация электронов – с помощью штарковского уширения линии He II 320.3 нм. Излучение плазмы собиралось из центральной квазицилиндрической области, вытянутой вдоль направления тока в слое. Кварцевая линза отображала выделенную часть плазменного слоя на торец кварцевого световода, который располагался практически в фокусе линзы. Излучение плазмы по световоду передавалось на входную щель монохроматора МДР – 3, дисперсия которого $D = 1.3$ нм/мм. Пространственное разрешение измерений составляло ~ 2.6 см. С целью исследования пространственного распределения параметров плазмы токового слоя, приемная линза вместе со световодом перемещались в плоскости симметрии слоя вдоль его ширины. Профили спектральных линий регистрировались в одном импульсе работы экспериментальной

установки, с помощью программируемой электронно-оптической камеры «Nanogate 1-UF», длительность строб-импульса составляла $\Delta t_{gate} = 0.8 - 1$ мкс. Анализ полученных данных показал, что распределения температуры ионов аргона в процессе эволюции токового слоя практически однородны по ширине слоя как в 2D, так и в 3D магнитных конфигурациях, градиенты давления плазмы вдоль ширины слоя при разряде в аргоне малы, а тангенциальное ускорение ионов аргона происходит под действием сил Ампера. Установлено, что при разряде в гелии температура ионов гелия и концентрация электронов распределены, напротив, очень неравномерно по ширине токового слоя как в 2D, так и в 3D магнитных конфигурациях. При этом вдоль поверхности токового слоя возникают достаточно сильные градиенты газокINETического давления ионной компоненты плазмы, которые в 2D магнитных конфигурациях вносят существенный вклад в ускорение ионов гелия, сравнимый с действием сил Ампера. В 3D магнитных конфигурациях градиент давления плазмы направлен против сил Ампера и компенсирует их действие, поэтому ускорения ионов гелия вдоль поверхности токового слоя не наблюдается. Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 15-02-03644, и Программой ОФН РАН IV.2.14 «Динамика разреженной плазмы в космосе и в лаборатории».

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОЯВЛЕНИЕ КВАЗИДВУХЛЕТНЕЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ В СВОЙСТВАХ ХАОТИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ НЕКОТОРЫХ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.Г. Костюченко

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

Анализ хаотических вариаций измеряемых переменных позволяет получить информацию о характерных особенностях динамики процессов, инициирующих такие вариации. В работе проведено сравнение характеристик хаотических вариаций различных индексов солнечной активности на временном масштабе от месяца до десятков лет. В качестве динамических параметров использованы показатель спектра мощности временного ряда и константа Херста, определяемая для структурной функции второго порядка. Применялся разработанный ранее метод, позволяющий выделять указанные динамические параметры из сигнала, в котором хаотические вариации наблюдаются на фоне доминирующей по амплитуде периодической составляющей. Анализ проводился как для значений индексов солнечной активности, суммарных по диску Солнца, так и для каждого из широтных полушарий. Показано, что для некоторых индексов солнечной активности динамические параметры заметно изменяют свое значение при переходе от временных масштабов, характерных для квазидвухлетней периодичности, к более долговременным. Полученный результат может быть свидетельством в пользу того, что квазидвухлетняя и 11-22х-летние периодичности, наблюдаемые в большинстве проявлений солнечной активности, генерируются двумя, возможно, взаимосвязанными процессами с различающейся динамикой. Анализ индексов, для которых такой эффект проявляется, и полученные значения динамических параметров дают дополнительную информацию об этих процессах.

СЛОЖНАЯ ТОПОЛОГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОСТОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

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

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

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Рассматривается структура магнитного поля в окрестности двух круговых токовых колец с определённым взаимным расположением в пространстве. При достаточной симметрии в расположении колец получается простая система магнитных поверхностей с лежащими на них замкнутыми линиями поля. Такую систему линий можно назвать рациональной. При понижении симметрии магнитные поверхности не образуются, однако могут существовать изолированные замкнутые линии. В случае колец, сцепленных ортогонально так, что плоскость одного кольца проходит через центр другого, замкнутые линии образуют счётное множество, нетривиальным образом упорядоченное по числу обходов вокруг каждого кольца. Остальные линии не замкнуты и асимметричны. Таких линий подавляющее большинство, их мощность равна континууму. На больших расстояниях система с высокой степенью точности эквивалентна диполю, на малых - каждый проводник можно аппроксимировать линейным током. Воздействие возмущений в последнем случае приводит к приближённой намотке линий на деформированные тороиды, охватывающие каждое из колец. Однако локально определённые трубки магнитного потока и магнитные поверхности не имеют продолжения в пространстве и разрушаются. Результаты получены аналитическими и численными методами. Они иллюстрируют тот тезис, что иррациональные, незамкнутые линии являются общим топологическим правилом, а рациональные замкнутые — исключением из него, за вычетом случаев достаточно высокой симметрии токовых систем. Обсуждается вопрос о количественной мере порядка и степени беспорядка в строении магнитных полей. Степень беспорядка относительно низкая вблизи и вдали от проводников. Здесь возможна простая аналитическая аппроксимация линий, поверхностей и трубок магнитного поля с заранее известной асимптотической точностью. В промежуточной области пространства это не так. Здесь доминирует беспорядок.

БОЛЬШИЕ ДИФФЕОМОРФИЗМЫ МАГНИТОГРАММ КАК ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МОДЕЛИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Н.Г. Макаренко, И.Е. Преображенский, В.В. Алексеев

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

Идеи нашей модели восходят к пионерской работе шотландского зоолога Д'Арси Томпсона - «Рост и Форма» (1917). Он полагал, что формы близких биологических видов должны быть связаны непрерывными преобразованиями, поскольку природа слепой скульптор и не делает скачков. Эти идеи были развиты позже в рамках так называемой вычислительной анатомии, шведским математиком Ульфом Гренандером (1998). Одна из основных задач, при этом, заключалась в понятии «среднего» для набора изображений. Подходящим понятием оказалось среднее «по Фреше». Ради простоты, рассмотрим последовательность фигур на плоскости, ограниченных спрямляемыми кривыми. Взаимно однозначное и гладкое отображение одной фигуры в другую называют *диффеоморфизмом*, если обратное отображение также является гладким. Здесь *гладкость* означает существование и непрерывность необходимого числа производных. Можно представить себе, что преобразование одной фигуры в другую получается непрерывными и нелинейными

деформациями сетки декартовых координат – ее растяжения, сжатия сдвиги и повороты преобразуют одну форму в другую. Если все фигуры исходной последовательности можно связать такими преобразованиями, оставаясь в одном *классе эквивалентности*, то говорят о *большом диффеоморфизме*. Определим непрерывное и гладкое векторное поле, которое действует на координаты носителя изображения, генерируя координатный диффеоморфизм. Тогда, искомое преобразование одной фигуры в другую, (мишень), можно описать оператором второго порядка в рамках некоторого минимизирующего функционала. Подходящим вариантом является гидродинамический оператор Стокса. Функционал содержит, как обычно, два слагаемых. Первое из них описывает отклонение «энергии Дирихле» изображения от ее деформированного образа. Второе, контролирует гладкость диффеоморфизма, в форме потока кривизны определяемым выбранным оператором. Деформирующее векторное поле доставляет минимум функционалу в подходящей метрике и может быть найдено при решении вариационной задачи. Мы построили большие диффеоморфизмы для временной последовательности магнитограмм АО используя данные HMI/SDO. Основной трудностью, которую нужно было преодолеть, было изменение компонент связности при построении диффеоморфизма. оно связано с появлением новых магнитных элементов, нарушающих непрерывность. Мы обсуждаем эту проблему и приводим первые результаты в форме последовательности векторных полей - шаблонов, генерирующих большой диффеоморфизм. Отклонение полученного образа от мишени можно измерить множествами Якоби и использовать в прогностических целях. Другие интересные возможности дают особенности векторных полей на шаблонах.

РОЛЬ СОЛИТОНОВ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕНОСА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ

Ф.М. Трухачев¹, А.В. Томов²

¹ БРУ, г. Могилев, Беларусь, fttu@mail.ru;

² МГУ им. А. Кулешова, г. Могилев, Беларусь.

В рамках МГД модели плазмы, показано, что в самосогласованном электрическом поле ионно-акустических и электронно-акустических солитонов реализуется односторонний перенос заряженных частиц на расстояние, равное нескольким дебаевским радиусам. Определена величина возникающих при этом локальных токов как функция амплитуды солитонов. Оценена роль солитонов в процессе восстановления магнитосферы после магнитных бурь. Солитоны часто наблюдаются в плазме околоземного пространства. Существуют теоретические модели, позволяющие рассчитать электрические поля солитонов и соответствующие им возмущения концентраций заряженных частиц. Однако, при всем разнообразии опубликованных результатов теоретических и экспериментальных исследований роль солитонов в процессах переноса заряженных частиц в плазме к настоящему времени не выяснена. По-видимому, это связано с недостаточным временным разрешением аппаратуры для измерения токов в космической плазме [1]. Тем не менее, данный вопрос представляет интерес поскольку может помочь продвинуться в понимании таких процессов как восстановление радиационных поясов после магнитных бурь. Скорость с которой протекает указанный процесс не укладывается в рамки существующих теорий. Целью данной работы является установление взаимосвязи плазменных токов с электрическими полями солитонов. В рамках МГД модели плазмы можно показать, что солитоны могут осуществлять односторонний перенос заряженных частиц в пространстве. Дистанция этого переноса составляет несколько дебаевских радиусов для одного солитона. Можно показать, что токи, индуцированные солитонами, имеют вид однополярных импульсов. При этом, среднее значение ионного (электронного) тока, обусловленного

движением ансамбля солитонов, по величине сопоставимо с током, создаваемым пучками ионов (электронов). Представляется возможным также выполнить оценку временного разрешения измерительной аппаратуры, необходимого для регистрации таких импульсов в плазме околоземного пространства.

[1] Pickett J.S., Kahler S.W., Chen L.-J., Huff R.L., Santolík O., Khotyaintsev Y., Décréau P.M.E., Winningham D., Frahm R., Goldstein M.L., Lakhina G.S., Tsurutani B.T., Lavraud B., Gurnett D. A. , André M., Fazakerley A., Balogh A., Rème H., Solitary waves observed in the auroral zone: the Cluster multi-spacecraft perspective // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2004. V.11. P.183 – 196.

NON-LOCAL TRANSPORT BY DRIFT-WAVE VORTICES, A PARADIGMATIC IF OPENLY REVISED APPROACH

A.V. Milovanov

*ENEA Centro Ricerche Frascati, Via Enrico Fermi, Italy;
SRI, RAS, Moscow, Russia.*

Lèvy flights in the paradigmatic Hasegawa-Wakatani model of drift-wave turbulence have not been justified and may not be true. However, the notion is crucial for the formulation of non-local models of turbulent transport. In this paper, we are concerned with causes and origins of non-local transport in magnetized toroidal plasma and show that it occurs naturally through dynamics of self-consistent strong turbulence via a complexity coupling to the inverse cascade of the energy in reciprocal space. We expect these coupling phenomena to occur in the parameter range of strong nonlinearity and time scale separation when the Rhines time in the system is small compared with the instability growth time. The results, presented in this work, may have important implications for the understanding of the phenomena of self-organized criticality and avalanching dynamics in unstable edged plasmas.

**С Е К Ц И Я «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС»
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

нет

СЕКЦИЯ «НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ НА МИКРО, НАНО И ПИКО СПУТНИКАХ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

НОВЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА МИКРО- И НАНО- СПУТНИКАХ КОНЦЕНТРАЦИИ И ФЛУКТУАЦИЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

**А.В. Костров, Д.В. Янин, А.Г. Галка, А.В. Стриковский,
М.Е. Гуцин, С.В. Коробков**

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

В докладе рассматривается принцип работы, режимы функционирования нового диагностического датчика для измерений на микро- и нано- спутниках концентрации и флуктуаций ионосферной плазмы. Работа датчика основана на измерении диэлектрической проницаемости плазмы, величина которой определяется электронной плотностью. Датчик представляет собой распределенную резонансную систему в виде четвертьволнового отрезка двухпроводной линии, закороченного на одном конце. Собственная резонансная частота системы порядка 200 МГц, добротность около 450. Длина проводников резонатора – 400 мм, диаметр – 5 мм, проводники разнесены друг относительно друга на расстояние 40 мм. Наличие плазмы около резонатора приводит к изменению его резонансной частоты, по величине которой определяется диэлектрическая проницаемость ионосферной плазмы и электронная концентрация. Диагностическая система работает на частотах, значительно превышающих плазменную частоту. В этом случае наличие и формирование двойного слоя вблизи поверхности проводов резонатора не оказывает влияние на его импедансные характеристики. Источником высокочастотных электромагнитных колебаний в резонаторе является генератор качающейся частоты (ГКЧ) с возможностью работы на фиксированной частоте. Для регистрации отклика резонансной системы используется детектор, фильтр, усилитель и аналого-цифровой преобразователь. В зависимости от способа измерения резонансной частоты датчика выделяется два режима его функционирования. В первом режиме ГКЧ работает в режиме “сви́пирования”. Это позволяет регистрировать резонансную кривую системы и определять частоту, соответствующую её максимуму. Во втором режиме датчик работает на фиксированной частоте, соответствующей склону резонансной кривой. Сдвиг резонансной кривой датчика приводит к изменению амплитуды сигнала на выбранной частоте, по которой, при известной частотной характеристике резонатора, определяется его резонансная частота. По оценкам, диапазон измеряемых концентраций плотности плазмы составляет $10^3 - 10^6 \text{ см}^{-3}$. Измерительная система также позволяет проводить диагностику нестационарных возмущение концентрации плазмы. Наличие возмущений концентрации δn приводит к амплитудной модуляции детектированного сигнала на выходе резонансной системы, причем для фиксированной частоты на склоне резонансной кривой величина модуляции δU пропорциональна δn . По оценкам, в плазме с концентрацией $N = 10^4 - 10^6 \text{ см}^{-3}$ минимальное значение относительных возмущений концентраций плазмы $\delta n/N$, измеряемое данной методикой в частотном диапазоне от 10 Гц до 10^5 Гц, порядка $10^{-2} - 10^{-3}$. Вес диагностической аппаратуры не будет превышать 1 кг.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ УФ И КОРПУСКУЛЯРНОЙ РАДИАЦИИ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА МАЛЫХ СПУТНИКАХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И МОНИТОРИНГЕ ВНЕАТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

А.А. Криволицкий, А.А. Куколева, Т.Ю. Вьюшкова,
Г.К. Гарипов

¹ ЦАО РОСГИДРОМЕТА, МО, г. Долгопрудный, Россия,
krivolutsky@mail.ru;

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

Ультрафиолетовая (УФ) радиация Солнца в интервале длин волн 100-500 нм определяет, как известно, интенсивность фотохимических процессов в атмосфере Земли ниже высоты 100 км и формирует глобальное распределение озона [1]. Знание потоков УФ радиации в данном интервале волн позволяет использовать имеющиеся глобальные численные модели [2], [3], [4] для того, чтобы осуществлять мониторинг состояния параметров атмосферы и нижней ионосферы Земли. В настоящее время существуют отечественные заделы в этой области наблюдений [5]. Корпускулярная радиация Солнца может оказывать сильное воздействие на полярную озоносферу в полярных районах в периоды протонных вспышек, вызывая изменения озона (и других малых химических составляющих), температуры, ветра и состояния нижней ионосферы [1]. Таким образом, наличие скоординированных непрерывных наблюдений УФ и корпускулярной радиации с последующим использованием их в качестве входных данных в атмосферных моделях позволило бы создать отечественную систему мониторинга состояния атмосферы и нижней ионосферы, а также поставить на новую основу исследование солнечно-атмосферных связей.

[1] А.А. Криволицкий, А.И. Репнев. Воздействие космических факторов на озоносферу Земли. М.: ГЕОС, 386 с., 2009.

[2] Криволицкий А.А., Вьюшкова Т.Ю., Черепанова Л.А., Куколева А.А., Репнев А.И., Банин М.В. Трехмерная глобальная фотохимическая модель CHARМ. Учет вклада солнечной активности. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, № 1, с. 64-93, 2015.

[3] Криволицкий А.А., Черепанова Л.А., Репнев А.И., Вьюшкова Т.Ю. Трехмерная численная глобальная фотохимическая модель CHARМ-I. Учет процессов в области D ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, № 4, с. 483-503, 2015.

[4] Криволицкий А.А., Черепанова Л.А., Дементьева А.В., Репнев А.И., Ключникова А.В. Глобальная циркуляция атмосферы Земли на высотах от 0 до 135 км, рассчитанная с помощью модели ARM. Учет вклада солнечной активности. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, №6, с. 808-828, 2015.

[5] Vedenkin N.N., Garipov G.K., Klimov P.A. et al., Atmospheric ultraviolet and red-infrared flashes from Universitetsky-Tatyana-2 satellite data, J. Experimental and Theoretical Physics, V. 113, N 5, p. 781-790, 2011.

ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНОЙ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ИОНОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСПУТНИКОВ

**А. А. Чернышов, Д. В. Чугунин, М. М. Могилевский,
И. Л. Моисеенко**

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

Изучение нестационарной и неоднородной структуры высокоширотной ионосферы является не только важной фундаментальной задачей физики космической плазмы, но также необходимо для корректного использования спутниковых навигационных систем, для обеспечения устойчивой связи и навигации в арктических областях. Основные ошибки определения местоположения и времени с помощью навигационных систем связаны с прохождением сигналов через ионосферу — так называемые ионосферные поправки. Особенностью высокоширотной ионосферы является сильная зависимость ее характеристик от магнитосферных процессов. В магнитосфере происходят разнообразные переходные процессы, в ходе которых магнитосфера стремится “адаптироваться” к изменяющимся внешним условиям; важную роль в этих процессах играет ионосфера, причем особо сильная связь наблюдается в авроральной области, так как различного рода неоднородности и нестационарности, имеющиеся в магнитосферной плазме и в геомагнитном хвосте, проектируются в авроральную зону ионосферы посредством продольных втекающих и вытекающих токов, высыпаний высокоэнергетических частиц и, таким образом, несут свойства геомагнитного хвоста и магнитосферы в ионосферу. Такая ионосфера создает трудности для радиосвязи, за счет интерференции радиоволн на плазменных неоднородностях. В рамках классических подходов для построения адекватной эмпирической модели ионосферы высокоширотной области необходим большой объем измерений на различных масштабах. Предлагается использовать нетрадиционный подход для описания состояния плазмы в авроральной области Земли. Такой подход может быть реализован в рамках методов нелинейной динамики, который предполагается применить при обработке одновременных спутниковых данных, полученных при помощи небольших и относительно дешевых спутников, так называемых “кубсатов”. Использование нескольких “кубсатов” дает возможность проводить одновременные измерения на различных масштабах авроральной области, что позволит лучше понять сложные процессы в ионосфере. В настоящем проекте предлагается использовать одновременно несколько унифицированных наноспутников - “кубсатов”, которые просты в изготовлении, что позволяет быстро и относительно дешево изготовить необходимое их количество, для исследования сложной мультимасштабной структуры ионосферы. Предполагается, что подобные “кубсаты”, способные обеспечить получение уникальных одновременных измерений в разнесенных точках околоземного пространства, не будут долго находиться на орбите, следовательно, отпадает необходимость в дополнительных затратах на радиационную защиту спутника и можно использовать более дешевые комплектующие при их производстве. Унификация спутников позволяет не только удешевить и ускорить их проектирование и изготовление, но и при необходимости произвести запуск дополнительных аналогичных спутников для получения вспомогательной информации на других масштабах или для уточнения уже имеющихся данных. Предлагаемый проект может быть использован для исследования ионосферных неоднородностей не только естественного происхождения, но и искусственной ионосферной турбулентности.

СЕКЦИЯ «НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ НА МИКРО, НАНО И ПИКО СПУТНИКАХ»

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ КА ТИПА «КУБСАТ» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМНОЙ ИОНОСФЕРЫ

В.В. Афонин

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

Приводятся варианты научной аппаратуры (НА) для космических аппаратов типа «Кубсат» для проведения исследований земной ионосферы (КсИ - Кубсат Ионосферный):

- НАКсИ-К – для исследования концентрации электронов в ионосфере методом плавающего зонда Ленгмюра.
- НАКсИ-ЭП – для исследования электрических полей в ионосфере.
- НАКсИ-ЗЛ – для исследования концентраций и температур ионов и электронов модифицированным методом Зонда Ленгмюра. В варианте НАКсИ-К используются от 2 зонда Ленгмюра, каждый из которых работает в режиме фиксированного положительного смещения. В варианте НАКсИ-ЭП используются 6 зондов Ленгмюра (по два на каждую из трех взаимно-перпендикулярных осей). В варианте НАКсИ-ЗЛ используются 2 зонда Ленгмюра, каждый из которых работает в режиме управляемого напряжения смещения. Приводится перечень измеряемых ионосферных параметров и оценки габаритно-массовых характеристик и потребностей в телеметрии при заданных пространственно-временном разрешении.

О ДАТЧИКЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДОБРОТНОСТИ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В.М. Губченко

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

Среди набора геоэффективных безразмерных параметров солнечного ветра, который рассматривается как поток горячей бесстолкновительной замагниченной плазмы с анизотропными функциями распределения частиц (ФРЧ), известны МГД параметры. Это числа Маха, связанные с МГД волнами, распространяющимися в потоке: звуковое число Маха, магнитозвуковые числа Маха и число Альвена. Они определяются скоростью потока и усредненными по ФРЧ гидродинамическими параметрами для характеристик МГД волн плазмы, они отвечают за стоячие конические МГД волны излучения в окружении магнитосферы. Однако, существует также параметр электромагнитной добротности потока G и производные от него нелинейные параметры, которые лежат, по-видимому, в основе индукционного формирования неволновых глобальных вихревых э.м. структур токов и полей в магнитосфере Земли (геомагнитный хвост, магнитопауза, диполизация, структура электронной диффузионной области). Эти параметры связаны с возбуждением э.м. полей в области непрозрачности и бесстолкновительного поглощения потока горячей плазмы вблизи ее резонансных линий. Поэтому эти параметры кинетические, определяются формой ФРЧ с

«резонансными» и «нерезонансными» частицами потока. В зависимости от формы ФРЧ параметр G характеризуют поток как металлоподобную среду ($G \ll 1$), в которой возбуждается электрический ток типа тока проводимости, либо как диамагнитную среду ($G \gg 1$) с возбуждением токов поляризации. Локальные измерения этого параметра, посредством измерения ФРЧ потока и затем вычисления G по формуле, представляют экспериментальные трудности и в космической, и в модельных экспериментах с лазерной плазмой. Нами предложен способ непосредственного измерения параметра G на основе измерения интегральных импедансных характеристик $Z(R,L,C)$ магнитного датчика и их вариаций, которые зависят от величины параметра G и его изменения. Импеданс вычисляются в представлении датчика кольцевым индуктором, индукционно нагруженного на поток плазмы с заданной формой ФРЧ. Проведены вычисления в кинетическом приближении импедансов $Z(G)$ датчика для предельных значений параметра G .

[1] 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-ВНИИТФ», г. Снежинск, Челябинская область, Россия.

<http://www.vniitf.ru/images/zst/2014/Tezis%20ZNCH-2014.pdf>

<http://www.vniitf.ru/images/zst/2012/s3/3-13.pdf>.

[2] V.M. Gubchenko. Kinetic Description of the 3D Electromagnetic Structures Formation in Flows of Expanding Plasma Coronas. Part 1: General. ISSN 0016-7932, Geomagnetism and Aeronomy, 2015. Vol. 55, No. 7, pp 831-845. Pleiades Publishing, Ltd., 2015. DOI: 10.1134/S0016793215070099.

[3] V. M. Gubchenko Kinetic Approach to the Formation of the 3D Electromagnetic Structures in Flows of Expanding Plasma Coronas. II. Flow Anisotropy Parameters. ISSN 0016-7932, Geomagnetism and Aeronomy, 2015. Vol. 55, No. 8, 1009-1025. Pleiades Publishing, Ltd., 2015. DOI: 10.1134/S0016793215080101.

СЕКЦИЯ «ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАУКИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ ПОЛЕЙ ИОНОСФЕРНЫХ СВЕЧЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ АНТРОПОГЕННЫМИ ПРИЧИНАМИ НА ФОНЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ АВРОРАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Г.А. Галич¹, Г.М. Крученицкий², А.К. Кузьмин³,
Ю.Н. Потанин², Г.Г. Щукин⁴

¹ ИФ НАНУ, Киев, Украина, galich@iop.kiev.ua;

² ФГБУ «ЦАО», г. Долгопрудный, Россия, omd@cao-rhms.ru;

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, alkuzmin@mail.ru;

⁴ ВКА им. Можайского, Россия, Санкт-Петербург, ggshchukin@mail.ru.

Полярное сияние изменяется в пространстве и времени в результате ряда процессов, происходящих в различных областях магнитосферно-ионосферной системы во время высыпаний энергичных заряженных частиц, при этом динамика свечения верхней атмосферы и ионосферы сопровождается образованием и изменениями электрических полей, возникновением неустойчивостей в ионосферной плазме, генерацией волн, взаимодействием волна-частица, продольными (вдоль магнитного поля) резонансами волн в околоземной плазме. Природные распределения интенсивности свечений эмиссий в структурах полярных сияний многообразны и наблюдаются в масштабах от сотен км до сотен метров как с поверхности Земли, так и орбитальными имаджерами в видимой и ВУФ - областях спектра. Области мелкомасштабных контрастных интенсивностей структур свечений могут иметь как естественное (обусловленное вариациями характеристик высыпающихся частиц), так и антропогенное (обусловленное модулированным излучением мощных передатчиков КВ диапазона) происхождение. Более того, искусственно инициированные свечения могут иметь место в областях, где локализованы свечения естественные. Решение задачи идентификации антропогенных аномалий в полях интенсивностей свечений имеет важное прикладное значение. Идентификация искусственно возбужденных структур по легко обнаружимому излучению мощных передатчиков не является удовлетворительным по двум причинам:

- модификация поля свечений может осуществляться одним или несколькими передатчиками с узкой диаграммой направленности, работающими под разными углами к магнитным силовым линиям и, следовательно, локальные искусственные структуры свечения могут быть ближе или дальше от источников КВ-излучения;
- идентификацию искусственного свечения (оптическим приемником, установленным на КА), возбуждаемого коротковолновым источником на Земле, весьма не просто синхронизировать в реальном времени.

В настоящей работе предложен и протестирован (по данным реальных наблюдений аврорального и искусственно возбужденных свечений) алгоритм идентификации, основанный на анализе спектров пространственных частот распределения указанных свечений. Алгоритм основан на том, что в двумерном поле природного свечения преобладает случайная составляющая, вследствие чего двумерная периодограмма (т.е. результат разложения Фурье реализации поля яркости) существенно отличается от его двумерного энергетического спектра (результата разложения Фурье двумерной автокорреляционной функции поля яркости) в то время, как для искусственно индуцированных свечений между спектром периодограммы и энергетическим спектром существует жестко

детерминированная связь. Такой подход позволяет количественно оценить относительный энергетический вклад антропогенной составляющей как отношение суммы квадратов амплитуд, одновременно представленных и в периодограмме, и в энергетическом спектре к полной энергии двумерного поля. Тестирование алгоритма подтвердило его высокую эффективность. Рассмотрен вопрос о возможности восстановления трехмерных полей пересечения диаграмм направленностей когерентных КВ передатчиков по двумерным спектрам полей яркости искусственно индуцированных свечений.

ЦЕНТР ПРОГНОЗОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

**С.П. Гайдаш, А.А. Абуниин, М.А. Абунина,
А.В. Белов,**

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

Центр прогнозов космической погоды (далее Центр) был создан в ИЗМИРАН в августе 1998 года, учитывая практические потребности в обеспечении различных сфер экономики и обороны страны информацией о состоянии важнейших аспектов космической погоды и прогнозов их изменений на заданные сроки временного упреждения, а также опираясь на опыт комплексных фундаментальных и прикладных исследований по широкому спектру солнечно-земной физики, традиционно проводимых в ИЗМИРАН. В работающем в ежедневном режиме Центре осуществляется мониторинг параметров космической погоды от доступных наземных и космических источников и пополнение соответствующих баз данных. С помощью разработанных в Центре оригинальных методик ежедневно создаются прогнозы основных параметров космической погоды на различные сроки упреждения и оперативно передаются потребителям. В настоящее время наши прогнозы включают: прогнозы геомагнитной активности на 1-3, 8, 55 суток, год и годы, прогноз трехчасовых Кр-индексов на ближайшие 3 суток; прогнозы солнечной активности (F10.7) на 55 суток, год и годы; прогнозы суточных потоков релятивистских электронов с энергией >2 МэВ на геостационарной орбите на 28 суток; прогнозы вероятности протонных возрастаний с максимальным потоком >10 rfu для частиц с энергией >10 МэВ и >100 МэВ) на 28 суток; комплексные обзоры и прогнозы основных параметров космической погоды на 3, 8 и 45 суток в различной форме представления. В автоматическом режиме создаются и передаются потребителям предупреждения о резком изменении основных параметров космической погоды. Постоянно контролируется точность создаваемых прогнозов относительно реально измеряемых значений и в сравнении с аналогичными прогнозами других мировых Центров. Создаваемые прогнозы используются различными организациями и учреждениями науки, экономики и обороны страны. Необходимо выделить многолетнее сотрудничество с ЦНИИмаш (Роскосмос), на базе которого создана отраслевая автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП), которую Центр обеспечивает информацией, используемой для баллистических расчетов, и в которую он интегрирован на уровне одного из сегментов системы. Центр наземной космической инфраструктуры «ЦЭНКИ» (Роскосмос), обеспечивающий все выполняемые в России запуски гражданской космической техники, использует в своей работе комплексные прогнозы космической погоды для планирования космических работ и в работе Государственных комиссий, принимающих решения на вывоз, заправку и пуск техники. В созданную в филиале ОАО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» – «Научно-исследовательский институт космического приборостроения» (Филиал ОАО «ОРКК» – «НИИ КП») отраслевую систему мониторинга воздействия ионизирующих излучений космического пространства наш Центр интегрирован как наземная станция прогнозирования, обеспечивающая систему необходимой информацией. Благодаря

обеспечению ОАО «Газпром – космические системы» прогнозами протонных возрастных с 2006 года удается парировать сбои в работе систем навигации и ориентации группировки спутников «Ямал». Информация Центра используется клиническими и учебными учреждениями медицины. С помощью различных средств массовой информации ведется оповещение населения страны о космической погоде и осуществляется популяризация достижений в этой сфере.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА GPS/GLONASS ИЗМЕРЕНИЯ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

**В.И. Захаров^{1,2}, Ю.В. Ясюкевич², К.А. Игнатов¹,
Е.Н. Шевелева¹**

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

² ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

Общепризнанным является факт влияния космической погоды на систему геосфер и прежде всего – на магнитосферу и ионосферу Земли, в которых, если речь идет об изменениях свойств среды, происходят разнообразные процессы генерации интенсивных неоднородностей околосредней плазмы различных пространственно-временных масштабов. Рассеяние на этих неоднородностях сред распространения навигационных приводит к амплитудно-фазовым искажениям и к ухудшению соотношения сигнал/шум принимаемого аппаратурой GPS/ГЛОНАСС сигнала. В экстремальных случаях это ведет к невозможности измерить радионавигационные параметры (РНП) сигнала (фазу и псевдозадержку на рабочих частотах) принимаемого от конкретного навигационного спутника. Последние двадцать лет очень активно развиваются технологии использования высокостабильных навигационных сигналов для целей дистанционного мониторинга околосредней космического пространства и процессов, протекающих в нем. Эти технологии основаны на использовании в качестве диагностической величины полного электронного содержания (ПЭС) и его вариаций. Указанный параметр чаще всего оценивается по фазам принимаемых сигналов, что требует учета его возмущенности различными гео- гелиофизическими факторами. Высокоширотная ионосфера считается одной из наиболее изменчивых областей ионосферы, что также важно для исследования технических и диагностических возможностей навигационных систем. В работе проведен анализ данных Арктических станций, расположенных севернее 55°N, на наличие аппаратных и диагностических срывов сопровождения фазы, псевдозадержки сигналов и вычисляемого ПЭС для систем GPS и GLONASS в течение длительного времени. Всего в рассмотрении участвовали данные ~80 станций сети IGS. Проведенный практически непрерывный мониторинг позволил изучить и сравнить динамику проявления сбоев измерения РНП и ПЭС указанных навигационных систем в значительный временной период. Впервые проведено масштабное сопоставление данных GPS и ГЛОНАСС, синхронно регистрируемых приемным оборудованием. Получены и обсуждаются основные результаты статистического анализа закономерностей вероятности срывов измерений и особенностей работы навигационных систем в зависимости от различных геомагнитных индексов в условиях максимума 24го цикла солнечной активности на примере полного 2012г. Методика совместного анализа данных разработана и реализована при частичной финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00027). Анализ данных с использованием высокоширотного геомагнитного индекса выполнен при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 15-05-01814.

СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ОКРУЖАЮЩЕМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ И НА ЗАДАННЫХ ОРБИТАХ

**В.В. Калегает, М.И. Панасюк, С.Ю. Бобровников,
В.О. Баринава, О.Г. Баринув, С.А. Доленку,
В.Е. Еремеев, Н.В. Кузнецов, Л.Р. Мухаметдинова,
И.Н. Мягкова, М.Д. Нгуен, Н.И. Николаева,
В.Р. Широкий, Ю.С. Шугай**

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

Среди факторов космической погоды, одним из наиболее опасных явлений является радиация. Радиация в космосе обусловлена наличием заряженных частиц различной природы и создает проблемы для "живучести" не только самих космических аппаратов, но и для человека. Поэтому, учет радиационных условий необходим для осуществления практической деятельности в космосе. Центр оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ осуществляет анализ и прогнозирование радиационных условий в околоземном космическом пространстве (<http://swx.sinp.msu.ru/>). В режиме реального времени, по данным спутниковых и наземных измерений информационной системой автоматически восстанавливаются основные характеристики воздействия солнечной активности на радиационное окружение Земли. Основными компонентами системы радиационного космического мониторинга являются оперативные данные космических экспериментов по измерению потоков заряженных частиц в энергетических каналах общим покрытием от сотен кэВ до сотен МэВ, данные наблюдений за Солнцем и параметрами солнечного ветра и современные модели космической среды.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ДОСКА (ДИСПЛЕЙ) ПО КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЕ

**К.Х. Канониди, А.Н. Зайцев, В.Г. Петров,
А.А. Гидеон, А.С.А брагимов**

*ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, kkkh< at >izmiran.ru;
ООО «Тенопарк Ямал», г. Салехард, Россия.*

В работе представлена разработка пакета программ по созданию информационной доски (дисплея) по космической погоде. Запрос на такой сервис возник достаточно давно, по мере того, как формировался общественный интерес к информации по космической погоде. Как правило, в каждом космическом эксперименте за рубежом имеется раздел «public outreach and education», где помещаются для публичного распространения результаты эксперимента в пользу развития общественного интереса в направлении «просвещение и образование». Чтобы привлечь внимание к результатам космических экспериментов имеется большое число специализированных сайтов, посвященных как конкретному эксперименту, так и обобщающих текущие данные и сведения, в первую очередь по космической погоде. Оперативные прогнозы по космической погоде в реальном времени формируются в Центре прогнозов НОАА в Боулдере, США (<http://www.swpc.noaa.gov/>), затем распространяются по сети из 16 региональных центров прогнозов, объединенных в международную службу «International Space Environment Service (ISES)», <http://www.spaceweather.org>. Кроме профессиональной сети центров по космической погоде имеется огромное число центров на вторичной основе для конкретных групп пользователей, например <http://spaceweather.ru/ru> или <http://forecast.izmiran.ru/>. Недостаток профессиональных центров прогноза по космической погоде связан с их закрытостью для публики. Если сообщения о метео

прогнозах распространяются непрерывно по телевидению, радио, в прессе и в сети интернет, сведения о космической погоде все еще остаются доступными для ограниченного круга граждан. И в первую очередь из-за того, что знания о космической погоде не стали всеобщими. Чтобы информация по космической погоде стала всеобщей и доступной нами предложено распространять по сети Интернет в реальном времени сжатую информацию о состоянии космического пространства по сети Интернет, в СМИ, и в любых организациях и школах. Одна из форм такого представления – информационная доска (дисплей), подключенная к сети интернет, работа которой поддерживается компьютером с соответствующим программным обеспечением. Специальная программа с функциями робота проходит по списку сайтов, посвященных космической погоде и наблюдениям в космосе. Например, мы берем прогноз полярных сияний для Ямала, выполненный в Лаборатории полярных сияний на Шпицбергене (<http://kho.unis.no/>). Выбранные кадры информации с пояснениями на русском языке формируют ленту сообщений, которая обновляется с определенным темпом. Впервые разработанная нами информационная доска (дисплей) была выставлена в ИЗМИРАН в рамках конференции ПОЛАР-2012, см. <http://www.izmiran.ru/POLAR2012/>. После конференции лента обновлялась и расширялась и сейчас включает в себя широкий список источников. Следующая конференция ПОЛАР-2014 <http://polar2014.yanao.ru/> состоялась в Салехарде, где идея реализации программы по обучению и просвещению была воспринята и сейчас реализуется в виде сайта виртуальной геофизической лаборатории <http://yamal.design36.ru/>. Для всех, кто захочет установить информационную доску (дисплей) по космической погоде в своей организации, мы готовы оказать посильное содействие. Просьба обращаться по электронной почте к К.Х.Канониди.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ИОНОСФЕРЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ И СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ НА РАБОТУ ЗАГОРИЗОНТНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

**Д.С. Котова^{1,2}, М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко²,
В.Е. Захаров¹**

¹ БФУ им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия, darshu@ya.ru;

² КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Калининград, Россия, maksim.klimenko@mail.ru, vvk_48@mail.ru, VEZakharov@kantiana.ru.

При численном моделировании распространения коротких волн в ионосфере широко применяется приближение геометрической оптики. Целью данного исследования является изучение влияния геомагнитных бурь и стратосферных потеплений на распространение коротких волн в трехмерно неоднородной анизотропной ионосфере при загоризонтной радиолокации. Для этого используется разработанный комплекс прикладных программ, включающий численный алгоритм проведения вычислительных экспериментов по моделям среды и распространения радиоволн. При моделировании лучевых траекторий и поглощения коротких волн в ионосфере использовалась численная модель распространения радиоволн, построенная в приближении геометрической оптики. Для описания среды распространения использовались эмпирическая справочная модель ионосферы IRI-2012, модель нейтральной атмосферы MSIS-86, а также Глобальная Самосогласованная Модель Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП). Использование динамической модели ГСМ ТИП позволило учесть изменение среды при переходе от спокойных условий к возмущенным в периоды внезапных стратосферных потеплений и геомагнитных бурь. Результаты проведенных исследований отражают влияние указанных событий на характеристики коротковолновой связи при загоризонтной радиолокации. Работа выполнена при финансовой

поддержке грантов РФФИ №14-05-00578, №16-35-00590, Президента Российской Федерации МК-4866.2014.5. Работа проводилась в рамках проекта "Физические механизмы формирования реакции верхней атмосферы и ионосферы на процессы в нижней атмосфере и на поверхности Земли" (Государственное задание Министерства образования и науки РФ, конкурсная часть, задание № 3.1127.2014/К).

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ЗГРЛС КВ ДИАПАЗОНА

**А.Н. Ляхов¹, С.И. Козлов¹, С.З. Беккер¹,
С.Н. Пономарчук², А.В. Тащилин², Е.Б. Романова²,
В.И. Куркин², М. Пензин²**

¹ ИДГ РАН, г. Москва, Россия, alyakhov@idg.chph.ras.ru;

² ИСЗФ СОРАН, г. Иркутск, Россия.

В докладе представлены основные элементы разрабатываемой вероятностной модели прогноза ВВХ перспективных ЗГРЛС КВ диапазона. Существующий подход, основанный на модели IRI, не может применяться в высоких широтах, в условиях ионосферных бурь и рентгеновских вспышек на Солнце. Вероятностная модель основана на программном комплексе прогноза ионосферы и плазмосферы Земли в интервале высот 40-20000 км и распространения КВ радиоволн в диапазоне частот 2-30 МГц. Программный комплекс позволяет рассчитывать ДЧХ, АЧХ, АВХ каналов с модовым анализом. Верификация комплекса на данных наклонного зондирования показала хорошую точность расчетов. Представлены результаты расчета оптимальных частот, деградации каналов и амплитуд в условиях геофизических возмущений. Вероятностная модель, представляемая в виде карт плотности вероятности модов распространения в выбранном секторе-дальности, использует вероятностную модель электронных и протонных высыпаний в высоких широтах и учитывает ионизацию нижней ионосферы во время рентгеновских вспышек разных классов. Модель позволяет вести глобальные расчеты в варианте разнесенного приема и уточнить существующие ВВХ в терминах вероятности доведения сигнала.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

**А.Г. Виноградов³, А.К. Кузьмин¹, А.М. Мёрзлый¹,
О.В. Никифоров¹, Г.М. Крученицкий², А.Н. Теохаров³,
В.В. Трёкин⁵, С.Ю. Хабибулин⁴**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² ЦАО РОСГИДРОМЕТ, МО, г. Долгопрудный, Россия;

³ ОАО РТИ, г. Москва, Россия;

⁴ ЦСКБ ОАО «РТИ», г. Москва, Россия;

⁵ НИЦ ЦНИИ ВКО, г. Москва, Россия,

alkkuzmin@mail.ru, pinega@list.ru.

В докладе рассматриваются проблемные вопросы и представляются некоторые итоги по созданию системы геофизического обеспечения различных РТС. Получение достоверной информации о состоянии геофизических условий функционирования радиотехнических средств является одной из важных современных прикладных задач. Решение этой задачи должно опираться на современные научно-обоснованные представления и конкретные

экспериментальные данные о характеристиках среды. Проведен анализ влияния среды распространения на работу РТС. Определены возможные ошибки радиолокационных измерений координат, обусловленные средой распространения. Рассмотрены возможные методы, применяемые для решения задачи адаптации РТС к геофизическим условиям, проанализированы их преимущества и недостатки. Представлены предложения по формированию комплекса учета гелиогеофизических условий функционирования РТС, определен перечень решаемых задач. Предложен состав и структура специального программного обеспечения решения целевых задач по расчету ионосферных и тропосферных параметров, а также предложения по форматам представляемых данных и порядку информационного взаимодействия. Обсуждаются рекомендации по выбору аппаратных средств, обеспечивающих решение целевых задач по расчету ионосферных и тропосферных параметров. Предложены проекты Программы и методик экспериментальной проверки точности получаемых поправок, учитывающих влияние ионосферных и тропосферных поправок по радиолокации эталонных спутников.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТОКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ

**И.Н. Мягкова¹, С.А. Доленко¹, А.О. Ефиторов^{1,2},
В.Р. Широкий¹, Н.С. Сентемова^{1,2}**

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

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

Прогнозирование временного ряда потока релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли сталкивается с проблемами, вызванными сложностью и нелинейностью системы "солнечный ветер - магнитосфера Земли". В работе рассматривается осуществление такого прогнозирования по параметрам солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, измеренным на ИСЗ АСЕ в точке либрации, и по значениям геомагнитных индексов, с использованием различных методов, а именно, искусственных нейронных сетей, метода группового учёта аргументов и метода проекций на латентные структуры (также известного как метод частичных наименьших квадратов). Представлено сравнение показателей качества прогнозов с горизонтом от одного до 12 часов между собой и с прогнозом тривиальной модели. Лучший результат продемонстрировало среднее значение ответов трёх ИНС, тренировка которых производилась с различными наборами начальных весов. Результат прогноза с использованием метода группового учёта аргументов близок к результату ИНС, а прогноз методом проекций на латентные структуры значительно хуже. Было показано, что с увеличением горизонта прогноза от 1 до 12 часов, качество его снижается, но не радикально. Это дает возможность рассматривать вопрос о дальнейшем увеличении горизонта прогноза. Направления дальнейшего улучшения качества прогноза включают отбор существенных входных признаков и использование комитета статистически независимых предикторов. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-01-00293-а.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ ГЛОНАСС/GPS ДЛЯ ИОНОСФЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Т. Мысливцев, С. Никифоров

ВКА им. А.Ф. Можайского, Россия.

Рассмотрены вопросы перспектив применения информации широкозонных дифференциальных систем (ШДС) спутниковой навигации для определения параметров ионизированной части атмосферы в интересах парирования зависимости качественных показателей радиоканалов при обслуживании специальных потребителей. Представлена методика адаптивной коррекции параметров модели ионосферы по данным оперативного мониторинга с использованием ШДС.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В РЛС

**В.Б. Оводенко¹, В.В. Трёкин¹, М.В. Клименко²,
Н.А. Коренькова²**

¹ *ОАО НПК НИИДАР, Россия;*

² *Калининградский филиал ИЗМИРАН, Россия.*

Доклад посвящен исследованию компенсации радиолокационных ошибок измерения дальности. Оценки ошибок определения дальности получены путем сопоставления реальных измерений и эталонных данных по положению специализированных космических аппаратов. Рассматривается два типа ошибок. В первом случае к радиолокационным измерениям применяют компенсирующие поправки на влияние среды распространения радиоволн. Во втором случае поправки не применяются, что позволяет проанализировать поведение ошибки по пространственным координатам и по времени. Приводятся количественные характеристики по эффективности компенсации влияния среды.

ВЫЯВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ БИОТРОПНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ МЕТОДАМИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА

**В.А. Ожередов¹, Т.К. Бреус¹, Ю.И. Гурфинкель¹⁻²,
М.Л. Сасонко²**

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vadim.ozheredov@gmail.com;*

² *НКЦ ОАО РЖД, г. Москва, Россия.*

Состояние организма человека зависит одновременно от большого числа внешних и внутренних факторов, одним из которых является космическая погода. Проекция зависимости физиологических показателей от факторов космической погоды нелинейна и содержит длинные плоские участки, где означенная зависимость не выявляется. Данная работа посвящена методике поиска подмножеств в пространстве параметров земной погоды, отвечающих максимальной биотропности космической погоды. Эта задача связана с оптимизацией показателя среднего отклика биологической системы на космическую погоду

в пространстве «температура-давление-влажность» (земной погоды). Поверхность этого отклика характеризуют: 1) случайность (стохастичность), благодаря наличию зависимости от экспериментальной выборки ограниченных размеров, где шум многократно превышает сигнал, и 2) отсутствие гладкости из-за скачкообразного изменения среднего отклика при деформировании границ подмножества параметров земной погоды за счет появления и исчезновения прецедентов. Для решения этой задачи был разработан устойчивый к шуму целевой функции генетический алгоритм, который в данном случае представляет собой алгоритм дифференциальной эволюции. Доказано, что в случае справедливости общепринятого в гелиобиологии представления о доле дисперсии физиологических параметров, объясняемой вариациями космической погоды, алгоритм дифференциальной эволюции удовлетворительно находит границы биотропной области земной погоды.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МКС

Ю.А. Пластинин, А.А. Ризванов

*ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев, Россия, PlastininJUA@tsnimash.ru,
arizvanov85@yandex.ru.*

В докладе рассматриваются основные научные и прикладные результаты многолетних экспериментов на МКС.

НАСТРОЙКА ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИНАМИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Татьяна Подладчикова¹, Юрий Шприц^{2,3}, Адам Келерман²

¹ *Сколковский ИНТ, г. Москва, Россия;*

² *Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, CA, USA;*

³ *Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.*

Калмановская фильтрация долгосрочных спутниковых измерений релятивистских потоков электронов позволяет эффективно оценить динамику радиационного пояса Земли. Однако, для получения надежного результата оценивания, при применении фильтра Калмана, необходимо преодолеть ряд фундаментальных проблем. Как правило, имеющиеся в наличии, редкие спутниковые измерения затрудняют глобальное восстановление эволюции радиационного пояса. Неопределенности возрастают из-за несовершенного описания динамики процесса и наличия ошибок измерений, что может привести к расходимости алгоритма обработки. В данной работе для глобального восстановления динамики фазовой плотности электронов (PSD) выполняется разработка и настройка адаптивного фильтра Калмана, объединяющего трехмерную модель VERB и спутниковые измерения Van Allen Probes на основе идентификации ошибок модели и спутниковых измерений. Дополнительное усовершенствование алгоритма обработки достигается путем применения обратной процедуры сглаживания к результатам оценивания калмановской фильтрации. Показано, что надежное глобальное восстановление динамики PSD позволяет выявить скрытые закономерности эволюции радиационного пояса и получить качественные и количественные оценки скорости радиальной диффузии и направления ее распространения.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН КВ ДИАПАЗОНА В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ

Д.Д. Рогов, В. А. Ульев

АНИИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, rogovdenis@mail.ru.

После мощных солнечных протонных вспышек в регионах полярных шапок Земли наблюдается значительное поглощение радиоволн КВ диапазона, связанное с вторжением в нижнюю ионосферу полярных шапок мягких космических лучей (главным образом протонов с энергиями 1 – 100 МэВ). Для расчета интенсивности поглощения данного типа может быть использована эмпирическая модель SWPC, представленная на сайте <http://www.swpc.noaa.gov>. В модели используются постоянные пороги, связывающие величину поглощения с интенсивностью потока солнечных протонов заданной энергии (отдельно для дневных и ночных условий). На основе статистической обработки экспериментальных данных, полученных с помощью риометров российской и канадской цепочек в период с 1998 по 2015 г., предложены новые эмпирические зависимости для расчета поглощения в центральной зоне полярной шапки в периоды устойчивой освещенности ионосферы (дневные и ночные условия). Новые зависимости основаны на введении динамического порога энергии протонов в формулы расчета поглощения, величина которого определяется жесткостью спектра общего потока солнечных протонов, высыпаящихся в зоны полярных шапок Земли в каждый рассматриваемый момент времени. Новая модель позволит более точно рассчитать интенсивность поглощения типа полярной шапки, что имеет большую практическую ценность для прогнозирования условий распространения радиоволн КВ диапазона в высоких широтах.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С МАГНИТОСФЕРОЙ

А.А. Самсонов

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия,
andre.samsonov@gmail.com.*

В настоящее время глобальные численные МГД модели дают наиболее полную возможность описать текущее состояние магнитосферы, меняющееся при изменении условий в солнечном ветре. Существуют многочисленные сравнения результатов МГД моделирования как со спутниковыми данными в разных частях магнитосферы, так и с наземными наблюдениями. В отличие от эмпирических моделей, МГД модели позволяют понять, какие именно физические процессы протекают в магнитосфере, и каким образом происходит передача энергии из солнечного ветра. Очень перспективным направлением является соединение МГД и кинетических численных моделей. Мы делаем небольшой обзор современных достижений МГД моделирования и представляем новую МГД модель магнитосферы Земли, разработанную в Санкт-Петербургском Государственном Университете. Новая МГД модель работает в изотропном и анизотропном (двухадиабатическом) приближениях. Модель успешно воспроизводит все основные структурные особенности магнитосферы. Проведено детальное сравнение положения магнитопаузы, полученное с помощью нескольких МГД и эмпирических моделей. Учет в МГД модели магнитного поля кольцевого тока позволяет более точно предсказывать положение магнитопаузы на дневной стороне.

РЕГИСТРАЦИЯ ГЕОИНДУКТИРОВАННЫХ ТОКОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

**Я. Сахаров¹, Ю. Катъкалов², В. Селиванов³,
А. Вильянен⁴**

¹ ПГИ, Россия;

² ИКФ, Швеция;

³ Кольский НЦ, Россия;

⁴ ФМИ, Финляндия.

В рамках проекта EURISGIC (European Risk from Geomagnetically Induced Currents) нами организована непрерывная регистрация геоиндуктированных токов (ГИТ) на пяти подстанциях энергосистемы на Северо-Западе России. В работе представлены результаты регистрации ГИТ в 2011-2015гг., рассматриваются методы регистрации, сбора и представления информации, распределение максимальных значений токов от широты, уровня магнитной активности и локального времени, а также случаи возбуждения гармоник промышленной частоты в автотрансформаторах магистральной линии во время магнитосферных возмущений. Работа выполнена при поддержке ЕС в рамках программы FP7/2007–2013, грант n260330.

ПРЯМАЯ ОЦЕНКА ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ (ТЕС) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

**А.Н. Теохаров¹, А.Г. Виноградов¹, С.С. Аджемов²,
Е.М. Лобов²**

¹ ОАО РТИ им. А.Л. Минца, г. Москва, Россия, ateokharov@rti-mints.ru;

² ФГБОУ ВПО МТУСИ, г. Москва, Россия.

Дан анализ дисперсионных искажений широкополосных радиолокационных сигналов при их распространении через ионосферу Земли. Разработана методика, позволяющая путем специальной обработки принятого широкополосного сигнала оценивать полное электронное содержание ионосферы вдоль луча радиолокатора и компенсировать дисперсионные искажения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ МАГНИТОГРАФА СТОП

А.Г. Тлатов¹, П.М. Свидский², М.Л. Демидов³

¹ Кисловодская ГАО РАН, Россия, tlatov@mail.ru;

² ИПГ им. Федорова, г. Москва, Россия, svidsky@mail.ru;

³ ФБГУН ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, demid@iszf.irk.ru.

В работе представлены результаты наблюдений магнитографа СТОП в период 2014-2015 гг. на Кисловодской Горной астрономической станции. Рассмотрены вариации магнитного поля Солнца как звезды, переполусовка магнитного поля в 24-м цикле активности, сезонные и долговременные вариации точности определения магнитного поля. Особое внимание уделено разработке система прогноза параметров солнечного ветра на орбите Земли, выполненные по данным наблюдений телескопа-магнитографа СТОП. Для реконструкции топологии магнитного поля в короне Солнца и оценки скорости солнечного ветра межпланетной среде используется эмпирическая модель, реализуемая в несколько этапов. На первом выполняется реконструкция синоптических карт магнитных полей, обновляемых ежедневно. На втором этапе рассчитываются параметры магнитного поля в короне на основе потенциальной модели с поверхностью источника. Далее рассчитывается положение на фотосфере областей с открытой конфигурацией магнитных полей и фактор расширения магнитного поля в короне. На последнем этапе, выполняется прогноз скорости солнечного ветра у поверхности источника и вблизи Земли на основе эмпирических соотношений. Проведена адаптация предложенной модельной схемы к данным наблюдений магнитографа СТОП. Выполнено сравнение результатов расчетов параметров солнечного ветра с данными спутниковых измерений. Показано, что использование данных наблюдений магнитографа СТОП дает существенную корреляцию прогнозных значений солнечного ветра с наблюдениями, по сравнению с данными других наземных и космических магнитографов.

РС ИНДЕКС И МЕЖПЛАНЕТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ E_{KL} , ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЕ С МАГНИТОСФЕРОЙ

О.А. Трошичев и Д.А. Сормаков

АА НИИИ, г. Санкт-Петербург, olegtro@aari.ru.

Рассмотрена связь индекса магнитной активности PC с межпланетным электрическим полем $E_{KL} = V_{sw}(B_Z^2 + B_Y^2)^{1/2} \cdot \sin^2(\theta/2)$ [Kan and Lee, 1979] в интервалы времени перед (1-2 часа) внезапным началом магнитной суббури ($N > 900$). Показано, что рост PC индекса, предшествующий суббуре, определяется изменениями поля E_{KL} : для 82% суббурь коэффициент корреляции между PC и E_{KL} превышал величину $R = 0.75$. Низкая ($R < 0.5$) или даже отрицательная корреляция между E_{KL} и PC , которая имела место для $\sim 10\%$ событий (несмотря на явные предвестники суббури в поведении PC индекса) свидетельствует о том, что поток солнечного ветра, зафиксированный спутником ACE в точке либрации (на расстоянии ~ 1.5 млн.км. от Земли), в этих случаях проходил мимо магнитосферы. При высокой корреляции ($R > 0.75$) задержка по времени ΔT в реакции PC индекса на изменения поля E_{KL} (сдвинутого к границе магнитосферы) менялась в пределах от 0 до 40 мин, с чётко выраженным максимумом на $\Delta T = 10-20$ мин и вторичным максимумом на $\Delta T = 0$. Величина задержки ΔT не показывает явной зависимости от величины отдельных параметров солнечного ветра (V_{sw} или B_Z), но жёстко связана ($R = -0.95$) со скоростью роста поля dE_{KL}/dt : чем быстрее растёт поле E_{KL} , тем меньше время задержки. Представлены данные о

корреляции между 1-мин величинами PC индекса и поля E_{KL} (сдвинутого к границе магнитосферы) при разных уровнях магнитной активности.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКЕ И КРАТКОСРОЧНОМУ ПРОГНОЗУ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ В ИНТЕРЕСАХ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКОГО И НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РФ

А.М. Мёрзлый¹, С.Ю. Хабибулин²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² ЦСКБ ОАО «РТИ», г. Москва, Россия,
geoservise@bk.ru, pinega@list.ru.

В докладе рассматриваются проблемные вопросы оперативной оценки и краткосрочного прогноза геофизической обстановки в арктической зоне в интересах развития систем топогеодезического и навигационного обеспечения РФ. Контроль фактического состояния гелиогеофизических условий в арктической зоне в реальном режиме времени и его краткосрочного прогноза становится все более актуальной проблемой для решения прикладных задач в интересах различных министерств и ведомств. Проведен анализ характеристик существующих глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) (GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия)), а также влияния среды на функционирование систем топогеодезического и навигационного обеспечения в арктической зоне. Рассмотрены возможные подходы к оперативной оценке и краткосрочному прогнозу условий функционирования рассматриваемых систем в арктической зоне, проанализированы их преимущества и недостатки.

СЕКЦИЯ «ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАУКИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЗДАВАЕМОГО ОРБИТАЛЬНОГО ИМАДЖЕРА АВРОВИЗОР-ВИС/МП И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВРОРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ И ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НЕОДНОРОДНОСТИ УСЛОВИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛОВ

**А.К. Кузьмин, М.А. Баньщикова, Ю.С. Доброленский,
Г.М. Крученицкий, И.А. Маслов, А.М. Мерзлый,
П.П. Моисеев, Ю.Н. Потанин, И.Н. Чувашов**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, alkuzmin@mail.ru.

Рассматриваются особенности постановки орбитального эксперимента по оптическому дистанционному контролю состояния ионосферы Земли в составе гелиогеофизического комплекса аппаратуры ГГЭК-МП на перспективном КА Метеор-МП. Представляются характеристики разрабатываемого аврорального имаджера Авровизор-ВИС/МП. Обсуждаются критерии выбора разноракурсной фотометрической модели съемки авроральных структур. Рассматриваются элементы специального диалогового ПО «Вектор-М», создаваемого для планирования и проведения орбитальных наблюдений, и привязки элементов получаемых изображений к географическим и геомагнитным координатам с учетом данных навигации и контроля ориентации КА. Проводится сравнительный анализ экспериментальных возможностей аппаратуры с известными аналогами. На примерах зарубежных результатов одновременных наземных фотометрических наблюдений и работы GPS приемников анализируются преимущества использования мелкомасштабных орбитальных изображений конкретных авроральных эмиссий для исследований причинно-следственных связей и процессов, приводящих к сцинтилляциям сигналов в полярных областях.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА СТРУКТУРУ ИОНОСФЕРЫ

А.Н. Ляхов, М.Ю. Кузьмичева, Т.В. Лосева

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, alyakhov@idg.chph.ras.ru.

В докладе представлены результаты численного моделирования изменения пространственной структуры ионосферы Земли в период с 1980 по 2015 год, вызванные изменением геомагнитного поля. Численное моделирование выполнялось с использованием трехмерной самосогласованной модели ионосферы и термосферы TIME-GCM и модели IGRF геомагнитного поля. Для выделения эффектов, связанных с изменением геомагнитного поля в моделировании солнечная и геомагнитная активность были заморожены на одинаковом уровне. Результаты расчетов показали наличие изменения NmF2 в диапазоне (-20% - +15%) в высоких широтах западного полушария. Максимальные изменения наблюдаются в секторе 150E-150W. Физический механизм такой перестройки связан с

изменением фазового сдвига между магнитным и солнечным локальным временем. Смещение геомагнитного полюса очень невелико, по сравнению со смещением магнитного полюса, и в геомагнитных координатах токовые системы в ионосфере высоких широт практически не меняются. В географических координатах заметно смещение токовых систем. Представлено сравнение расчетов трендов геомагнитно-индуцированных токов, полученных по экспериментальным данным сети ИНТЕРМАГНЕТ с удалением эффектов геомагнитной активности и по расчетам в модели TIME-GCM. Результаты расчетов КВ радиоканалов для интервалов 1980-2014 года показали необходимость коррекции существующих карт частот, в связи с дрейфом МПЧ, вызванным изменением геомагнитного поля.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН КВ ДИАПАЗОНА В ИОНОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ СОЛНЕЧНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК

Д.Д. Рогов, В.А. Ульев

АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, rogovdenis@mail.ru.

В периоды вспышек на Солнце за счет резкого возрастания солнечного ионизирующего излучения, преимущественно в рентгеновском диапазоне, значительно увеличивается ионизация в D-области и нижней части E-области. Такие события называются внезапными ионосферными возмущениями и приводят к кратковременному (до 15-30 минут) увеличению поглощения радиоволн КВ диапазона на освещенной стороне Земли. Для расчета интенсивности поглощения, вызванного солнечной рентгеновской вспышкой, может быть использована модель SWPC, представленная на сайте <http://www.swpc.noaa.gov>. Модель на качественном уровне удовлетворительно описывает влияние данного события на ионизацию нижней ионосферы. Однако, как показали выполненные работы, расчеты с использованием этой модели дают заниженные значения поглощения относительно экспериментально наблюдаемых. Разработана новая эмпирическая модель поглощения КВ радиоволн, вызванного солнечными рентгеновскими вспышками. Предложенные эмпирические зависимости выведены на основе статистической обработки экспериментальных данных, полученных с помощью риометров российской (арктической и антарктической), канадской и финской цепочек в период с 1998 по 2015 г. За указанный временной интервал было зарегистрировано более 2000 солнечных рентгеновских вспышек высокой интенсивности (M- и X-классов), что позволило выявить особенности проявления данного эффекта в различных ионосферных условиях. Новая модель позволит более точно рассчитать интенсивность поглощения, вызванного солнечными рентгеновскими вспышками, в любой интересующей точке, что имеет большую практическую ценность для прогнозирования условий распространения радиоволн КВ диапазона.

РС ИНДЕКС И МЕЖПЛАНЕТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ E_{KL} , ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЕ С МАГНИТОСФЕРОЙ

О.А. Трошичев и Д.А. Сормаков

АА НИИИ, г. Санкт-Петербург, olegtro@aari.ru.

Рассмотрена связь индекса магнитной активности PC с межпланетным электрическим полем $E_{KL}=V_{sw}(B_Z^2 + B_Y^2)^{1/2} \cdot \sin^2(\theta/2)$ [Kan and Lee, 1979] в интервалы времени перед (1-2 часа) внезапным началом магнитной суббури ($N>900$). Показано, что рост PC индекса, предшествующий суббуре, определяется изменениями поля E_{KL} : для 82% суббурь коэффициент корреляции между PC и E_{KL} превышал величину $R=0.75$. Низкая ($R<0.5$) или даже отрицательная корреляция между E_{KL} и PC , которая имела место для $\sim 10\%$ событий (несмотря на явные предвестники суббури в поведении PC индекса) свидетельствует о том, что поток солнечного ветра, зафиксированный спутником АСЕ в точке либрации (на расстоянии ~ 1.5 млн.км. от Земли), в этих случаях проходил мимо магнитосферы. При высокой корреляции ($R>0.75$) задержка по времени ΔT в реакции PC индекса на изменения поля E_{KL} (сдвинутого к границе магнитосферы) менялась в пределах от 0 до 40 мин, с чётко выраженным максимумом на $\Delta T=10-20$ мин и вторичным максимумом на $\Delta T=0$. Величина задержки ΔT не показывает явной зависимости от величины отдельных параметров солнечного ветра (V_{sw} или B_Z), но жёстко связана ($R = -0.95$) со скоростью роста поля dE_{KL}/dt : чем быстрее растёт поле E_{KL} , тем меньше время задержки. Представлены данные о корреляции между 1-мин величинами PC индекса и поля E_{KL} (сдвинутого к границе магнитосферы) при разных уровнях магнитной активности.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ВОЛН НА ИОНОСФЕРНУЮ КОРРЕКЦИЮ СИГНАЛОВ ГНСС

А.В. Черменин, А.Н. Ляхов, Т.В. Лосева

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, alyakhov@idg.chph.ras.ru.

Наблюдения ошибок определения координат в среднеширотной ГФО «Михнево» ИДГ РАН (54.94СШ, 37.93ВД) ведутся с 01 ноября 2014 года приемником Javad Sigma 3. Частота поступления данных 1Гц. Обработка данных выполняется в пакете RTKLib. Эксплораторный анализ данных позволил получить новые важные результаты. Пространственное распределение измеренных координат крайне редко подчиняется нормальному закону распределения. Данные полученные в течение 1 часа выглядят как эллипс рассеяния, или, достаточно часто, как суперпозиция двух независимых эллипсов рассеяния. Амплитудно-вероятностные распределения качественно отличаются как от нормального распределения, так и от модели красного шума. Полученные вероятностные оценки позволили перейти к рассмотрению данных в терминах отношения полуосей эллипса рассеяния (R), полученного с помощью метода главных компонент. Таким образом первичные данные по ошибке позиционирования трансформировались во временной ряд параметра R . Спектральный анализ $R(t)$ не выявил никаких статистически значимых спектральных пиков, визуальный анализ позволил выдвинуть гипотезу о чередовании интервалов сгущения-разрежения в динамике $R(t)$. Была введена экспертная отсечка событий с порогом $R>10$. Полученный в результате поток событий, соответствующий в реальности экстремально большим ошибкам местоопределения был обработан по методике А.А.Любушина выявления периодичностей в потоке событий. В интегральном спектре четко выражены периоды: квази-двухдневный, 14 и 20 дней. Спектрально-временной анализ по Любушину показал, что эти периоды

наблюдались в разные интервалы времени. Эти периоды известны как периоды атмосферных планетарных волн, длительность наблюдения данных периодов совпадает с известными интервалами возбуждения планетарных волн. С целью определения причины появления экстремально больших ошибок все данные были повторно обработаны в режиме «ionosphere-free LC», то есть с отключением ионосферной коррекции. Средняя ошибка заметно выросла, но экстремальные ошибки практически исчезли. Обработка по вышеизложенному алгоритму показала отсутствие в спектрах каких-либо статистически значимых спектральных пиков. Полученные результаты позволяют предположить, что существующие широкополосные алгоритмы ионосферной коррекции некорректно работают в периоды возбуждения планетарных волн в атмосфере Земли.

СЕКЦИЯ «НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИНАМИКЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАЗНЕСЕННЫЙ ПРИЕМ – МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ УНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Е.Н. Ермакова, С.В. Поляков, А.В. Щенников,
Д.С. Котик

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

Исследования проводились на основе данных регистрации горизонтальных магнитных компонент на среднеширотных обсерваториях ФГБНУ НИРФИ Новая Жизнь (56N, 45.74E) и Старя Пустынь (55.66 N, 43.63E, расположена в 120 км к востоку от первого приемного пункта). Были выполнены исследования низкочастотного излучения от различных источников: Всемирных грозových очагов, центров региональной грозовой активности грозовой активности, магнитосферных источников. Анализировались УНЧ данные за достаточно длительный период мониторинга на обеих станциях за 2010-2012 и 2015 г.г. Были исследованы амплитудные спектры магнитных компонент и спектры поляризационного параметра ε . Как известно, спектры именно этого параметра наиболее чувствительны к изменениям ионосферных параметров на высотах 80-350км. Впервые была обнаружена существенная разница в спектрах ε на этих станциях в периоды отсутствия региональной грозовой активности. Это говорит о влиянии горизонтальной неоднородности ионосферы, обусловленной динамическими процессами в ионосферной плазме с масштабами порядка расстояния между пунктами, например, распространение ВГВ или наличие спорадических Es-слоев. В один из периодов обнаружения существенной разницы в основных параметрах спектра поляризации: граничной частоты, отделяющей положительные значения от отрицательных и глубины осцилляций в частотном спектре ε , по данным измерений ионозонда (расположен в 30 км от первого пункта) было обнаружено возникновение спорадических Es-слоев с максимальной частотой f_{oEs} порядка 4-5 МГц. На основе разнесенной регистрации был также исследован маскирующий влияние ионосферного резонатора суб-ИАР фактор локальной грозовой активности. Разница в спектрах ε была обнаружена в случае наличия грозových ячеек на территории Нижегородской области (подтверждено данными метеорадара). В этом случае наблюдалось резкое уменьшение глубины осцилляций в спектре ε на станции, которая находилась на расстоянии, менее 70-80км до грозových очагов. Отделять изменения в спектре поляризационного параметра, связанные с процессами в ионосферной плазме от изменений, связанных с локальной грозовой активности, необходимо при развитии методов диагностики, основанных на измерениях и модельных расчетах УНЧ магнитных полей от наземных источников. Также приведены результаты исследований методом разнесенного приема на малых базах амплитудных и поляризационных спектров геомагнитных пульсаций Pc-1. Разнесенная регистрация выявила периоды наблюдения излучений Pc-1 с большой разницей (до 60%) в амплитудах и в характере поляризации микропульсаций Pc-1 на этих станциях. Такой результат может свидетельствовать о близком (сравнимым с расстоянием между пунктами) к обеим станциям местоположении выхода магнитосферных сигналов на землю. Результаты этих исследований с одновременным анализом данных спутников NOAA POES по регистрации локализованных высыпаний энергичных протонов могут быть полезны для

исследования особенностей динамики амплитудных и поляризационных спектров многополосных Pc-1 при наличии множественных источников ионно-циклотронной неустойчивости. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 15-42-02544-р_поволжье_а.

НОВЫЙ ТИП ДНЕВНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В АВРОРАЛЬНЫХ ШИРОТАХ («ПТИЧКИ»)

**Ю. Маннинен¹, Т. Турунен¹, Н.Г. Клейменова²,
И. Сирвио³, Л.И. Громова⁴**

¹ ГО Соданкюля, Финляндия;

² ИФЗ РАН, г. Москва, Россия;

³ Университет г. Ювяскюля, Финляндия;

⁴ ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия.

Рассматривается новый, неизвестный ранее тип высокочастотных (выше 4 кГц) ОНЧ излучений, обнаруженный во время зимних кампаний ОНЧ наблюдений в Каннуслехто (Kannuslehto, L~5.5), расположенной в 40 км к северо-западу от Геофизической Обсерватории Соданкюля (Финляндия). Неизвестные ранее излучения были обнаружены в результате применения специальной спектральной фильтрации, очищающей записи ОНЧ от импульсных сигналов интенсивных атмосфериков, не позволяющих увидеть на спектрограммах другие виды ОНЧ излучений в том же частотном диапазоне. Оказалось, что в этом диапазоне частот помимо хорошо известных всплесков авроральных шипений и дискретных квазипериодических излучений существует также неизвестный ранее тип дневных право-поляризованных ОНЧ волн в виде многочасовых серий отдельных коротких дискретных широкополосных (от 4 до 10 кГц и более) сигналов длительностью каждый от одной до нескольких минут. Было установлено, что такие сигналы могут наблюдаться почти ежедневно. Обнаруженные излучения за свою необычную спектрально-временную форму были названы «bird-mode» ОНЧ излучениями, поскольку их динамические спектры часто напоминали летящих птиц. Сигналы наблюдались преимущественно в дневное время, чаще в магнитно-спокойных условиях. Рассматривается, по крайней мере, два подтипа таких излучений, отличающихся длительностью, спектральной формой и геофизическими условиями их появления.

АСИММЕТРИЯ ЗАХВАТА В РЕЗОНАНС ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ СО СВИСТОВЫМИ ВОЛНАМИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИМИСЯ ПОД УГЛОМ К ГЕОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

И.В. Кузичев¹, Д.Р. Шкляр^{1,2}

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² МФТИ ГУ, г. Москва, Россия, kuzicheviv@gmail.com.

Проблема ускорения частиц – одна из наиболее интересных задач в физике радиационных поясов. Со времени обнаружения радиационных поясов Земли С. Н. Верновым и Д. Ван Алленом в исследовании их динамики был достигнут значительный прогресс, но до сих пор некоторые аспекты процессов ускорения частиц остаются открытыми. Основной механизм ускорения частиц в радиационных поясах - резонансное взаимодействие с различными

волнами, в основном, в свистовом частотном диапазоне. Особый интерес представляет резонансное взаимодействие электронов релятивистских энергий со свистовыми волнами. Релятивистское резонансное условие имеет важные особенности, например, возможность поворота захваченной частицы, что приводит к так называемому релятивистскому ускорению с поворотом, открытому Омурой и др. [1, 2]. Омюра показал, что это очень эффективный механизм ускорения в случае взаимодействия релятивистских электронов со свистовыми волнами, распространяющимися вдоль силовых линий геомагнитного поля. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о том, что свистовые волны достаточно часто распространяются под углом к геомагнитному полю, особенно если волна выходит в магнитосферу из ионосферы (излучение молниевых разрядов, сигналы наземных ОНЧ передатчиков). В данной работе представлена теория резонансного взаимодействия релятивистских электронов со свистовыми волнами, распространяющимися под углом к геомагнитному полю, основанная на гамильтоновом формализме. Продемонстрировано, что наличие точек поворота требует особого рассмотрения при переходе к резонансному гамильтониану. Получены два различных резонансных гамильтониана, один из которых описывает динамику частиц вблизи точки поворота, тогда как второй применим вдали от неё. Проведено численное моделирование. Распределение электромагнитного поля вдоль траектории частицы восстанавливалось в рамках геометрикооптического подхода. Результаты моделирования показывают, что для «косого» распространения волны характеристики резонансного взаимодействия существенно отличаются от случая взаимодействия с волной, распространяющейся вдоль геомагнитного поля. Наиболее важный эффект – значительная асимметрия эффективной амплитуды взаимодействия относительно геомагнитного экватора. Эта асимметрия приводит к выходу частицы из захвата сразу после пересечения той экватора. Поскольку захваченная частица, двигаясь по направлению к экватору, увеличивает свою энергию, а двигаясь от экватора, уменьшает, эта асимметрия делает ускорение захваченных частиц более существенным по сравнению со случаем взаимодействия с волнами, распространяющимися вдоль геомагнитного поля. В то же время аналогичная асимметрия эффективной амплитуды взаимодействия возникает относительно точки резонансного поворота. Здесь она, наоборот, приводит к уменьшению эффективности механизма резонансного ускорения с поворотом.

[1] Omura, Y., N. Furuya, and D. Summers (2007), Relativistic turning acceleration of resonant electrons by coherent whistler mode waves in a dipole magnetic field, *J. Geophys. Res.*, 112, A06236, doi:10.1029/2006JA012243.

[2] Furuya, N., Y. Omura, and D. Summers (2008), Relativistic turning acceleration of radiation belt electrons by whistler mode chorus, *J. Geophys. Res.*, 113, A04224

РЕАКЦИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В СНЧ ДИАПАЗОНЕ

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

ПГИ, г. Анапты, Россия, olgamihsh@yandex.ru.

Нижняя ионосфера влияет на условия распространения естественных электромагнитных возмущений СНЧ диапазона, порождаемых молниевыми разрядами, в волноводе Земля-ионосфера. Приходящие от Солнца потоки высокоэнергичных протонов во время солнечных вспышек изменяют профиль электронной концентрации нижней ионосферы, особенно в авроральной области. Экспериментальное исследование скорости распространения электромагнитных возмущений в СНЧ диапазоне дает возможность исследовать влияние солнечных протонных событий на характеристики высокоширотной нижней ионосферы. Для

прикладных задач важно, что такие измерения ведутся на частотах, практически совпадающих с частотами электромагнитного зондирования литосферы и частотами, используемыми для организации связи с подводными лодками. В работе приведены результаты измерений скорости распространения атмосфериков от дальних разрядов молний на высокоширотной трассе «Ловозеро-Баренцбург» в СНЧ диапазоне во время вспышек на Солнце в 2011-2012 гг. По результатам измерений скорости 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.

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ И СВИСТОВЫХ ВОЛН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ RBSP

**А.А. Любчик, А.Г. Демехов, Е.Е. Титова,
А.Г. Яхнин**

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

Проведены расчеты инкрементов продольных ионно-циклотронных и свистовых волн по данным измерений на спутниках RBSP потоков энергичных частиц, концентрации холодной плазмы и величины магнитного поля. Показано, что интервалы времени, когда расчеты показывают достаточно высокий коэффициент усиления волн, и диапазон частот, соответствующий максимуму усиления, согласуются с частотно-временными спектрами электромагнитных волн, наблюдаемыми на этих спутниках. Проанализировано влияние на генерацию волн вариаций концентрации холодной плазмы, потоков энергичных частиц и их пичч-угловой анизотропии. Обсуждается связь генерируемых волн с потоками высыпавшихся частиц, регистрируемых на низкоорбитальных спутниках NOAA POES.

РЕЗОНАНСНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ОНЧ-СИГНАЛОВ БОРТОВЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Ю.М. Михайлов

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

Представлены результаты исследования ОНЧ-сигналов, возбуждаемых импульсным генератором ПВП, установленным на спутнике «Интеркосмос-24». Генератор излучал импульсы длительностью 250мс со скважностью 4, причём от импульса к импульсу частота заполнения изменялась на 1кГц, в целом охватывая диапазон от 1,5 до 19,5кГц. Задний фронт импульсов являлся источником индуцированных ОНЧ-сигналов. Были обнаружены такие сигналы, как затяжка импульсов, шумы НГР, связанные с возбуждающим импульсом, сигналы падающей частоты, как непрерывные, так и структурированные по времени. Рассмотрен процесс возникновения сигналов путем нелинейного триггирования при высоких линейных инкрементах, включающий циклотронный резонанс и образование вторичного пучка электронов. Предложены проекты будущих экспериментов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА СПУТНИКЕ DEMETER

**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 IAP, AS of the CR, Prague, Czech Republic;

³ Faculty of Mathematics and Physics, CU in Prague, Prague, Czech Republic;

⁴ LPC2E/CNRS, Orléans, France.

Проведено сопоставление результатов численного моделирования квазипериодических (QP) КНЧ/ОНЧ излучений и результатов статистического анализа наблюдательных данных о QP излучениях, зарегистрированных на борту спутника DEMETER. Статистический анализ данных производился на основе данных, полученных 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. Согласно результатам статистического анализа, с ростом периода QP излучений наблюдается тенденция к уменьшению частотного дрейфа QP элементов, а также уменьшение интенсивности волн. Численное моделирование QP излучений проводилось на основе теоретической модели проточного циклотронного мазера с использованием широкого набора значений параметров системы (таких как концентрация холодной плазмы, *L*-оболочка источника, мощность источника энергичных частиц и др.). Далее была проведена статистическая обработка полученных при моделировании параметров QP излучений, аналогичная анализу экспериментальных данных. Результаты этой обработки демонстрируют совпадение основных взаимозависимостей параметров QP излучений, полученных при моделировании и из наблюдений. Сопоставление теоретических и экспериментальных результатов позволило указать типичные диапазоны параметров источников QP излучений, наблюдавшихся на спутнике DEMETER.

ИНЖЕКЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В ВЕРХНИЮ ИОНОСФЕРУ ОТ ИСКУССТВЕННОГО ИОНОСФЕРНОГО ИСТОЧНИКА (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ)

С.В. Поляков, В.Л. Фролов

ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия.

Эффективность ионосферного источника при излучении в магнитосферу значительно превышает его эффективность при излучении в волновод земля-ионосфера, что позволяет при грамотной организации эксперимента обеспечить уверенный прием низкочастотных сигналов на борту КА. В работе (докладе) впервые предложена простая модель генерации, распространения и приема низкочастотных сигналов на борту КА с учетом естественных шумов, которая позволяет прогнозировать результаты экспериментов. Модель построена на основе эффективного искусственного источника низкочастотных полей, окна прозрачности в интегральном поглощении ионосферы, диаграммных свойств излучения (угол Стори) и особенностей распределения интенсивности естественных шумов на планете. В частности, показано, что уверенный прием низкочастотных сигналов на спутнике «Demeter» от стенда

EISCAT по сравнению со стендом «СУРА» объясняется относительно низкими естественными грозовыми шумами в г. Тромсё. Исследования Фролова В.Л. выполнялись при поддержке гранта РФФИ № 14-12-00556 в части анализа полученных экспериментальных данных.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКА КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ ПО НАЗЕМНЫМ И СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

**Е.Е. Титова¹, Б.В. Козелов¹, А.Г. Демехов^{1,2},
Д.Л. Пасманик², Ю. Маннинен³, О. Сантолик⁴,
К. Клетцинг⁵, Дж. Ривс⁶**

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

² ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия;

³ Геофизическая обсерватория Соданкюля, Финляндия;

⁴ ИФА АН ЧР, г. Прага, Чешская Республика;

⁵ Университет Айовы, США;

⁶ Лос-Аламосская национальная лаборатория, США.

Квазипериодические ОНЧ сигналы (в диапазоне частот 2-6 кГц) наблюдались во время суббури 25.01.2013 на спутнике Van Allen Probe-A и на наземной станции в северной Финляндии. Спутник регистрировал ОНЧ сигналы вблизи геомагнитного экватора в ночном секторе на $L = 3.0-4.2$; при этом он находился внутри плазмосферы. По мере движения спутника к более высоким широтам интервал между квазипериодическими элементами уменьшался от 6 мин до 3 мин. Было установлено однозначное соответствие между квазипериодическими элементами, зарегистрированными на земле и на спутнике, что доказывает временной характер наблюдаемых изменений интервала между элементами. Многокомпонентные измерения волновых электрических и магнитных полей на борту Van Allen Probe показали, что квазипериодические излучения представляли собой почти циркулярно поляризованные свистовые волны и в основном имели малые (менее 30°) углы распространения (между волновым вектором и геомагнитным полем). Вектор Пойтинга свистовых волн был направлен преимущественно от экватора. В вероятной области генерации этих сигналов ($L = 4$) наблюдались вариации функции распределения электронов с энергиями 10-20 кэВ, синхронные с квазипериодическими элементами. Во время паузы между элементами питч-угловое распределение электронов имело максимум около 90° , а во время формирования квазипериодического элемента распределение становилось более изотропным. Частотно-временная зависимость инкремента свистовых волн, рассчитанная для наблюдаемых на спутнике Van Allen Probe параметров холодной и горячей плазмы, включая питч-угловые распределения энергичных электронов, хорошо соответствует спектрам регистрируемых квазипериодических сигналов. Выяснено, что в области предполагаемого источника вариации магнитного поля с периодами, соответствующими периодам квазипериодических излучений, не наблюдались, что означает, что наблюдаемая модуляция ОНЧ излучений не связана с внешней модуляцией геомагнитной силовой трубки. В этом случае квазипериодические сигналы объясняются автоколебательными режимами циклотронной неустойчивости в магнитосферном мазере. В рамках модели проточного циклотронного мазера было выполнено численное моделирование таких режимов для параметров плазмы, близких к наблюдаемым, которое позволило получить независимую оценку характерного поперечного размера источника квазипериодических излучений, согласующуюся с наблюдениями.

ЭФФЕКТЫ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 20 МАРТА 2015 Г. ПО ДАННЫМ ОБС. ЛОВОЗЕРО И БАРЕНЦБУРГ

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

ПГИ, г. Анапиты, Россия, yury.fedorenko@gmail.com.

Солнечное затмение представляет собой уникальное явление, позволяющее изучить влияние быстрого изменения интенсивности солнечного излучения на ионосферу Земли. Наиболее чувствительной к эффектам солнечных затмений характеристикой является фаза сигнала. Это связано с тем, что изменение эффективной высоты отражения ОНЧ радиоволн при затмении Солнца приводит к изменению фазового пути волн данного диапазона при пересечении области затмения. Результаты экспериментальных исследований связанных с солнечными затмениями эффектов могут служить источником дополнительной информации о влиянии Солнца на параметры волновода Земля-ионосфера и поведение ионосферы. Данная работа посвящена исследованию влияния полного солнечного затмения, произошедшего 20 марта 2015г., на распространение ОНЧ сигналов, зарегистрированных в обсерваториях ПГИ «Ловозеро» и «Баренцбург». Проведено сравнение экспериментальных результатов измерений фаз сигналов передатчиков системы «Альфа» и результатов моделирования.

ЭФФЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КВАЗИ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМИ СВИСТОВЫМИ ВОЛНАМИ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСАХ ЗЕМЛИ

Д.Р. Шкляр¹, Е.Е. Титова²

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия;*

² *ПГИ, г. Анапиты, Россия, lena.titova@gmail.com.*

Наблюдения свистовых волн очень большой амплитуды были впервые представлены в работе [1], где также было указано, что эти волны должны играть важную роль в динамике электронов радиационных поясов Земли. В то же время, достаточно давно было установлено, что монохроматические сигналы ОНЧ передатчиков, распространяющиеся в магнитосфере в виде свистовых волн, могут эффективно взаимодействовать и с энергичными протонами, приводя к их высыпанию в конус потерь [2, 3]. Однако, как известно, взаимодействие частиц с монохроматической волной и с широким спектром волн принципиально различно. Поэтому взаимодействие протонов с наблюдавшимися естественными свистовыми волнами очень большой амплитуды требует специального исследования. Последовательной теории взаимодействия протонов со свистовыми волнами большой амплитуды с широким спектром в неоднородной магнитосферной плазме в настоящее время не существует. Одна из проблем на пути построения такой теории заключается в том, что за время циклотронного периода резонансные условия взаимодействия частицы с заданной волной существенно изменяются из-за неоднородности среды, так что частица все время одинаково эффективно взаимодействует со всем спектром волн. Теоретическое описание взаимодействия волн и частиц в этих условиях, когда традиционная квазилинейная теория неприменима, а также анализ эффектов этого взаимодействия и являются предметом настоящего доклада. Представлены расчеты коэффициентов диффузии частиц в фазовом пространстве (энергия –pitch-угол), а также скорость нагрева и поток частиц в конус потерь.

- [1] Cattell, C., et al. (2008), Discovery of very large amplitude whistler-mode waves in Earth's radiation belts, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L01105, doi:10.1029/2007GL032009.
- [2] Ковражкин Р. А. и др. Высыпание протонов из магнитосферы под действием искусственного ОНЧ излучения. – Письма в ЖЭТФ (1984), т. 39, с. 228-231.
- [3] Шкляр Д. Р. Механизм высыпания протонов под действием ОНЧ волны, инжектированной в магнитосферу. – Письма в ЖЭТФ (1985), т.41, с. 367-370.

POYNTING FLUX DIRECTIONS OF VLF CHORUS EMISSIONS IN THEIR SOURCE REGION AS INFERRED FROM THEMIS DATA

A. G. Demekhov,^{1,2} **U. Taubenschuss**,³ **O. Santolik**³

¹ *PGI, Apatity, Russia, andrei@appl.sci-nnov.ru;*

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

³ *Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic.*

We present results of observations of VLF chorus emissions based on several events detected by THEMIS spacecraft within the source region. Using the THEMIS multicomponent wave data of parallel propagating chorus elements detected at some distance from the magnetic field minimum, we have found a new feature: the elements propagating equatorward had systematically higher frequencies and smaller amplitudes compared with simultaneously observed elements propagating away from the equator. The exponential growth of the elements propagating in both directions had close or equal values. We propose an explanation of the observed feature on the basis of spatio-temporal evolution of the energetic electron distribution function in the course of VLF wave generation. The motion of electrons from the equator is accompanied by a decrease in their parallel velocity, which causes an additional increase in the wave frequency of the chorus elements generated by such electrons and propagating equatorward. The elements propagating in the opposite direction, i.e., from the equator, are formed by electrons whose parallel velocities are larger due to the adiabatic mirror force. Correspondingly, such electrons generate waves with lower frequencies. We present the results of numerical simulations confirming the proposed mechanism.

GENERATION OF SUPRATHERMAL ELECTRONS FLUXES BY NONLINEAR ELECTROSTATIC STRUCTURES

I. Vasko¹, **O. Agapitov**², **F. Mozer**², **A. Artemyev**^{1,3}, **J. Drake**⁴

¹ *SRI (IKI) of RAS, Moscow, Russia, vaskoiy@gmail.com;*

² *SSL, UC Berkeley, Berkeley;*

³ *UCLA, Los Angeles, USA;*

⁴ *University of Maryland, College Park, Maryland.*

Nonlinear electrostatic structures (electron holes, double layers etc.) are often observed in the space plasma. We suggest a mechanism for energy conversion of these nonlinear structures to the energy of initially thermal electrons, operating in the non-uniform magnetic field. The process is considered in a self-consistent manner, i.e. the influence of accelerated particles on the wave evolution is taken into account. It is shown that nonlinear structures observed by Van Allen Probes in the outer radiation belt and by Magnetospheric Multiscale mission in the reconnection region can provide electrons with energies up to 10 keV.

СЕКЦИЯ «НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИНАМИКЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

НАБЛЮДЕНИЕ ПРОТОННЫХ ВЫСЫПАНИЙ НА НИЗКИХ ВЫСОТАХ В ОБЛАСТЯХ, СОПРЯЖЕННЫХ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭМИЦ ВОЛН

Т.А. Попова, А.Г. Яхнин

ПГИ, г. Анапты, Россия, tarkada@yandex.ru.

Проведено сопоставление данных наблюдений ЭМИЦ волн на магнитосферных спутниках THEMIS и наблюдений высыпаний протонов на низкоорбитальных спутниках NOAA POES и MetOp за период май-август 2007 года. На основе относительно большой статистики показано, что в случаях, когда траектории низкоорбитальных спутников проходят через проекции областей наблюдения волн, на этих спутниках регистрируются высыпания протонов, расположенные к экватору от изотропной границы. Факт высыпаний не зависит от того, в какой полосе (водородной или гелиевой) происходит генерация ЭМИЦ волн. Отмечено, что генерация ЭМИЦ волн выше или ниже гирочастоты гелия зависит от расположения КА THEMIS, соответственно, вне или внутри плазмосферы. Рассмотрена зависимость интенсивности потока протонных высыпаний от амплитуды ЭМИЦ волн.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И АВРОРЬНАЯ ДИНАМИКА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕЦИРОВАНИЯ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА И ФОРМИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ АВРОРАЛЬНЫХ ДУГ

Е.Е. Антонова^{1,2}, **В.Г. Воробьев**³, **М.О. Рязанцева**^{1,2},
И.П. Кирпичев^{2,1}, **О.И. Ягодкина**³, **Т.А. Корилова**³,
И.Л. Овчинников¹, **В.В. Вовченко**², **М.В. Пулинец**^{6,1},
С.С. Знаткова^{1,2}, **М.В. Степанова**⁵

¹ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия;

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, elizaveta.antonova@gmail.com;

³ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия;

⁴ ФФ МГУ, г. Москва, Россия;

⁵ Университет Сантьяго де Чили, Чили.

Проанализировано распределения параметров плазмы и магнитного поля на границе магнитосферы, в низкоширотном погрансле и внутри магнитосферы вблизи экваториальной плоскости на геоцентрических расстояниях до 15 R_E на спутниках миссии THEMIS. Проведено сравнение экваториальных наблюдений с результатами наблюдений частиц и плазмы на авроральных спутниках проектов МЕТЕОР и DMSP, результатами наземных наблюдений авроральных дуг. Выявлено ряд закономерностей, которые не удается объяснить в рамках сложившихся представлений в области физики магнитосферы и магнитосферно-ионосферных взаимодействий. Подтверждено проецирование аврорального овала не на плазменный слой, как это считалось ранее, а на окружающее Землю плазменное кольцо. Выделены проблемы, решение которых позволит пролить свет на процессы формирования дискретных авроральных дуг.

ОСОБЕННОСТИ ПУЛЬСАЦИЙ Pc5 ДИАПАЗОНА В ГЕОМАГНИТНОМ ПОЛЕ, АВРОРАЛЬНОЙ СВЕТИМОСТИ И РИОМЕТРИЧЕСКОМ ПОГЛОЩЕНИИ

В.Б. Белаховский¹, **В.А. Пилипенко**², **С.Н. Самсонов**³,
Д. Лоренцен⁴

¹ ПГИ, г. Апатиты, Россия, belakhov@mail.ru;

² ИФЗ РАН, г. Москва, Россия;

³ ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия;

⁴ Университетский Центр на Шпицбергене, Норвегия.

В работе исследованы одновременные утренние Pc5 пульсации ($f \sim 3-5$ мГц) в геомагнитном поле, интенсивности полярных сияний (в эмиссиях кислорода 557.7 нм и 630.0 нм, эмиссии азота 471.0 нм) и риометрическом поглощении по данным станций сетей CARISMA, CANMOS, NORSTAR. В магнитосфере по наблюдениям на геостационарном спутнике GOES-8 эти геомагнитные Pc5 пульсации видны как несжимаемые волны с тороидальной поляризацией. Хотя частоты Pc5 пульсаций в сияниях, геомагнитном поле, риометрическом поглощении близки, устойчивых фазовых соотношений между ними не

наблюдается. Далеко не все цуги геомагнитных $Pc5$ пульсаций сопровождаются соответствующими авроральными пульсациями, и, следовательно, геомагнитные пульсации первичны по отношению к авроральным пульсациям. Как для геомагнитных $Pc5$ пульсаций, так и для авроральных $Pc5$ пульсаций наблюдается распространение к полюсу, а также уменьшение частоты с увеличением геомагнитной широты. При появлении авроральных $Pc5$ пульсаций отношение интенсивностей эмиссий 557.7/630.0 резко увеличивается, что свидетельствует о том, что авроральные пульсации являются следствием не просто модулированного высыпания частиц, а дополнительного периодического ускорения авроральных электронов полем альвеновской волны. Между $Pc5$ пульсациями в полярных сияниях и риометрическом поглощении не наблюдается высокой корреляции, что говорит об их общем источнике, но различных механизмах генерации. Предположительно, механизм модуляции авроральных эмиссий связан с взаимодействием альвеновских волн с областью продольного падения потенциала над авроральной ионосферой.

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА 3D ПУЧКОВ БМЗ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В ПЛАЗМЕ ИОНОСФЕРЫ И МАГНИТОСФЕРЫ

В.Ю. Белашов¹, Е.С. Белашова²

¹ ФУ КГЭУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com;

² КНИТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия.

На основе модели 3D уравнения БК (3D обобщенного уравнения Кадомцева–Петвиашвили) для магнитного поля $h=B_{\perp}/B$ изучается формирование, устойчивость и динамика 3D солитоноподобных структур типа пучков быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн, формирующихся в ионосферной и магнитосферной плазме на низкочастотной ветви колебаний в случаях, когда $\beta=4\pi nT/B^2 \ll 1$ и $\beta > 1$. Рассмотрение ведется с учетом высшей дисперсионной поправки, определяемой значениями плазменных параметров и угла $\theta=(\mathbf{V}, \mathbf{k})$, которая играет определяющую роль при распространении пучка БМЗ под углами к магнитному полю, близкими к $\pi/2$. При изучении устойчивости неоднородных решений используется метод исследования ограниченности гамильтониана при его деформациях на основе решения соответствующей вариационной задачи. При изучении эволюции и динамики 3D БМЗ волнового пучка уравнения интегрировались численно с использованием специально разработанных методов. Полученные результаты могут быть интерпретированы в терминах явления самофокусировки, как формирование стационарного пучка, рассеяние и самофокусировка уединенного пучка БМЗ волн. Для всех этих случаев детально исследовались все стадии эволюции 3D пучков БМЗ волн в ионосферной и магнитосферной плазме.

ФОРМИРОВАНИЕ АВРОРАЛЬНЫХ СТРУКТУР В ХОЛОДНОЙ ИОНОСФЕРНО-МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ В УСЛОВИЯХ КОНВЕКЦИИ

М.А. Волков

МГТУ, г. Мурманск, Россия, volkovma@mstu.edu.ru.

В работе рассматриваются механизмы обратной связи между движущейся плазмой в магнитосфере и ионосфере, приводящие к образованию авроральных структур. Возникновение обратной положительной связи между ионосферой и магнитосферой возможно даже в приближении холодной ионосферно-магнитосферной плазмы. Электромагнитные возмущения, обеспечивающие обратную связь, распространяются из ионосферы в магнитосферу и обратно в форме косых альвеновских волн. Электрическое поле в этой волне имеет продольную компоненту, направленную вдоль магнитного поля Земли. Продольная компонента электрического поля ускоряет электроны, которые высыпаются в ионосферу. Данная обратная связь исследуется в условиях сильно неоднородного профиля альвеновской скорости вдоль магнитного поля Земли. Поскольку волны распространяются под углом к магнитному полю, граничные условия задаются в магнитосфере, в ионосфере, а также на полярной и на экваториальной границах авроральной области. Численное моделирование показывает, что продольные электрические поля достигают значения 10^{-5} В/м, а электроны ускоряются до энергии в 1 кэВ.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ММП И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ГЕОМАГНИТНО-ИОНОСФЕРНЫЕ БУРИ

Т.Л. Гуляева

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

В работе представлены оценки глобального отклика ионосферы на возмущения межпланетного магнитного поля (ММП) и солнечного ветра (СВ). Исследованы 67 геомагнитно-ионосферных бурь по данным АЕ-индекса авроральной электроструи, Dst бурь кольцевого тока и бурь полного электронного содержания (ТЕС) по глобальным картам GIM-ТЕС за 1999-2015гг. Начало бури определяется по пороговым значениям параметров ММП (B , dB/dt , B_z), вследствие которых интенсивность авроральной электроструи (АЕ) превышала 1000 нТл. Интенсивность отклика ионосферы определялась относительной плотностью облаков повышенного ТЕС по сравнению со спокойным фоновым уровнем (V_p) и относительной плотностью крупномасштабных провалов в ионизации в так называемой отрицательной фазе ионосферной бури (V_n). Эффективность воздействия источников ММП и солнечного ветра на ионосферу определялась соотношением частоты появления пороговых значений в межпланетной среде и интенсивностью отклика ионосферы в авроральной области и в целом по глобусу. Методом наложения эпох выведен типичный профиль изменения скорости СВ во время бурь, профили бурь АЕ и Dst и профили интенсивности положительных и отрицательных ионосферных бурь. Профиль интенсивности положительных бурь ТЕС показал глобальную облачность плазмы от 2% до 10% ячеек на карте. Профиль интенсивности отрицательных бурь ТЕС меняется в тех же пределах, но с запаздыванием на 12ч по сравнению с пиком облачности. Указанный сдвиг во времени (запаздывание) одних процессов по сравнению с другими позволяет при появлении признаков начала бури в параметрах ММП и солнечного ветра и наземном мониторинге геомагнитных и ионосферных параметров прогнозировать развитие рассмотренных процессов в течение 48ч после начала бури.

НАБЛЮДЕНИЯ АВРОРАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ ЗА СЕЗОН 2014-2015 гг.

**Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин, А.В. Турянский,
Ю.В. Федоренко, А.Д. Гомонов**

ПГИ, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com.

В докладе представлен обзор наблюдений авроральных явлений аппаратурой Полярного геофизического института за зимний сезон 2014-2015 гг. Используются данные оптических наблюдений полярных сияний в обс. Ловозеро, г.Апатиты и обс. Верхнетуломская, а также риометра в обс. Туманной и регистрации КНЧ-ОНЧ электромагнитных волн в Ловозеро. В Ловозеро и Верхнетуломской наблюдения проводились камерами всего неба. Система авроральных камер 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. Две идентичные камеры расположены на расстоянии 4 км, что дает 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. Приведены примеры численного анализа пространственно-временной динамики полярных сияний с использованием фрактальных характеристик и методов математической морфологии. Выделены случаи одновременных наземных наблюдений на Кольском полуострове и пролетов над этим регионом спутников (RBSP, THEMIS).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ВНЕЗАПНОГО ИМПУЛЬСА

**А.В. Моисеев, Д.Г. Баишев, Т. Иозуми,
А. Йошикава, А. Ду**

ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, moiseev@ikfia.sbras.ru.

По данным наземных и спутниковых наблюдений рассматриваются квазипериодические изменения геомагнитного поля и параметров плазмы в диапазоне P_5 пульсаций, последовавшие сразу после взаимодействия межпланетной ударной волны (МУВ) с земной магнитосферой в событии 24.04.2009 в 00:53 UT. Пульсации были локализованы на широтах $66-74^\circ$ в полуденном (11 MLT) и вечернем (20 MLT) секторах. Анализ годографов изменений геомагнитного поля как по спутниковым, так и наземным наблюдениям показал наличие вихревых возмущений. В данном событии фронт МУВ имел наклон в плоскости эклиптики, угол между нормалью фронта и меридианом полдень-полночь составлял 11° в межпланетной среде и 16° в магнитосфере (угол отсчитывается против часовой стрелки от полуночного меридиана). Положение вихревых возмущений в магнитосфере на разном радиальном расстоянии: $X \sim 5.6 R_E$ в полуденном и $X \sim 7.2 R_E$ в вечернем секторе, согласуется с наклоном фронта. По спутниковым наблюдениям максимальная интенсивность волновых возмущений в обоих секторах регистрировалась в азимутальной компоненте поля, что соответствовало резонансному механизму возбуждения этих возмущений. Анализ распределения скоростей

конвекции плазмы и распространения фронта волны сжатия в экваториальной плоскости магнитосферы показал, что вихревые возмущения наблюдались в областях, где скорости конвекции и распространения фронта имели противоположные направления т.е. регистрировались интенсивные сдвиговые течения. Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 13-05-00363, 15-45-05090.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РС-ИНДЕКСА В КАЧЕСТВЕ ВХОДНОГО ПАРАМЕТРА В ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВРОРАЛЬНЫХ ВЫСЫПАНИЙ “OVATION-PRIME”

В.Д. Николаева¹, А.В. Николаев², О.А. Трошичев¹,
П.Т. Ньюэлл³

¹ АА НИИ, г. Санкт-Петербург, Россия;

² СГУ, г. Санкт-Петербург, Россия ;

³ APL, John Hopkins University, Lawrell, N.Y., USA.

“OVATION-prime” представляет эмпирическую модель авроральных высыпаний [Newell, 2009], основанную на данных измерений спектров авроральных частиц (электронов и ионов) на спутниках DMSP с 1.01.1989 по 31.12.1998. Модель строилась следующим образом: (1) были рассчитаны высыпания энергичных частиц на сетке с величиной ячейки 0.25 h MLT и 0.5° MLat для обоих полушарий в от 50° до 90° MLat, (2) электронные высыпания подразделялись на диффузные, моноэнергетические и высыпания широкого спектра, (3) была проведена оценка статистической связи между высыпаниями частиц и параметрами солнечного ветра (v , B_T , θ_c), измеренными на спутнике ACE, (4) для каждой ячейки сетки были получены статистически значимые регрессионные коэффициенты, связывающие интенсивность высыпаний с параметрами солнечного ветра (“функция взаимодействия” [Newell et al., 2007]), (5) статистически значимые регрессионные коэффициенты были использованы для построения модели высыпаний частиц, где в качестве входного параметра использована «функция взаимодействия» $d\dot{Q}_{MP}/dt = v^{4/3} B_T^{2/3} \sin^{8/3}(\theta/2)$, учитывающая среднечасовые параметры солнечного ветра, измеряемого спутником ACE. Модель оказывается некорректной, если солнечный ветер, измеренный спутником ACE, в действительности не контактирует с земной магнитосферой (т.е. проходит мимо неё), или распространяется Земле с другой, большей или меньшей, скоростью. Наиболее серьезным недостатком модели «OVATION-Prime» [Newell, 2009] является использование среднечасовой «функции взаимодействия» в качестве входного параметра и, как следствие, 1-час разрешение во времени. Эти проблемы автоматически устраняются, если в качестве входного параметра в модели «OVATION-Prime» использовать PC индекс. Для замены функции $d\dot{Q}_{MP}/dt$ на PC индекс были выведены статистически достоверные связи между тангенциальной B_T компонентой ММП и PC индексом, между B_Z компонентой ММП и PC , и между модулями $|B_y|$ и $|B_z|$ при различных величинах $|B_z|$, и в результате была получена модифицированная модель “OVATION-PC”. Сравнение результатов расчётов по моделям “OVATION-prime” и “OVATION-PC” показывает, что обе модели дают подобные картины авроральных высыпаний, пока PC индекс не превышает величины $\sim 5 \div 6$ mV/m. На основании сопоставления модельных расчётов с экспериментальными данными сделан вывод, что использование PC индекса в качестве входного параметра обеспечивает получение более корректных результатов.

«БЕСТРИГГЕРНЫЕ СУББУРИ» И УНЧ ВОЛНЫ ДИАПАЗОНА ПЕРВЫХ МИЛЛИГЕРЦ (Pc5/Pi3)

**Н.С. Носикова, Н.В. Ягова, В.А. Пилипенко,
О.В. Козырева, Д. Лорентзен, Л. Бадделей**

ИФЗ РАН, НИЯУ «МИФИ», г. Москва, Россия, natanosik@yandex.ru.

В работе показано, что существуют суббури, развивающиеся при значениях неволновых параметров межпланетной среды (межпланетное магнитное поле, скорость и давление солнечного ветра), характерных для магнитоспокойных дней. При этом амплитуды Pc5/Pi3 колебаний магнитного поля, измеренных на наземных высокоширотных станциях, оказываются выше в течение всего дня, предшествующего суббуре, чем для дней без суббури. Также исследуются спектральный состав колебания в диапазоне 1-5 мГц магнитного поля и давления плазмы в солнечном ветре, магнитослое и магнитосфере и оценивается вклад колебаний в различных областях в формирование спектра наблюдаемых на Земле Pc5/Pi3 пульсаций, что позволяет сравнить вклад волнового и неволнового каналов передачи энергии для «бестриггерных» суббурь.

АНТРОПОГЕННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ СУБАВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ КВ ПЕРЕДАТЧИКАМИ И ТРИГГЕРИРОВАНИЕ СУББУРЬ

**Ю.Я. Ружин, В.Д. Кузнецов, Ю.А. Пластинин,
Г.Ф. Карабаджак**

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

Космическая погода зависит в первую очередь от влияний “сверху” – радиационных и корпускулярных потоков энергии, распространяющихся от Солнца. Заметные возмущения плазменной оболочки Земли – ионосферы порождаются также источниками энерговыделения на поверхности Земли и в тропосфере. Однако разнообразие приповерхностных источников возмущений и неоднозначность реакций на них характеристик ионосферной плазмы требуют проведения дальнейших исследований. Коротковолновое (КВ) излучение в околоземном пространстве от мощных передатчиков (связь, радиолокация, широковещательные и станции единого времени, навигация и т.д.) – это современный мир и цивилизация уже не может обходиться без этого. В частности, специальные исследовательские стенды с мощными КВ передатчиками весьма успешно используются для проведения плазменных экспериментов и локальной модификации ионосферы. В нашей работе на примере результатов комплексного наземно-космического эксперимента показано, что при облучении субавроральной области ионосферы в диапазоне КВ можно вызвать не только местные изменения в ионосфере, но и триггерирование в магнитосферно – ионосферной системе процессов, приводящих к энергоемкой суббуревой активности. Серия экспериментов по модификации ионосферы радионагревом в КВ диапазоне, проведенных на базе стенда СУРА совместно с оптическими измерениями на борту международной космической станции (МКС), показали эффективность таких воздействий на ионосферу при рабочей частоте стенда выше критической плазменной основного слоя F2 ионосферы. В работе приводятся результаты анализа накопленного комплекса данных. Проведены расчеты лучевого КВ радиотрассирования и показано, что за счет рефракции на градиенте критических частот слоя F2 пучком стенда засвечивалась ионосфера (эффекты перераспределения и перефокусировки лучей) к северу от стенда вплоть до широт 60-62°N. Показано также, что для возможной локализации суббури

активные эксперименты на базе стенда СУРА следует планировать в период вблизи осеннего равноденствия и локальной полуночи, т.е. в районе 21-24 LT (сектор разрыва Харанга), а также, предпочтительно, в конце восстановительной фазы геомагнитной бури, т.е. в подготовленной ионосфере. Как итог, отметим, что в активных экспериментах по модификации ионосферы мощным КВ излучением стенда СУРА с использованием наземных и космических средств диагностики (магнитные обсерватории, Международная космическая станция, спутник "Деметер" и др.) накоплены экспериментальные факты, которые свидетельствуют о возможности эффективного вмешательства в природные процессы с помощью передатчиков даже при небольшой (~ 10 МВт) эффективной мощности излучения. Результаты проведенных экспериментов дают веские основания предполагать, что при качественном прогнозе состояния магнитосферно-ионосферной системы можно будет триггерировать суббури с помощью локального воздействия на ионосферу, что свидетельствует о возможности управляемого процесса воздействия на ионосферу субавроральных широт передатчиками мощного КВ радиоизлучения.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ РС ИНДЕКСОМ И ПРОДОЛЬНЫМИ МАГНИТОСФЕРНЫМИ R1 И R2 ТОКАМИ ИЗМЕРЕННЫМИ НА СПУТНИКАХ SWARM

**О. Трошичев¹, Д. Сормаков¹, К. Столле²,
Ю. Мацка²**

¹ АА НИИ, Санкт-Петербург, Россия;

² Немецкий ЦИГ (GFZ), г. Потсдам, Германия.

По данным измерений на 3-х спутниках Swarm в 2014г. рассматривались соотношения между РС индексом и продольными токами R1 и R2, которые наблюдаются, соответственно, на приполюсной и экваториальной границах аврорального овала. в ходе развития магнитных суббурь на.. Чтобы минимизировать возможное влияние токовой системы R2 на магнитную активность в полярных шапках, связь между РС индексом и продольными R1 токами анализировалась только на предварительной фазе изолированных суббурь, когда РС индекс рос медленно и постепенно на фоне низкой и почти неизменной магнитной возмущённости в авроральной зоне вплоть до внезапного начала суббури. Результаты анализа показывают согласованный рост РС индекса и интенсивности продольных токов R1, при этом случайные спады в интенсивности продольных токов сопровождались кратковременными понижениями величины РС индекса. Линейная зависимость между интенсивностью R1 продольных токов и величиной РС индекса демонстрирует явный сезонный эффект, что объясняется изменением проводимости полярной ионосферы и, соответственно, условий замыкания продольных R1 токов через ионосферу полярных шапок при переходе от лета к зиме. Делается вывод, что интенсивность ионосферных токов в полярных шапках и соответствующей магнитной активности (т.е. величина РС индекса) определяется системой продольных R1 токов, которые генерируются в магнитосфере под воздействием геоэффективного солнечного ветра.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА, РАССЕЯННОГО НА АВРОРАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ ИОНОСФЕРЫ

И.В. Тютин, В.Б. Оводенко, С.А. Пушай

ОАО "НПК "НИИДАР", Россия.

Радиолокационные станции (РЛС) дальнего обнаружения (ДО) УКВ диапазона периодически регистрируют рассеяние радиоволн от ионосферных неоднородностей. Рассеянный сигнал приходит с дальностей 500 - 1000 км. За когерентное рассеяние ответственны плазменные неустойчивости (Фарлей-Бунимановские и дрейфовые неустойчивости) E и F слоев ионосферы, формирующие неоднородности концентрации электронов, вытянутые вдоль силовых линий магнитного поля. Сигнал отраженный от ионосферных неоднородностей приводит к регистрации ложных отметок и завязыванию ложных траекторий на РЛС. Поэтому существует необходимость селекции сигналов от ионосферных неоднородностей. В данной работе представляется модель поляризационных характеристик сигнала, рассеянного на авроральных неоднородностях ионосферы. Модель позволяет определить эффективность поляризационной селекции сигналов, рассеянных на ионосферных неоднородностях, для РЛС ДО в зависимости от параметров радара (таких как рабочая частота, местоположение (точка стояния РЛС), диаграммы направленности антенны (ДНА) на прием и передачу, функции неопределенности сигнала (ФНС)).

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И АВРОРЛЬНАЯ ДИНАМИКА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДНЕВНОЙ ПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОДЖЕТ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНУЮ ФАЗУ МАГНИТНОЙ БУРИ 30 МАЯ 2003

А.Е. Левитин, Л.И. Громова, Н.Г. Клейменова,
Л.А. Дремухина, Е.Е. Антонова, Н.Р. Зелинский,
С.В. Громов, Л.М. Малышева

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

Приведены результаты анализа дневного полярного электроджета, наблюдаемого в восстановительную фазу большой магнитной бури 30 мая 2003 г. ($Dst_{min} = -144$ нТл) на основе данных наблюдений на скандинавском профиле магнитометров *IMAGE*. В условиях больших положительных значений B_z ММП (+20-25 нТл) и больших отрицательных значений B_y ММП (до -20 нТл) выявлены нетипичные геомагнитные эффекты, а именно, в дневном секторе на геомагнитных широтах выше 70° наблюдалась интенсивная (порядка 400 нТл) отрицательная магнитная бухта в X -компоненте поля (дневной полярный электроджет). Со сменой знака B_y ММП с отрицательного на положительный бухта в X -компоненте магнитного поля сменилась бухтой в Y -компоненте поля. Установлено, что в области дневного полярного электроджета отмечается резкая интенсификация продольных электрических токов системы NBZ, что подтверждается данными спутника *CHAMP*. Полученные результаты сопоставлены с положением аврорального овала (модель *OVATION*) и наблюдениями потоков ионов и электронов на спутнике *DMSP*. Анализ спектров частиц показал, что они соответствуют пересечениям спутника дневного сектора аврорального овала, т.е. проекции дневной части окружающего Землю плазменного кольца. Приведены аргументы в пользу предположения о локализации обсуждаемого дневного электроджета вблизи полярного края дневного аврорального овала в замкнутой магнитосфере. Исследованы геомагнитные пульсации диапазона Pc5/Pi3 ($f = 2-7$ мГц), представляющие собой тонкую волновую структуру дневного полярного электроджета. Установлено, что спектр высокоширотных (выше $\sim 70^\circ$) пульсаций не совпадает со спектром флуктуаций в солнечном ветре и ММП. Показано, что на широтах ниже 70° геомагнитные Pc5 пульсации могут быть отнесены к резонансным, в то время, как в более высоких широтах пульсации, по-видимому, являются отражением флуктуаций в прилегающих к магнитопаузе турбулентных слоях (низкоширотный погранслой, горловина каспа) или в турбулентном магнитослое.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ СУББУРИ ВБЛИЗИ МАКСИМУМОВ 23-ГО И 24-ГО ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

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

¹ ПГИ РАН, г. Анатиты, Россия, despirak@gmail.com;

² ИФЗ РАН, г. Москва, Россия.

На основе данных наземных наблюдений на скандинавском профиле магнитометров IMAGE и базы данных OMNI по солнечному ветру проведен сравнительный анализ условий появления суббурь вблизи максимумов 23-го (Wp~115) и 24-го (Wp~65) циклов солнечной активности (1999-2000 и 2012-2013 г.г.). Все суббури были разделены на 3 типа в соответствии с динамикой аврорального овала. Первый тип - суббури, которые наблюдаются только в авроральных геомагнитных широтах, ниже 70° («обычные» суббури). Второй тип - суббури, которые перемещаются из авроральных (<70°) в полярные (>70°) геомагнитные широты («высокоширотные» суббури). Третий тип - суббури, которые наблюдаются только на широтах выше ~70° при отсутствии одновременных геомагнитных возмущений на широтах ниже ~70° («полярные» суббури). Показано, что сезонный ход появления всех типов суббурь подобен для обоих временных периодов, но в 1999-2000 г.г. число суббурь было больше, а начальная геомагнитная широта суббури была ниже, чем в 2012-2013 годах. Существенных различий в поведении параметров солнечного ветра для суббурь во время разных максимумов солнечной активности не найдено. Значения полярного PC-индекса перед началом суббурь в 23-ем цикле солнечной активности были в 1.6 раза ниже, чем в 24-м цикле. Таким образом, в максимуме необычно низкого 24-го цикла солнечной активности суббуревая активность также оказалась пониженной. Кроме того было установлено, что значения PC индекса были наибольшими перед «высокоширотными» суббурями (1.98±0.80 для 1999-2000г. и 1.59±0.95 для 2012-2013г.), наименьшие перед «полярными» суббурями (0.77±0.59 и 0.52±0.54) и промежуточные перед «обычными» суббурями (1.49±0.92 и 0.95±0.82). Так, перед «полярными» суббурями значения PC индекса были в 2.6–3.0 раза ниже, чем перед «высокоширотными» суббурями. Этот факт позволяет предположить, что, несмотря на то, что эти два типа суббурь регистрируются на одинаково высоких (выше ~70°) широтах, они наблюдаются в разных условиях (первые при высокой, а вторые при низкой геомагнитной активности), следовательно, могут иметь разные источники в хвосте магнитосферы.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ МАГНИТОМЕТРОВ

М.А. Евдокимова, А.А. Петрукович

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, evdokimari@mail.ru.

В работе исследуются модели восстановления профиля западного электроджета по данным магнитного поля меридиональной цепочки магнитометров. Анализ сделан для магнитной суббури 24 ноября 1996 г. Эта задача представляет интерес в связи с тем, что данные магнитного поля известны в конечном, довольно небольшом количестве точек. В первой модели (А.Л. Kotikov, Yu.O. Latov and O.A. Troshichev, 1987) токи представляются в виде бесконечно тонких проводов. Во второй (V.A. Popov, V.O. Papitashvili, J. F. Waterman, 2001) электроджет моделируется последовательностью узких бесконечно длинных полос. В обеих моделях токи находятся минимизированием функции невязки. В результате численного моделирования получены профили тока в зависимости от широты в фиксированные моменты времени при разном количестве проводов (полос) токов и различных параметрах регуляризации. Первая модель при малом количестве токов дает недостаточно точный результат. Исследована модифицированная модель, в которой не только токи, но и их координаты являются параметрами минимизируемой функции невязки, однако функция имеет несколько локальных минимумов, и получаемый результат зависит от начальных условий. При большом количестве токов появляются необоснованные скачки значений токов и амплитуды поля на широтах, где не хватает станций, и необходимо введение параметров регуляризации.

АВРОРАЛЬНЫЕ ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ И ОКОЛОЗЕМНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ СЛОЙ ВО ВРЕМЯ СУББУРИ

Т.В. Козелова, Б.В. Козелов

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

Изучались авроральные вихревые структуры с разными масштабами в предполуночном секторе во время суббури и связанные с ними вариации полей и частиц в околоземном плазменном слое. Использовались одновременные наземные измерения магнитного поля и полярных сияний на ст. Апатиты и Верхнетуломск и наблюдения на спутнике THEMIS (на расстоянии 8.5 Re) во время суббури 19 декабря 2014 г. Рассмотрены разные стадии роста вихревой структуры. После начала суббури во время линейной стадии роста волнообразные возмущения в виде азимутально разделенных форм, движущихся на запад (или на восток в зависимости от точки наблюдения) вдоль узкой азимутальной дуги, расширяются к север незначительно, на $<1^\circ$. В магнитосфере в области изотропных потоков ионов вблизи границы конвекции электронов (10 кэВ) наблюдаются колебания магнитного поля с периодом ~ 90 сек. Во время нелинейной стадии роста образуются крупномасштабные структуры полярных сияний в виде WTS и его частей. Расширение этих структур к полюсу сопровождается одновременной диполизацией и инжекциями энергичных частиц во внутренней магнитосфере. Обсуждается роль баллонной неустойчивости в создании авроральной суббури.

НАБЛЮДЕНИЯ ДНЕВНОГО ПОЛЯРНОГО КАСПА НА АВРОРАЛЬНОЙ СТАНЦИИ Б. ТИКСИ

**В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов^{2,3}, В.А. Телегин⁴,
В.А. Панченко⁴**

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

² ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия;

³ ТИСВФУ, г. Якутск, Россия;

⁴ ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия.

В дневном секторе полярной ионосферы наклонные радиоотражения в КВ-диапазоне могут возникать в нескольких различных областях: вблизи резкой экваториальной границы дневного полярного каспа, от дискретных дуг полярных сияний в дневном клефте и на экваториальной границе дневной диффузной авроральной зоны. Наблюдения с помощью техники возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) осуществляются в Тикси в течение длительного периода, что позволяет на основании большой статистики измерений установить область локализации дневных радиоотражений. Сравнение с аналогичными спутниковыми данными о положениях дневного полярного каспа и дневной диффузной авроральной зоны показывает, что два вида измерений этих структур дают хорошо согласующиеся между собой результаты. Установка на авроральной станции Тикси современного цифрового ионозонда DPS-4, оснащенного дополнительной горизонтальной ромбической антенной, позволит осуществлять непрерывный (on-line) мониторинг положений дневного полярного каспа и клефта в течение 5-6 часов в околополуденном секторе и изучать их динамику в зависимости от параметров межпланетного магнитного поля. Детально обсуждаются другие возможности ионозонда DPS-4 при работе на авроральной станции.

СЕКЦИЯ «ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АТМОСФЕРУ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

НАЧАЛАСЬ КВАЗИВЕКОВАЯ ЭПОХА НОВОГО МАЛОГО ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА

Х.И. Абдусаматов

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

Исследованиями отклонения среднегодового энергетического баланса Земли от равновесного состояния установлено, что приходные и расходные части тепловой мощности планеты всегда находятся в несбалансированном состоянии. Среднегодовая энергия собственного теплового излучения Земли в космическое пространство благодаря термической инерции Мирового океана отстает на 20 ± 8 лет от поглощенной среднегодовой энергии солнечного излучения, варьирующего с квазидвухвековым и 11-летним циклами. В результате в Океане будет накапливаться ежегодный избыток или дефицит поступившей энергии соответственно в течение фазы роста или спада квазидвухвекового цикла солнечной постоянной, что с учётом грядущей вариации солнечной постоянной может надёжно определять и предсказать направление и глубину предстоящего изменения климата. Благодаря входу Солнца с ~ 1990 г. в фазу спада солнечной постоянной квазидвухвекового цикла Земля, получая меньше солнечной энергии, имеет, и далее будет иметь долговременный отрицательный тепловой режим и энергетический баланс. В результате в 2015 году после фазы максимума 24 цикла началась новая девятнадцатая квазивековая эпоха Малого ледникового периода за последние 7500 лет. Последующие причинно-следственные механизмы обратной связи (нелинейный рост альбедо Бонда Земли и уменьшение концентрации, прежде всего водяного пара и других парниковых газов в атмосфере, вызываемые похолоданием) приведут к дополнительному существенному снижению температуры, сравнимого с прямым воздействием снижения солнечной постоянной. На основе исследований вариаций солнечной постоянной в течение трех последовательных минимумов между циклами 21/22, 22/23 и 23/24 прогнозируется наступление фазы глубокого квазидвухвекового минимума солнечной постоянной маундеровского типа в $27(\pm 1)$ цикле в 2043 ± 11 г. Обусловленное долговременным уменьшением солнечной постоянной, а также дополнительным существенным воздействием последовательной цепочки климатических эффектов обратной связи наступление фазы глубокого похолодания квазидвухвекового цикла можно ожидать ориентировочно в 2060 ± 11 г., которое может продлиться 45-65 лет, в течение четырех-шести 11-летних циклов Солнца. Последовательное ослабление мощности Гольфстрима вследствие снижения температуры поверхностного слоя тропической зоны Мирового океана приведет к существенному усилению похолодания в зонах его действия. В Солнечной системе, по аналогии со сменой времён года на Земле, происходит квазидвухвековое чередование климатических условий, продиктованное соответствующими изменениями мощности солнечного излучения. С этой точки зрения Солнечная система после сезона «солнечное лето» вступила в сезон «солнечная осень», а затем ориентировочно в 2060 ± 11 г. вступит в сезон «солнечная зима». «Весна» в Солнечной системе наступит только в начале XXII века. Отсутствия роста земной температуры и значимого повышения уровня Мирового океана в течение последних 18 лет подтверждают естественную солнечную природу изменений климата с квазидвухвековым циклом.

ЛУННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТКЛОНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ ОТ РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ И ПРИЧИН КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Х.И. Абдусаматов

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

Определения значений альbedo Бонда Земли на основе прямых измерений отраженной и рассеянной планетой доли энергии поступающего солнечного излучения во все направления с борта орбитального космического аппарата не могут выполняться достаточно надежно и с необходимой точностью. Единственным и наиболее перспективным местом в космосе, обеспечивающим более надежные и долговременные прямые высокоточные измерения вариаций альbedo Бонда Земли и других глобальных климатических параметров, является видимая поверхность Луны. Твердая поверхность Луны и медленное незначительное ее колебание при движении вокруг Земли делают ее поверхность идеальной стабильной платформой в космосе для установки оптических телескопов для проведения *астрономических* наблюдений, в том числе и Земли. Лунная обсерватория для исследований отклонения среднегодового энергетического баланса Земли от равновесного состояния и физических причин климатических изменений представляет собой систему двух одинаковых специальных оптических телескопов с диаметром главного зеркала 300 мм, снабженных подвижными козырьками (СОТ-300К). Телескопы СОТ-300К устанавливаются на высоте более 1000 мм над ровной площадкой поверхности вдоль узкой по широте экваториальной зоны на противоположных краях Луны, удаленных от ее видимого центра на $\pm(80.9^\circ \pm 0.1^\circ)$. Система двух СОТ-300К, осуществляя наблюдения Земли последовательно только в ночное время в местах установки телескопов непрерывно в течение 94% времени лунных суток, функционирует как единый телескоп. Лунная обсерватория обеспечивает комплексные измерения вариаций отраженного и рассеянного Землей потока солнечного излучения во все направления в диапазоне $\Delta\lambda = 0.2 \dots 4$ мкм, собственного теплового излучения Земли в диапазонах $\Delta\lambda = 4 \dots 100$ мкм и в наиболее значимом окне прозрачности атмосферы $\Delta\lambda = 8 \dots 13$ мкм. Кроме того, она осуществляет дистанционное зондирование Земли с поверхности Луны (ЗЗЛ) в заданных десяти узких интервалах спектра в диапазоне $\Delta\lambda = 0.2 \dots 3$ мкм. Каждый СОТ-300К снабжен коротким козырьком, снабженным возвратно-поступательным механизмом перемещения, размещаемым параллельно оптической оси над входным зрачком, для защиты оптических элементов в ночное время от опускающихся вертикально частиц лунной пыли (патент РФ № 155044). Наклон зеркал всегда под углом более 70° к поверхности при наблюдениях Земли дополнительно защитит их от осаждения частицами лунной пыли. При транспортировке козырек задвигается в пределы корпуса трубы, доведя продольные габариты СОТ-300К до безкозырькового состояния. Лунная обсерватория обеспечит получения важнейших недостающих крайне необходимых данных о вариациях комплекса глобальных климатических параметров, характеризующих и определяющих климат, а также состояниях земной поверхности, облачности, криосферы, растительности, содержании аэрозолей и озона всего земного шара с пространственным разрешением 6.5 км в течение не менее 11-летнего цикла Солнца. Это позволит надежно определять долговременные вариации поглощаемой и расходуемой планетой поступающую на внешнюю границу атмосферы среднегодовую энергию солнечного излучения и величины отклонения среднегодового энергетического баланса Земли от равновесного состояния, а также их зависимость от циклических вариаций солнечной постоянной. Долговременный ход и величина накопленного в Океане ежегодного избытка или дефицита поступившей энергии может надежно определять и предсказать направление и глубину предстоящего изменения климата с учётом грядущей вариации солнечной постоянной.

ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АНОМАЛИЯМИ НИЖНЕЙ ОБЛАЧНОСТИ И ВАРИАЦИЯМИ ПОТОКА ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

С.В. Веретененко

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

В работе проводится исследование природы корреляционных связей, наблюдаемых между состоянием нижней облачности по данным проекта ISCCP и вариациями потока галактических космических лучей (ГКЛ) в масштабе 11-летнего солнечного цикла. Показано, что в умеренных широтах (30-60°) северного и южного полушарий корреляция между аномалиями нижней облачности (LCA) и потоками ГКЛ имеет опосредованный характер и обусловлена влиянием ГКЛ на развитие внетропических барических систем (циклонов и ложбин), формирующих поле облачности. Нарушение положительной корреляции между аномалиями нижней облачности и вариациями ГКЛ, имевшее место в начале 2000-х гг. одновременно в северном и южном полушарии, совпало с изменением знака эффектов ГКЛ в тропосферной циркуляции. Показано, что возможной причиной обращения знака корреляции между интенсивностью внетропического циклогенеза и вариациями ГКЛ является изменение состояния стратосферного циркумполярного вихря, оказывающее существенное влияние на характер взаимодействия тропосферы и стратосферы. Наиболее высокие значения положительной корреляции LCA-ГКЛ наблюдались в период с начала 1980-х по середину 1990-х гг. при сильном циркумполярном вихре, когда увеличение потока ГКЛ сопровождается более интенсивным формированием циклонов на полярных фронтах умеренных широт. Приведены данные, свидетельствующие о резком ослаблении вихря в конце 1990-х – начале 2000-х гг. Результаты исследования подтверждают важную роль эволюции циркумполярного вихря как возможной причины временной изменчивости солнечно-атмосферных связей.

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ ПЕРЕПОЛЮСОВКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА НА ВЫСОТНЫЙ ХОД ГКЛ В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ

В.А. Воробьев

*ИГКЭ РОСГИДРОМЕТА и РАН, г. Москва, Россия,
v.vorobyev.igce@yandex.ru.*

Для обеспечения радиационной безопасности полетов космонавтов, а также экипажей и пассажиров сверхзвуковых самолетов была создана Служба контроля и прогноза радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве. Радиационный контроль в космосе осуществлялся спутниками «Метеор» с полярной орбитой, а радиационный контроль в стратосфере - радиометрическими радиозондами РРЗ, которые запускались на выбранной сети наземных и судовых аэрологических станций Госкомгидромета. В частности, они включали полярные станции в Арктике и Антарктиде, а также научно-исследовательские суда (НИС) и суда погоды (НИСП). Непрерывная регистрация космического излучения на спутниках «Метеор» позволила обнаружить многочисленные случаи, когда наблюдались пространственные неоднородности потоков солнечных космических лучей, вторгавшихся в полярную шапку Земли. Исследованы

вариации галактических космических лучей (ГКЛ) в полярной шапке с циклом солнечной активности. Одновременные измерения ГКЛ с энергией протонов больше 90 МэВ на высоте около 800 км (ИСЗ «Метеор») и вблизи границы атмосферы (радиозонды РРЗ) показали, что во время переполюсовки магнитного поля Солнца их отношение существенно меняется. В случае подтверждения эффекта, его необходимо учитывать при оценке влияния вариаций космических лучей на ионизацию полярной атмосферы и возможное влияние на изменение климата Арктики.

ПРОЯВИЛСЯ ЛИ 22-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД В ТВОРЧЕСТВЕ А.Л.ЧИЖЕВСКОГО?

Д.Л. Голованов¹, А.Л. Голованов²

¹ ГФ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
dm_golovanov@mail.ru;

² РФПОИИ «Гелиос», Россия, *golova2505@mail.ru.*

С именем Александра Леонидовича Чижевского связывают проявление влияния периодических изменений Солнечной активности в динамике всех геосфер: атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы (1). По оценке философа А.В. Водолагина (2), начал А.Л. Чижевский с анализа социально-исторической динамики, рассматривая ее не как ноосферу («сферу разума» – по В.И. Вернадскому (3)), а как сферу неразумия, человека не *homo sapiens* (человек разумный), а *homo insanus* (человек безумный), При этом историческая реальность предстает как сменупсихических эпидемий, продолжая в этом отношении линию А.И. Герцена («Доктор Крупов»). Таким образом, первый период творчества А.Л. Чижевского от рождения в 1897 году до защиты в 1918 году диссертации «Физические факторы исторического процесса» составляет именно 21 год. Второй период творчества ученого с 1920 по 1942 год (арест в эвакуации в Челябинске) связан с открытием биологической роли одной из активных форм кислорода (АФК), разработкой проблем искусственной ионизации воздуха («аэроионизации»). Третий период связан с открытием структурной упорядоченности эритроцитов в кровотоке, описанием электрических и магнитных свойств эритроцитов, сначала в условиях заключения на фельдшерском пункте Спаслага, затем на поселении в Караганде и после освобождения – в Москве (1942-1964). Любопытно, что всплески литературно-художественного творчества А.Л. Чижевского активизировалось и затухало с тем же периодом, но в противофазе с рационально-логическим.

[1] Голованов Л. В. Космический детерминизм Чижевского// Чижевский А. Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. М.: Мысль, 1995. С. 5-27.

[2] Водолагин А.В. Психопатология Всемирной истории <http://vodolagin-proff.narod.ru/esse/psychopatvsemistor.htm>.

[3] Вернадский В.И. .«Несколько слов о ноосфере» (1944).

ГЛОБАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТКЛИКА АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ, ВЫЗВАННАЯ ВАРИАЦИЯМИ ПОТОКА УФ РАДИАЦИИ СОЛНЦА В ЦИКЛЕ ЕГО АКТИВНОСТИ

А.А. Криволицкий, Л.А. Черепанова, А.В. Дементьева,
М.В. Банин

ЦАО РОСГИДРОМЕТА, г. Долгопрудный М.о., *alleven@yandex.ru*.

Средняя атмосфера, расположенная между тропопаузой и мезопаузой (~10–100 км), характеризуется интенсивным взаимодействием с солнечной ультрафиолетовой (УФ) радиацией. В работе проводится исследование температурного отклика тропосферы и средней атмосферы на изменения УФ радиации по модельным расчётам и данным наблюдений. С помощью численной модели общей циркуляции ARM (Atmospheric Research Model) [1], разработанной в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО, были построены глобальные поля температуры для минимума и максимума солнечной активности в 11-летнем солнечном цикле. ARM включает источник планетарных волн на поверхности Земли по эмпирическим данным. Также модель содержит параметризацию ИК-выхолаживания и нагрева солнечной УФ-радиацией. Для моделирования минимума и максимума солнечной активности были использованы амплитуды вариаций в различных спектральных интервалах, характерные для 21-го и 22-го циклов активности Солнца. Расчёты показывают слабый температурный ответ (с амплитудой порядка 1° – 2°) ниже 100 км при зональном усреднении температурного поля. В то же время в широтно-долготных проекциях поля температуры обнаружена волновая структура с заметной амплитудой: 16° , 18° и 9° на высотах 5, 30 и 70 км соответственно [2]. Для сопоставления с эмпирическими данными были использованы данные реанализа полей температуры ERA-20C и CIRES-20C на разных высотах в нескольких солнечных циклах. Температурный отклик на изменения солнечной активности в данных реанализа также имеет волновой характер со значительной амплитудой, равной или выше, чем в расчётах по модели ARM.

[1] А. А. Криволицкий, Л. А. Черепанова, А. В. Дементьева, А. И. Репнев, А. В. Ключникова, Глобальная циркуляция атмосферы Земли на высотах от 0 до 135 км, рассчитанная с помощью модели ARM. Учет вклада солнечной активности. Геомagnetизм и аэрономия, т.55, №6, 2015, doi: 10.7868/S0016794015060061.

[2] Krivolutsky, A. A., L. A. Cherepanova, and A. V. Dement'eva, Solar cycle influence on troposphere and middle atmosphere via ozone layer in the presence of planetary waves: Simulation with ARM, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 2015, doi:10.1002/2015JA021363.

ПАЛЕОКЛИМАТ ЗЕМЛИ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

В.А. Дергачев

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

Климат Земли на больших временных масштабах зависит от множества факторов, связанных как с внешними причинами, так и внутренними процессами, происходящими в недрах нашей планеты и на её поверхности. Наиболее разработанной и широко используемой в качестве внешней причины для изменения глобального климата являются астрономическая теория, связанная с колебаниями солнечной активности и солнечной радиации. Для прошлого примерно миллиона лет в изменении глобального климата имели место ледниково-межледниковые колебания на ~100-тысячелетних масштабах. Максимум последнего ледникового периода имел место примерно 20 тыс. лет назад. С момента его окончания отмечаются одновременные повышение температуры и содержание углекислого газа в земной атмосфере. После окончания последнего ледникового периода примерно 11.5 тыс. лет назад наступила современная межледниковая эпоха (голоцен) с относительно стабильным климатом. Остро встаёт вопрос определения времени окончания голоцена. Следует заметить, что естественное изменение климата в настоящее время действует совместно с вызванными человеком изменениями в климатической системе. Для расшифровки эволюции глобального климата с момента окончания последнего ледникового максимума, включая голоцен, и исследования изменчивости и вклада различных факторов, воздействующих на климат, анализируются природные архивы датированных данных, таких как годовые кольца и ледяные керны, озерные и океанические отложения, отложения торфа, с высоким разрешением. В работе особое внимание уделено колебаниям климата на интервале последнего миллиона лет и осцилляциям (потепления или похолодания) климата с момента окончания последнего ледникового периода. Представлены палеоклиматические доказательства прошлого влияния орбитального воздействия и солнечной изменчивости на климат Земли. Обращается внимание на существенное несоответствие между изменениями температуры в течение голоцена, выведенной из обилия палеоклиматических данных (тенденция похолодания), полученных в последнее время, и воспроизводимой в моделях климата (тенденция потепления). По детальным анализам многочисленных высокоширотных данных о температуре прошлых 2000 лет (главным образом, годовые кольца деревьев) прослежена долговременная тенденция похолодания в летней температуре, которая может быть обусловлена постепенным изменением положения Солнца и увеличением расстояния между Землей и Солнцем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ ВСПЫШЕК НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

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

*ЦАО Росгидромета, МО, г. Долгопрудны., Россия,
krivolutsky@mail.ru.*

Представлены результаты численного моделирования воздействия солнечных протонных вспышек на полярную атмосферу Земли. Моделирование основано на развитой концепции [1] дополнительного образования окислов азота и водорода в процессе ионизации воздуха при торможении солнечных протонов в атмосфере. При этом на каждую пару образовавшихся в атмосфере ионов образуется 1,25 атомов азота (которые затем конвертируются в молекулы окиси азота) и 2 молекулы радикала ОН. Далее эти компоненты интенсифицируют каталитические циклы разрушения озона (более детально см. [2]). Использована фотохимическая модель CHARM-I [3]. Необходимые для реализации численных сценариев компоненты глобальные поля компонент скорости ветра, а также поля температуры получены на каждый день года на основе расчетов по модели циркуляции ARM [4]. Выполнено моделирование воздействия наиболее мощных СПС 23-го цикла активности Солнца на озоносферу, температуру и циркуляцию полярных областей. Расчеты показали, что изменения (отрицательные) в содержании озона могут составлять в мезосфере 90%, причем эффект существенно зависит от сезона. В расчеты по модели общей циркуляции были заложены изменения озона под воздействием СПС. Расчеты показали, что полярная атмосфера охлаждается (на 5-10 град.) в области разрушения озона. Обнаружен эффект (увеличение температуры) в нижней термосфере, обусловленный изменением распространения ВГВ из тропосферы.

[1]Porter, H.S., C. Jackman, and A.E.S. Green. Efficiencies for production of atomic nitrogen and oxygen by relativistic proton impact in air, // J. Chem. Phys., V.65. P.154. 1976.

[2]Криволицкий А.А., Репнев А.И. Воздействие космических факторов на озоносферу Земли. М.: ГЕОС, 386 с., 2009.

[3]Криволицкий А.А., Черепанова Л.А., Репнев А.И., Вьюшкова Т.Ю. Трехмерная численная глобальная фотохимическая модель CHARM. Учет вклада солнечной активности. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, № 1, 2015.

[4]Криволицкий А.А., Черепанова Л.А., Вьюшкова Т.Ю., Репнев А.И., Ключникова А.В. Глобальная циркуляция атмосферы Земли на высотах 0-135 км, рассчитанная с помощью модели ARM. Учет вклада солнечной активности. Геомагнетизм и аэрономия, том 55, №6, 2015.

ИЗМЕНЕНИЯ В ОЗОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В ПЕРИОД ГЛУБОКОГО МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ПЕРИОД 2003-2010 гг. (ТРЕХМЕРНОЕ ФОТОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

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

*ЦАО РОСГИДРОМЕТ, МО, г. Долгопрудный, Россия,
kuan-2012@yandex.ru.*

Представлены результаты трехмерного фотохимического моделирования изменений сезонных глобальных распределений нейтральных (озон, окислы азота и др.) химических составляющих атмосферы Земли в 23 цикле активности Солнца. Рассматриваемый цикл обладал особенностью: его минимум был более продолжительным, чем обычно: с 1996 ПО 2008-09 г. (см. <http://www.sidc.be/silso/monthlyssnplot>). Кроме того, данные ИСЗ SORCE/SIM в период нисходящей фазы 23 ЦСА 2004-2008 гг. показали минимум УФИ в диапазоне 200-400 нм в 2-4 раза глубже, чем по измерениям и моделям более ранних циклов. Это уменьшение интенсивности в области УФИ скомпенсировано ростом SSI в видимом и ближнем ИК диапазоне. Изменения состава атмосферы, вызванные такими особенностями спектрального состава излучения Солнца показали значительное (до 10%) увеличение содержания атмосферного озона в мезосфере и нижней стратосфере. Изменения содержания NO_x неоднородны по высоте: расчеты показали рост концентраций в тропосфере и локальный максимум в нижней мезосфере высоких широт – около 5 %. Проведено обсуждение результатов моделирования.

ДИНАМИКА РЕГУЛЯРНЫХ И ЭПИЗОДИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (МАТЕРИАЛЫ ПРОЕКТА «ШУМАН»)

Ю.И. Кукса¹, Д. Теодосиев², И.Г. Шибаетов³

¹ ЦГЭМИ ИФЗ РАН, МО, г. Троицк, г. Москва, Россия;

² ИКИТ БАН, г. София, Болгария;

³ ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, ishib@izmiran.ru.

В работе представлен обзор результатов анализа данных мониторинга, проводимого в рамках проекта «Шуман» [1]. Магнитометрический комплекс регистрирует три магнитные компоненты, две электрические и огибающую акустического канала. Динамический диапазон по всем каналам 22 разряда с периодом квантования 0.5 сек. Для протяженных массивов данных приведены спектры магнитных компонент в различных частотных диапазонах. Временная динамика амплитуд спектральных компонент вычисляется применением преобразования Гильберта к соответствующей спектральной гармонике. Отмечены проявления длительности светового дня и влияния Луны на динамику суточных компонент. В области прикладных исследований показана связь максимумов суточных огибающих геомагнитных возмущений с моментами, когда частота сердечных сокращений и артериальное давление менялись в противофазе наиболее явно [2]. Зафиксированы прямые отклики на солнечные вспышки не только класса X, но и класса M. Отмечены моменты прохождения грозовых облаков над точкой наблюдения. В настоящее время в Троицке ведутся регулярные наблюдения геомагнитных вариаций в частотном диапазоне до 2 Гц. Предлагаемая работа демонстрирует возможности и качество этих данных.

[1] Ишков В.Н., Кукса Ю.И., Теодосиев Д., Шибаетов И.Г. Непосредственный отклик на солнечные вспышки по данным магнитометрического комплекса: проект "Шуман". /

Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: Солнечная и солнечно-земная физика 2010, Пулково, Санкт –Петербург, 3 – 9 октября 2010 г., с. 179-182.

[2]Исайкина О., Кукса Ю., Шибяев И. Оценка устойчивости артериального давления и пульса при изменениях геомагнитной активности и атмосферного давления / Proceedings of Ninth Scientific Conference with International Participation SES 2013, Sofia, Bulgaria, p. 36 – 42, 2014.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ CLOUD в ЦЕРНе

В.С. Махмутов

*ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия,
makhmutv@sci.lebedev.ru.*

Международный проект CLOUD, проводимый в ЦЕРНе, направлен на фундаментальные исследования роли потоков космических лучей и заряженных частиц, химических составляющих в формировании микрофизических характеристик земной атмосферы, в основных атмосферных процессах и, наконец, в процессе глобальных изменений облачности и климата на Земле. Основное внимание уделено экспериментальному и теоретическому исследованиям природы нуклеации в земной атмосфере - фундаментальному механизму, определяющему вышеперечисленные процессы. В докладе представлены результаты, полученные в международном проекте CLOUD.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

И.А. Миронова

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

В докладе предполагается сделать обзор современного состояния исследований в области ионизации атмосферы энергичными частицами и обзор механизмов воздействия энергичных частиц на атмосферу и климат Земли. В докладе будут рассмотрены различные источники энергичных частиц и их воздействие на атмосферу: мезосфера - стратосфера - тропосфера. В качестве основных источников ионизации атмосферы будут приняты во внимание галактические космические лучи, солнечные энергичные частицы, выпадающие во время солнечных событий, а так же потоки энергичных электронов. Все предлагаемые механизмы, с помощью которых эти энергичные частицы могут влиять на атмосферу и климат Земли будут детально обсуждаться. В том числе, отдельное внимание будет уделено химическим изменениям в верхних слоях атмосферы, химико-динамическим обратным связям, глобальной электрической цепи и формированию облаков.

КОСМИЧЕСКИЙ КЛИМАТ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ

Ю.А. Наговицын

ГАО РАН (Пулковская), Россия, nag@gao.spb.ru.

Космический климат – долговременные тенденции космической погоды или весь комплекс внешних по отношению к Земле космических факторов, способных оказывать влияние на ее климат. Основным таким фактором является солнечная активность. Произведена количественная оценка влияния солнечной активности на климат Земли. Показано, что общий вклад солнечной активности в изменения глобальной земной температуры невелик, но не пренебрежимо мал: порядка 20% дисперсии последней связано с солнечной активностью. Этот вклад в значительной степени зависит от временного масштаба: для циклических вариаций с периодами < 40-50 лет он меньше 5% (для 11-летних – около 1%), для времен порядка 80-90-летнего цикла Гляйсберга он начинает резко возрастать, достигая максимума (около 40-50%) для 200-летнего цикла Зюсса. Результаты получены с использованием целого ряда реконструкций временных вариаций земной температуры разных авторов и нескольких реконструкций изменения солнечной активности на различных временных шкалах.

ЯВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ПРОЦЕССОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОСФЕРАХ С НИЗКОЧАСТОТНОЙ (T=18.6 ГОДА) СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИЛИВНОГО КОЛЕБАНИЯ

К.А. Статников, Г.М. Крученицкий

МФТИ ГУ, МО, г. Долгопрудный, Россия, kos1301@mail.ru.

Известно, что приливные явления, наблюдаемые в океане и в меньшей степени в атмосфере, имеют широкий спектр, соответствующий периодам от нескольких часов до многих лет. Самое низкочастотное из известных приливных колебаний имеет период 18.6 года [1]. Анализ рядов наблюдений за состоянием атмосферы и литосферы показывает, что в этих геосферах имеет место параметрический резонанс [2] с указанным приливным колебанием. В атмосфере спектральный анализ рядов среднеглобального значения общего содержания озона (ОСО) показывает, что этот процесс обладает наряду с сезонной изменчивостью и изменчивостью долговременной со вторым и третьим обертонами возбуждающего колебания (37.2 и 55.8 лет). В частности, в озоносфере учет параметрического резонанса в регрессионной модели для среднеглобального значения полностью описывает долговременную изменчивость этого значения и делает линейный тренд настолько малым, что его статистическая значимость тонет в шуме, а этот шум (остатки сезонного и долговременного моделирования) имеют значение статистики Дарбина-Уотсона 1.99 и коэффициента детерминации приближения интегрированной периодограммы остатков прямой, проходящей через начало координат, ~95%, т.е. является белым. Причем эффект высокой детерминированности долговременной изменчивости ОСО обертонами параметрического резонанса настолько сильно выражен, что он легко просматривается не только для среднеглобального значения, но и для зональных средних и даже точечных наблюдений (Южный полюс). Физически механизм параметрического резонанса абсолютно прозрачен и основан на принципе Норманда-Добсона [3]. Аналогичный эффект имеет место и для среднеглобальной температуры: ее долговременная изменчивость, связанная с обертонами параметрического резонанса низкочастотных приливных колебаний полностью убирает тренд, который принято интерпретировать как следствие антропогенного выброса

парниковых газов в атмосферу [4]. Этот результат также представляется вполне физически осмысленным, т.к. приливные явления влияют на интенсивность вертикального теплопереноса в системе океан-атмосфера. И, наконец, обертоны параметрического резонанса легко обнаруживаются методами регрессионного анализа в ряду средненедельных значений магнитуды землетрясений, происходящих на Земле [5]. В этой же работе показано, что в литосфере параметрический резонанс обусловлен тем обстоятельством, что приливные колебания изменяют условия распространения афтершоков, как в твердой Земле, так и в океане, что приводит к более чем 80% детерминированности указанной магнитуды обертонами параметрического резонанса.

[1] *Марчук Г.И., Каган Б.А.* «Динамика океанских приливов», Л., Гидрометеоиздат, 1982, 359 с.

[2] *Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М.* «Механика», М., Физматгиз, с.103-109.

[3] *Перов С.П., Хргиан А.Х.* «Современные проблемы атмосферного озона», Л., Гидрометеоиздат, 1980, с.232-233/

[4] Third Assessment Report - Climate Change 2001 (<http://www.ipcc.ch/>).

[5] *К.А. Статников и Г.М. Крученицкий.* «Статистическое моделирование глобальной тектонической активности и некоторые физические следствия из его результатов».

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Ю.И. Стожков

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

Рассматриваются вопросы воздействия потоков заряженных частиц на атмосферные процессы и роль потоков этих частиц в глобальном изменении климата. Основной экспериментальный материал о потоках заряженных частиц в атмосфере получен сотрудниками Долгопрудненской научной станции ФИАН (лаборатория физики Солнца и космических лучей). Регулярные измерения потоков заряженных частиц в полярной атмосфере северных и южных (Антарктида) полярных широт и в атмосфере северных средних широт охватывают высоты от уровня Земли до (30 – 35) км. Эти измерения были начаты с середины 1957 г. и продолжаются по настоящее время. Однородный ряд данных о потоках заряженных частиц в земной атмосфере является уникальным в мировой науке. Космические лучи являются главным источником электрических зарядов в атмосфере и фактически ответственны за все атмосферные электрические явления: работу глобальной электрической цепи, образование облачности и грозовой облачности, образование грозových разрядов и др. В последнее время появились экспериментальные данные, указывающие на важную роль потоков заряженных частиц в процессе глобальных изменений климата.

«КОЛЕБАНИЯ СОЛНЦА» В ДИАПАЗОНЕ 297 НМ – 330 НМ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СТ. НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ (АНТАРКТИДА)

С.Н. Шаповалов, О.А. Трошичев, А.М. Безгрешнов

ГНЦ РФ ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, shapovalov@aari.ru, olegtro@aari.ru.

На ст. Новолазаревская в Антарктиде (70.46.62S, 011.49.43E) проводятся спектральные наблюдения флуктуаций солнечной УФ-радиации в зените атмосферы. (http://www.geophys.aari.ru/PPT_UV_AvaSpec.pdf). Результаты анализа данных за период с 2007 г. по 2015 г. показали, что в интенсивности радиации в диапазоне 297 – 330 нм имеют место колебания с периодом от нескольких минут до часов, при этом для утренних часов характерны высокочастотные флуктуации (3-10 мин), а для дневных – низкочастотные флуктуации (100 – 240 мин). Выявленная закономерность проявляется также и на соседних участках УФ спектра. Наблюдаемые в земной атмосфере флуктуации УФ излучения соответствуют частоте глобальных колебаний Солнца, как звезды, в диапазоне от *p*-моды до *g*-мод. Так, например, гармоника 3-10 мин, основная в периодограммах Фурье-анализа, соответствует максимуму спектра акустических колебаний Солнца (2.5 – 3.5 мкГц). Флуктуации солнечной УФ-радиации, тождественные спектру акустических колебаний Солнца, фиксируются в антарктической мезосфере и стратосфере вне зависимости от фазы цикла солнечной активности. Например, высокая корреляция содержания озона с радиоизлучением F10.7cm наблюдалась на протяжении всего 23-го цикла солнечной активности. Одновременные измерения солнечной УФ радиации, проводившиеся в период осеннего равноденствия (с 20.09.2013г. по 23.09.2013г) на станции Новолазаревская (Антарктика) и на НИС «Профессор Молчанов» в Арктике, показали высокую корреляцию флуктуаций УФ излучения в противоположных полушариях: $R \sim 0.9$ для флуктуаций с периодом $T = 3-7$ мин, $r \sim 0.7$ для $T=25$ мин, и $R \sim 0.65$ для $T=40-50$ мин. Эти результаты свидетельствуют о планетарном масштабе УФ флуктуаций на частотах акустических колебаний Солнца.

VARIABILITY OF THE SUN AND ITS TERRESTRIAL IMPACT (VARsITI) – THE CURRENT SCIENTIFIC PROGRAM OF THE SCIENTIFIC COMMITTEE FOR SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS (SCOSTEP)

K. Georgieva, K. Shiokawa, N. Gopalswamy

SRTI BAS, Sofia, Bulgaria, kgeorgieva@bas.bg.

The Scientific Committee on Solar Terrestrial Physics (SCOSTEP) is an interdisciplinary body of the International Council for Science (ICSU). Its principal task is to promote international interdisciplinary programs in solar-terrestrial physics, and to organize and coordinate such programs. The previous SCOSTEP's programs CAWSES (Climate and Weather of the Sun-Earth System), 2004-2008 and its continuation CAWSES II, 2009-2013, were devoted to discovering the important processes that connect changes at the solar surface with features in the geospace environment and ultimately with climate variability. Great progress was achieved towards this aim, and towards the possibility of the worldwide research community to access international data sets, distributed sensor networks, virtual observatories, advanced computational and visualization facilities, the most sophisticated Sun-to-Earth community models available, and to communicate with each other across discipline and national boundaries. However, during the last solar minimum in 2008-2009, the solar activity became extremely low. Then the next solar maximum of sunspot cycle 24 shows much lower activities compared with the previous two solar maxima in cycles 22 and 23, and in fact with any solar maximum since the beginning of the 20th century. This took most of the solar-terrestrial scientists by surprise, as the current solar dynamo theories are unable to predict the long-term solar activity variations. It is not clear whether the last deep solar minimum and the current low solar maximum may signal the end of the recent period of relatively high solar activity, and what long-term solar activity variations we can expect in the future. Moreover, it is not clear to which extent our present understanding of how the Sun influences the geospace, which is based on instrumental observations taken during only the recent period of possibly unusually high solar activity in the second half of the 20th century, will hold during periods of more moderate to low solar activity which may follow. And it is still more unclear how all this would affect global climate change. Four scientific projects are carried out in VarSITI: (1) Solar Evolution and Extrema (SEE), (2) International Study of Earth-Affecting Solar Transients (ISEST), (3) Specification and Prediction of the Coupled Inner-Magnetospheric Environment (SPeCIMEN), and (4) Role Of the Sun and the Middle atmosphere/thermosphere/ionosphere In Climate (ROSMIC). The goals of SEE are to reproduce the Sun's magnetic activity as observed in the sunspot and cosmogenic records in dynamo simulations, and to amalgamate the best current models and observations for solar spectral and wind output over the Earth's history; to estimate the future evolution of the solar activity, and to determine the size and expected frequency of extreme solar events such as flares and coronal mass ejections (CMEs). ISEST seeks to understand how CMEs and corotating interaction regions (CIRs) propagate and evolve, drive shocks and accelerate energetic particles in the heliosphere, and develop space weather prediction capability; to establish a database of Earth-affecting solar transient events including CMEs, CIRs, flares, and energetic particle events based on remote sensing and in-situ observations from an array of spacecraft, run observation campaigns, develop empirical, theoretical, and numerical models of CME propagation and prediction, validate models using observations. SPeCIMEN develops quantitative prediction and specification of the Earth's inner magnetospheric environment based on Sun/solar wind driving inputs through a combination of physical and statistical modeling, theory, and observations from various platforms. The task of ROSMIC is to understand the impact of the Sun on the terrestrial middle atmosphere/lower thermosphere/ionosphere and Earth's climate and its importance relative to anthropogenic forcing over various time scales from minutes to centuries.

СЕКЦИЯ «ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АТМОСФЕРУ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ КВАЗИДВУХЛЕТНИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ЗОНАЛЬНОГО ВЕТРА ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ СТРАТОСФЕРЫ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В АНТАРКТИКЕ

И.П. Габис

АНИИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, gabis@aari.nw.ru.

Квазидвухлетние осцилляции (КДО) доминируют в изменчивости атмосферных параметров (зонального ветра, температуры, общего содержания озона (ОСО) и др.) в тропических широтах. Экваториальные КДО зонального ветра, являясь существенной частью глобальной циркуляции земной атмосферы, оказывают сильное влияние на распределение озона в атмосфере средних и высоких широт. Значительный интерес представляет связь с КДО весенней депрессии озона («озоновой дыры») в Антарктике. От интенсивности весеннего понижения ОСО в южной полярной области зависит уровень озона в глобальном масштабе. Понижение температуры в антарктической стратосфере, связанное с уменьшением озона, ведет к изменению циркуляции и вызывает климатические изменения в полярной зоне. Это обуславливает важность прогноза межгодовых флуктуаций ОСО в Антарктике, амплитуда которых сопоставима с амплитудой многолетнего тренда ОСО. Анализ 60-летнего массива экспериментальных измерений скорости зонального ветра экваториальной стратосферы выявил дискретность цикла КДО (24, 30 или 36 месяцев). Нами показано, что изменения периода цикла КДО происходят вследствие изменения скорости спуска режима восточного ветра и определяются интенсивностью солнечного УФ излучения в течение именно этой фазы КДО цикла. Критически анализируется предполагаемая зависимость периода КДО от 11-летнего цикла солнечной активности. Полученные закономерности позволяют заблаговременно прогнозировать развитие КДО на два или пять последующих лет (в зависимости от периода текущего цикла). Показано, что достоверный долгосрочный прогноз КДО циклов дает возможность предсказывать изменения атмосферных параметров, зависящих от КДО, в том числе интенсивность весенней депрессии озона в Антарктике. Предлагаемая методика прогнозирования вариаций ОСО включает следующие этапы: 1) определение средних вариаций ОСО (модели) по имеющимся экспериментальным данным для разных типов сценария цикла КДО; 2) прогноз циклов КДО; 3) прогноз вариаций ОСО для соответствующих циклов КДО. Прогноз КДО, сделанный в 2014 году на 5 лет (вплоть до конца 2018), успешно оправдывается. На этот же срок действует прогноз межгодовых вариаций ОСО в Антарктике.

СЕКЦИЯ «ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ГРОВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА МИКРО-СПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»

А.В. Богомолов¹, В.В. Богомолов^{1,2}, Г.К. Гарипов¹,
В.М. Готлиб³, М.С. Долгонос³, С.И. Климов³,
П.Ю. Минаев³, М.И. Панасюк^{1,2}, А.С. Позаненко³,
С.И. Свертилов^{1,2}, И.В. Яшин¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, г. Москва,
Россия, aabboogg@rambler.ru;

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

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

На основе данных детектора гамма-излучения РГД и радиочастотного анализатора РЧА, работавших в составе комплекса научной аппаратуры «Гроза» на микроспутнике «Чибис-М», получена количественная оценка потока гамма-квантов, связанных с грозовым разрядом и регистрируемых за интервалы времени, перекрывающие длительность типичного всплеска атмосферного гамма-излучения (TGF) - < 3 мс. Отбор грозовых разрядов осуществлялся по показаниям прибора РЧА, регистрировавшим радиовсплески от гроз с высоким частотным разрешением. По триггеру РЧА фиксировались показания прибора РГД в режиме пофотонной записи. Для оценки верхнего предела интенсивности гамма-излучения осуществлялось суммирование числа отсчетов РГД в интервалах 1 и 3 мс от момента триггера по всем событиям РЧА. Полученный верхний предел потока гамма-квантов оказался много меньше величины, которая должна была получиться, исходя из интенсивности типичных TGF, наблюдающихся в экспериментах на космических обсерваториях RHESSI и Fermi. Получены оценки верхних пределов суммарной энергии и мощности гамма-излучения, генерируемого во время грозового разряда.

НАБЛЮДЕНИЕ ВСПЛЕСКА АТМОСФЕРНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВЫСОКИХ ШИРОТАХ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА РЭЛЕК НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ»

В.В. Богомолов^{1,2}, **М.И. Панасюк**^{1,2}, **С.И. Свертилов**^{1,2},
А.В. Богомолов¹, **Г.К. Гарипов**¹, **А.Ф. Июдин**¹,
П.А. Климов¹, **С.И. Климов**³, **Т.М. Мишинева**^{1,2},
П.Ю. Минаев³, **В.С. Морозенко**¹, **О.В. Морозов**¹,
А.С. Позаненко³, **А.В. Прохоров**¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ, г. Москва, Россия,
bogovit@rambler.ru;

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

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Обсуждаются результаты наблюдений всплесков атмосферного гамма-излучения в ходе космического эксперимента «РЭЛЕК» на спутнике «Вернов». Особое внимание уделено кандидату в атмосферные гамма-всплески, зарегистрированному на высоких широтах (40.7E, 77.6S). В состав комплекса научной аппаратуры (КНА) «РЭЛЕК» на спутнике «Вернов», запущенном 8 июля 2014 г., 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 с рабочим диапазоном энергий 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 $\sim 2 \text{ см}^2/\text{ср}$. Задачей космического эксперимента с прибором ДРГЭ является исследование явлений, имеющих быструю переменность, в частности, всплесков атмосферного гамма-излучения (TGF). В связи с этим в приборе предусмотрена передача как мониторинговой информации с временным разрешением 1 с, так и пособытийно, с фиксацией времени регистрации каждого гамма-кванта или электрона с точностью $\sim 15 \text{ мкс}$. Критерий отбора кандидатов в TGF требовал регистрации не менее 5 жестких квантов в течение 1 мс как минимум двумя независимыми детекторами при отсутствии значимых возрастаний в каналах регистрации электронов релятивистских и субрелятивистских энергий. Отобрано 5 кандидатов в TGF, удовлетворивших этому критерию. Детально обсуждается кандидат в гамма-всплески земного происхождения, зарегистрированный в приполярной области над Антарктидой.

ПРИБОР НГС ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-АИ»

**А.А. Вострухин, И.Г. Митрофанов, Д.В. Головин,
А.С. Козырев, М.Л. Литвак, А.В. Малахов,
М.И. Мокроусов, А.Б. Санин, В.И. Третьяков,
Ф.С. Федосов**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

В настоящий момент идет проектирование микроспутника Чибис-АИ, предназначенного для регистрации событий TGF. В состав полезной нагрузки микроспутника включен прибор НГС для регистрации нейтронной и гамма составляющих данного явления. Особенностью прибора является использование кристалла CeBr_3 для регистрации гамма квантов, а также пофотонная запись нейтронов и гамма квантов с микросекундным временным разрешением. В докладе приводится описание прибора, его научные цели, а также ожидаемые результаты наблюдений.

ОБНАРУЖЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ТЕХНОГЕННОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И ИНФРАКРАСНОГО СВЕЧЕНИЙ АТМОСФЕРЫ НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ»

**Г.К. Гарипов¹, М.И. Панасюк^{1,2}, С.И.Свертилов^{1,2},
В.В.Богомолов^{1,2}, В.О.Барина¹, К.Ю.Салеев^{1,2}**

¹ *НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
Россия, ggkmsu@yandex.ru;*

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

На малом космическом аппарате «Вернов» (солнечно-синхронная орбита, наклонение 98° , высота 640-830км) проводились исследования процессов генерации транзиентных явлений в верхней атмосфере Земли под воздействием потоков электронов и электромагнитных волн высокой и низкой частоты. При наблюдениях в надир в ночное время были зарегистрированы оптические сигналы искусственного происхождения, распределенные вдоль меридиана в протяженной области широт в северном и южном полушариях Земли, модулированные низкой частотой. В работе приводятся примеры осциллограмм таких сигналов и их глобальное распределение, рассматриваются результаты спектрального и фазового анализа осциллограмм сигналов в (УФ и ИК) диапазонах спектра. Обсуждается высота наблюдения источников излучения и наиболее распространенные компоненты атмосферы, ответственные за эти излучения. Особое внимание уделяется техногенным причинам возникновения свечения в ионосфере под воздействием на ионосферу радиостанций большой мощности, как низкой (НЧ), так и высокой (ВЧ) частоты.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: «ЧИБИС-АИ» И «ОБСТАНОВКА 2.1»

**М.С. Долгоносов, Л.М. Зелёный, В.М. Готлиб,
С.И. Климов, А.С. Косов, И.Г. Митрофанов**

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

Относительно недавно успешно завершил работу микроспутник «Чибис-М», который был нацелен на изучение высокоэнергичных процессов в атмосфере Земли. Сам по себе проект уникален рядом новаторских идей технологического плана. Во-первых, для запуска микроспутника были использованы возможности Международной космической станции. Во-вторых, комплекс научной аппаратуры на борту «Чибиса» покрывал широкий спектральный диапазон (от гамма-излучения до УКВ и ОНЧ диапазона частот), что позволило изучать различные аспекты исследуемого явления одновременно в разных длинах волн. Почти трехлетний опыт использования микроспутника показал, что наиболее эффективным прибором (с научной точки зрения) оказался радиочастотный анализатор, в котором была реализована триггерная схема детектирования «события»: широкополосного УКВ сигнала с характерной длительностью порядка нескольких микросекунд. За 32 месяца работы каталог событий, детектированных РЧА, составил всего около 392 событий. На основании данных, входящих в эту базу данных, получены карты распределения наиболее интенсивных грозных районов, характерные параметры наблюдаемых молний. Однако анализ данных, полученных «Чибисом», не позволяет окончательно ответить на вопросы о механизмах развития «молниевой» активности за счет высокоэнергичных процессов в атмосфере. Для ответа на актуальные вопросы, стоящие перед исследователями в настоящее время, необходимо реализовывать новые эксперименты с учетом имеющегося задела, о которых речь пойдет в настоящем докладе. Основное внимание будет уделено космическим проектам «Чибис-АИ» и «Обстановка 2.1», создаваемым в ИКИ РАН. Будет приведено обоснование целесообразности таких проектов, приведена общая схема эксперимента, технические характеристики комплекса научной аппаратуры, а также ожидаемые научные результаты.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ

А.А. Евтушенко, А.В. Стриковский

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, a_evtushenko@inbox.ru.

В конце XX века было открыто удивительное геофизическое явление – высотные разряды. Из целого семейства высотных разрядов наиболее интересным для исследования являются спрайты, вследствие своих размеров и места возникновения. Спрайты возникают на высоте от 60 до 90 км и их горизонтальный размер достигает 30 км, т.е. они захватывают мезопаузу – одну из самых малоизученных областей атмосферы и являются самыми объемными разрядами на Земле. Спрайты всесторонне исследуются - получено большое количество данных натурных измерений (спутниковые и наземные), разработано множество численных моделей. В то же время лабораторные эксперименты по моделированию спрайтов сильно затруднены. Основная сложность возникает вследствие большой вертикальной протяженности спрайтов. Из-за значительного перепада давления в верхней части реализуется диффузный разряд, а в нижней стримерный. В ИПФ РАН создана экспериментальная установка по моделированию разрядных явлений на основе вакуумной камеры диаметром 1,6 метра и длиной 2 метра. Градиент давления в камере реализуется посредством импульсного натекания рабочего газа (воздух). При расстоянии между

электродами ~ 1 метр удалось получить перепад давления в 8 раз. Получены интегральные фотографии разряда, состоящего из диффузной и стримерной частей, реализована высокоскоростная съемка разряда, смонтированы и опробованы системы диагностики.

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ КОМПАКТНОГО ВНУТРИОБЛАЧНОГО РАЗРЯДА

Д.И. Иудин, С.С. Давыденко

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, idiot64@gmail.com.

Работа посвящена фрактальным моделям молниевых разрядов, в частности, компактных внутриоблачных разрядов – наиболее мощных природных источников высокочастотного излучения в земной атмосфере. Среди всего многообразия проявлений молниевой активности компактные внутриоблачные разряды (в англоязычной литературе это явление носит название compact intracloud discharge, CID) образуют особый класс событий грозового цикла. Определение "компактный" было дано этим разрядам благодаря их малой пространственной протяженности, оцениваемой в сотни метров. С точки зрения приемной аппаратуры, компактный внутриоблачный разряд выглядит в дальней зоне как одиночный биполярный импульс электрического поля, называемый узким биполярным импульсом (в англоязычной литературе – narrow bipolar pulse) или узким биполярным событием (narrow bipolar event) с характерной длительностью от 10 до 30 микросекунд. Компактные разряды происходят существенно выше обычных молний в диапазоне высот от 8 до 17 км. Необычна также мощность (до десятков гигаватт), излучаемая ими в радиодиапазоне – эти разряды считаются самыми интенсивными на Земле естественными источниками радиоизлучения в КВ – УКВ диапазонах. Несмотря на обширные экспериментальные исследования и теоретические оценки и построения, проведенные с момента открытия этого типа разрядов в 80-е годы прошлого века, на сегодняшний день компактные внутриоблачные разряды остаются наиболее загадочным проявлением грозовой активности и считаются своеобразным вызовом для всех мировых центров, занимающихся электродинамикой активной атмосферы. В работе предложена новая модель компактного внутриоблачного разряда, рассматривающая его как результат взаимодействия двух (или более) биполярных стримерных структур, формирующихся в сильном крупномасштабном электрическом поле грозового облака. Модель предполагает две стадии развития компактного разряда. На предварительной стадии в грозовом облаке в области сильного электрического поля (в окрестности границы основного положительного и основного отрицательного слоёв пространственного заряда или основного положительного и отрицательного экранирующего слоёв) последовательно возникают две или более биполярные стримерные структуры. Время развития таких структур определяется характеристиками образующих их проводящих каналов и может достигать десятков миллисекунд. Пространственно-временная синхронизация биполярных стримерных структур обеспечивается высотной модуляцией электрического поля, возможным источником которой может служить, в частности, крупномасштабная турбулентность облачной среды или потоковая неустойчивость. Показано, что одиночная биполярная стримерная структура по мере своего развития накапливает вблизи своих концов значительные электрические заряды разного знака. Начало основной стадии компактного внутриоблачного разряда соответствует возникновению проводящего канала (пробоем промежутка) между развитыми стримерными структурами, при которой накопленный на смежных концах структур электрический заряд нейтрализуется за время, много меньшее длительности предварительной стадии. При этом параметры возникающего импульса тока хорошо согласуются с оценками тока компактного внутриоблачного разряда, полученными в приближении передающей линии.

ВНЕГРОЗОВЫЕ ТРАНЗИЕНТНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ИСЗ «ВЕРНОВ»

**П.А. Климов, В.С. Морозенко, Б.А. Хренов,
Г.К. Гарипов, М.А. Казначеева, М.И. Панасюк,
С.И. Свертилов, Р.Х. Холсворт**

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, pavel.klimov@gmail.com.

На данный момент существует устойчивая классификация транзиентных атмосферных явлений (ТАЯ): эльфы, спрайты, голубые струи и др. Согласно теоретическим моделям, описывающим возникновение ТАЯ, необходимым условием является наличие активной грозовой области. Однако вместе с этим существует целый ряд экспериментальных наблюдений кратковременных оптических вспышек на очень больших расстояниях от гроз. На спутниках МГУ «Университетский-Татьяна-2» и «Вернов» была установлена аппаратура для регистрации ТАЯ в УФ (240-400 нм) и красном-инфракрасном (>610 нм) диапазоне длин волн. В обоих детекторах происходил отбор событий по сигналу в УФ канале детектора, т.к. молнии излучают в УФ диапазоне слабее высоко атмосферных явлений. При первоначальной обработке данных спутника «Университетский-Татьяна-2» было замечено, что отдельные события происходят не над облачным покровом, т.е. вне грозовых областей. За счет более низкого порога регистрации на спутнике «Вернов», удалось увеличить статистику вспышек, зарегистрированных вдали от гроз. Для поиска таких событий использовались данные наземной сети регистрации молний WWLLN. Из числа всех измеренных на спутнике «Вернов» вспышек были отобраны такие, для которых не нашлось молний по данным сети WWLLN в течение длительного времени (± 30 мин от момента регистрации события) и на большой площади ($\sim 10^7$ км²). Характерными особенностями событий этого типа является: отсутствие значимого сигнала в ИК канале детектора; сравнительно небольшое число фотонов, выделенных в атмосфере во вспышке в УФ области ($< 5 \cdot 10^{21}$). Большая часть таких вспышек зарегистрирована в южном полушарии на высоких широтах (30°-60°) над океаном. Внегрозовые вспышки УФ свечения – возможно новый тип транзиентных явлений в атмосфере Земли, не связанный с наличием молниевой активности в области регистрации. В данной работе обсуждаются основные характеристики внегрозовых транзиентных явлений по данным спутника «Вернов»: временные профили, длительность, географическое распределение, энерговыделение а также обсуждаются возможные причины их возникновения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАРОЖДЕНИЯ МОЛНИИ В ПОДПОРОГОВЫХ РАЗРЯДАХ ИСКУССТВЕННОГО АЭРОЗОЛЬНОГО ОБЛАКА

**А.Ю. Костинский^{1,3}, В.С. Сысоев², Е.А. Мареев¹,
В.А. Раков⁴, Н.А. Богатов¹, М.Г. Андреев²,
М.У. Булатов², Д.И. Сухаревский²**

¹ ИППФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия;

² ВНИЦ ВЭИ, МО, г. Истра;

³ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия;

⁴ University of Florida, Gainesville, Florida, USA,
kostinsky@gmail.com.

В докладе описаны впервые обнаруженные новые внутриоблачные плазменные образования с параметрами плазмы, близкими к искровым разрядам, возникающие в искусственно созданном заряженном аэрозольном облаке отрицательной и положительной полярности [1,2,3]. Данные плазменные образования нельзя описать в терминах положительных и отрицательных лидеров и/или стримеров, хотя они активно взаимодействуют, а часто и порождают лидеры и стримеры различной полярности. Удалось зафиксировать данные плазменные образования с помощью чувствительной скоростной ИК-камеры (диапазон чувствительности 3÷5 мкм), синхронно с излучением в видимом диапазоне. Обнаруженные плазменные образования в аэрозольном облаке существенно отличаются от плазменных образований в аэрозольном облаке положительной полярности. Обнаруженные плазменные образования организованы в плазменные кластеры различной иерархии и структуры. Существует высокая вероятность, что подобные плазменные процессы происходят в облаках и при разрядах молнии. Выдвигается гипотеза об общей природе образования горячих плазменных каналов в подпороговых полях в грозовых разрядах, во внутриоблачных разрядах, в разрядах инициируемых разрядами молнии в верхней тропосфере и длинной искре. В качестве единого механизма предлагается на конечной стадии развития плазменных каналов - ионизационно-перегревной неустойчивость.

[1] A.Y. Kostinskiy, V.S. Syssoev, N.A. Bogatov, E.A. Mareev, M. G. Andreev, L. M. Makalsky, D. I. Sukharevsky, and V. A. Rakov (2015), Observations of a new class of electric discharges within artificial clouds of charged water droplets and its implication for lightning initiation within thunderclouds, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 16 October 2015 Pages 8165–8171. doi:10.1002/2015GL065620.

[2] A.Y. Kostinskiy, V. S. Syssoev, N. A. Bogatov, E. A. Mareev, M. G. Andreev, L.M. Makalsky, D.I. Sukharevsky, and V.A. Rakov (2015), Infrared images of bidirectional leaders produced by the cloud of charged water droplets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, Volume 120, Issue 20, 27 October 2015, Pages 10,728–10,735, doi:10.1002/2015JD023827.

[3] A.Y. Kostinskiy, V.S. Syssoev, E.A. Mareev, V.A. Rakov, M.G. Andreev, N.A. Bogatov. L.M. Makal'sky, D.I. Sukharevsky (2015), Electric discharges produced by clouds of charged water droplets in the presence of moving conducting object, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 135 (2015) p.36–41, doi:10.1016/j.jastp.2015.10.00606 .

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ГЛАВНОЙ СТАДИИ МОЛНИИ

Е.А. Мареев, В.А. Раков, Н.Н. Слюняев

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

Дан обзор актуальных и недостаточно исследованных проблем формирования так называемой главной стадии молнии, с которой связаны ее наиболее опасные проявления. Максимальный ток главной стадии, который для типичных отрицательных вспышек облако-земля составляет 30 кА и в отдельных случаях (особенно для положительных вспышек) достигает сотен кА, формируется в результате быстрого последовательного подключения к высокопроводящему каналу молнии множества участков коронного чехла, образовавшихся при распространении предшествующего лидера. Первая компонента отрицательной вспышки молнии, как правило, сопровождается ступенчатым лидером, тогда как последующие компоненты - стреловидным лидером. Основная часть доклада посвящена следующим вопросам: физика компонент отрицательной молниевой вспышки, физика стадии непрерывного тока и М-компоненты, моделирование возвратного удара с использованием уравнений газодинамики и уравнений длинной линии с меняющимися параметрами. Специальное внимание уделено вопросам дистанционного мониторинга характеристик главной стадии молнии, в том числе с помощью космических аппаратов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ КОРОТКИХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ RHESST

А. Позаненко, В. Выборнов, П. Минаев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Используя численное моделирование методом Монте-Карло, мы исследуем эффективность регистрации коротких транзиентных явлений в детекторах гамма-излучения. Моделирование нестационарных пуассоновских потоков наиболее адекватно описывает короткие транзиентные явления, такие как, например, гамма-всплески земного происхождения (TGF). Получены оценки различных приборных эффектов при регистрации мощных коротких транзиентных явлений в зависимости от формы и мощности импульса для детекторов эксперимента RHESST.

ЭКСПЕРИМЕНТ «КЛАСТЕР-Т» ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

**А. Позаненко¹, П. Минаев¹, Н. Веденькин²,
Н. Парцевский², Е. Фабер²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия;

² ЛАИ МГУ им. Ломоносова, г. Москва, Россия.

Обсуждается эксперимент Кластер-Т для регистрации, геолокации и исследование гамма-всплесков земного происхождения (TGF). До сих пор геолокация TGF проводится двумя способами, а именно, (1) с помощью триангуляция в сети WWLN близких по времени молниевых разрядов, регистрируемых этой сетью, или же (2) ограничение размером области подспутниковой точки порядка 600 км. В первом случае предполагается, то TGF действительно связаны с молниевой активностью и такая триангуляция возможно только там, где есть наземные станции WWLN, во втором случае точность локализации не позволяет выяснить физические параметры источника излучения TGF из-за существенного разброса оценки расстояния до него. Кроме того, область исследования существующими космическими аппаратами ограничена коротким временем пролета космическим аппаратом над областью грозовой активности, что не позволяет исследовать количество и распределение интенсивности TGF, генерируемых в таких областях. Эксперимент Кластер-Т состоящий из нескольких управляемых микроспутников, расположенных на расстоянии 50-100 км друг от друга поможет провести локализацию TGF используя только лишь данные, получаемые в гамма-диапазоне и увеличить время наблюдения грозовой активности из космоса в несколько раз.

RESULTS OF OBSERVATION OF ULTRAVIOLET AND INFRARED EMISSION FROM LIGHTNING DISCHARGES AT ARAGATS COSMIC STATION

**G. Garipov¹, A. Chilingarian², T. Karapetyan²,
D. Pokhsraryan², M. Panasyuk¹, S. Svertilov¹,
V. Bogomolov¹, K. Saleev¹**

¹ D.V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of .M.V. Lomonosov MSU,
Moscow, Russia;

² Yerevan Physics Institute, Alikhanyan Brothers 2, Yerevan 0036, Armenia.
ggkmsu@yandex.ru.

The report considers the detector for studies of ultraviolet and infrared radiation from lightning discharges and first results of lightning observation at high altitude Aragats Space Station. Spectral composition and temporal structure of the recorded optical signals and correspondent data obtained by detectors of electric fields, radio wave radiation and cosmic rays detectors are presented. Some results of measurements of lightning and related to them phenomena at the heights of the mountains and on the board of satellites are discussed.

**С Е К Ц И Я «ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В
АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ
КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ»
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

нет

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНОЙ РАДИОВОЛНЫ НА ПОВЕДЕНИЕ МЕЗОСФЕРНОГО ОЗОНА

С.З. Беккер, С.И. Козлов

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, susanna.bekker@gmail.com.

1. С 14 по 19 марта 2009 года была проведена серия экспериментов на известном нагревном стенде "Сура", описанных в работе Куликова Ю.Ю., Фролова В.Л., Григорьева Г.И. и др. (Отклик мезосферного озона на нагрев нижней ионосферы мощным КВ радиоизлучением // Геомагн. и аэрон. 2013. Т.53. №1. С. 102-109.). Нагрев ионосферы осуществлялся на частоте $f = 4,3$ МГц при $P_{эфф} = 80$ МВт в дневное время в районе местного полдня. Стенд работал в течение 3,5 часов в режиме: 30 мин нагрев - 30 мин пауза (4 сеанса нагрева, 3 паузы). По значениям суммарного трехчасового K_p -индекса за сутки магнитное поле было спокойным. Микроволновый озонотер с разрешением примерно 15 мин работал до, во время и после эксперимента. Во время эксперимента было зафиксировано падение $[O_3]$ на высоте $h = 60$ км на 15-17 % относительно начальных концентраций. В работе Куликова и др. это объясняется прохождением внутренних гравитационных волн, возникающих в Е-области, и приводящих к изменению температуры T и плотности воздуха. Цель настоящей работы – проанализировать, предложенный авторами механизм падения $[O_3]$, на основании классической фотохимии мезосферного озона. Кислородный цикл Чепмена является наиболее важным на мезосферных h , поэтому в уравнениях химической кинетики были учтены два процесса фотодиссоциации солнечным излучением O_2 и O_3 и две известные химические реакции, константы скоростей которых зависят от T . В качестве начальных параметров невозмущенной атмосферы были приняты $M = 6,4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $[O_2] = 0,21 \cdot M \text{ см}^{-3}$, $T_0 = 250$ К на $h = 60$ км. Будем считать, что плотность атмосферы остается постоянной при небольших изменениях T , необходимых для вариаций озона всего на 15-17%.

2. Естественно сначала предположить, что в атмосфере имеет место фотохимическое равновесие. В таком приближении получается, что для падения озона на 15-17 % на 60 км необходимо повысить T меньше, чем на 10 К, но это лежит в пределах естественных вариаций T . Из-за этого вызывает сомнение оцененная авторами 10 % точность измерения концентрации озона. К этому выводу приводит и анализ $[O_3]$, измеренных до начала эксперимента. Для полуденных часов на средних широтах значения $[O_3]$ занижены.

3. Как показывают многочисленные исследования, в искусственно-возмущенной D-области фотохимическое равновесие соблюдаться не будет. Для этих условий уравнения кинетики $d[O_3]/dt$ и $d[O]/dt$ были проинтегрированы при достаточно грубом допущении: при включении стенда температура нейтралов мгновенно повышается до некоторого значения T , а после его выключения (в паузе) сразу падает до T_0 . В качестве начальных величин для $[O_3]_0$ и $[O]_0$ использовались равновесные значения, полученные при $T_0 = 250$ К. Расчеты были проведены для $T = 260$ К и $T = 270$ К. Полученные результаты можно суммировать следующим образом: а) для понижения $[O_3]$ на 15-17% в конце эксперимента (3,5 часа) температуру нейтралов необходимо поднять на 15-17 К выше фоновой; б) ярко наблюдается эффект накопления воздействия; в) конечные оценки существенно зависят от начального отношения $[O]_0/[O_3]_0$. 4. В конечном счете идея, высказанная в работе Куликова и др. в

принципе имеет право на жизнь. Однако без расчетов параметров ВГВ, строгого определения фоновых значений O_3 ее пока нельзя признать в качестве основной. Следует также отметить, что точность измеряемых $[O_3]$, принимаемое осреднение его измерений и многие другие важные факторы проведения экспериментальных работ вызывают большое сомнение. Поэтому обнаруженное уменьшение $[O_3]$ является следствием отмеченных выше ошибок.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ (АТМОСФЕРА, ГИДРОСФЕРА И ПЛАЗМА)

В.Ю. Белашов

ФУ КГЭУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com.

Аналитически и численно исследуется динамика и взаимодействие вихревых структур в сплошных средах, в частности, в жидкости и плазме, в 2-мерной геометрии, когда для моделирования вихревого движения невязкой жидкости и плазмы применимы уравнения эйлерового типа. Для численного моделирования использовался специально модифицированный метод контурной динамики (КД). Было выполнено большое число серий численных экспериментов по изучению двухвихревого взаимодействия, взаимодействия N -вихревых систем, включая взаимодействие между вихревыми структурами и пылевыми частицами в плазме, а также взаимодействие 3-мерных плоско вращающихся вихревых структур в рамках плоскостной модели среды. Исследовались приложения полученных результатов к динамике вихревых структур в атмосфере, гидросфере и плазме, в частности: задача динамики эволюции синоптических и океанических вихрей циклонального типа, которые могут рассматриваться, как фронт завихренности, взаимодействие вихре-пылевых систем, а также динамика заряженных нитей, представляющих собой потоки заряженных частиц в однородном магнитном поле в рамках 2-мерной модели плазмы Тэйлора-Макнамара. Полученные результаты показывают, что во всех случаях, в зависимости от начальных условий конкретной задачи, могут наблюдаться два режима взаимодействия: слабое, с квазистационарной эволюцией вихревых структур, и активное взаимодействие с «фазовым перемешиванием», когда эволюция может приводить к формированию сложных форм вихревых областей. Теоретическое объяснение наблюдаемых в численных экспериментах эффектов представлено на основе введенного обобщенного критического параметра, определяющего качественный характер взаимодействия вихрей.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С АВРОРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ, ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Т. Карпачев

ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, karp@izmiran.ru.

Рассмотрены основные характеристики крупномасштабных квази-волновых возмущений (ВВ) ионосферной плазмы, связанных с авроральной активностью. Для этого использованы данные наземных ионозондов, системы радаров SuperDARN, а также спутников Интеркосмос-19, Космос-900 и CHAMP. Данные были получены во время сильных, средних и слабых магнитосферных возмущений. Эти данные позволили построить глобальную картину волновых возмущений в ионосфере во время магнитосферной бури. Исследованы характеристики авроральных источников волновых возмущений в ионосфере. Выделены

зависимости амплитуды ВВ от времени суток, сезона и высоты. В работе сделан акцент на слабо изученные аспекты глобальной картины волновых возмущений. Обсуждается так называемое явление “fast ionospheric dynamo”; наличие двух ВВ, которые распространяются с разными скоростями; обострение фронта крупномасштабного ВВ; асимметрия отклика ионосферы на магнитную суббурю во время равноденствия; дневной касп, как источник ВВ; распространение ВВ на большие высоты ионосферы (до 1000 км). Проводится сравнение полученной картины с моделью ВВ, разработанной в ИЗМИРАН. Обсуждается методика выделения слабых ВВ, которые не наблюдаются в рутинных измерениях.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МНОГОСПУТНИКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

**С.И. Климов¹, В.М. Готлиб¹, М.С. Долгоносов¹,
Д.И. Новиков¹, В.А. Пилипенко¹, С.С. Давыденко²,
Д.И. Иудин², В.В. Клименко², А.В. Костров²,
J-L Pincon³, M. Parrot³, F. Lefeuvre³, P.-L. Blelly⁴,
A. Marchaudon⁴, F. Pitout⁴, F. Forme⁴**

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

² ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия;

³ LPC2E, Orlean, France;

⁴ IRAP, Toulouse, France.

Перспективный проект «Многоспутниковые исследования атмосферно-ионосферных электрических связей» направлен на: - скоординированное формирование теоретической, методической и аппаратурной подготовки трёх микро-спутниковых миссий: российских «Чибис-АИ», «Трабант» и французского TARANIS; - обеспечение их наземной поддержки, с целью выяснения физической природы механизмов инициации электрических разрядов в атмосфере, их воздействия на околоземную среду. Основными объектами научных исследований проекта являются транзиентные (быстропротекающие) энергичные явления, наблюдающиеся в тропосфере и мезосфере Земли: земные гамма-вспышки (Terrestrial Gamma Flashes, TGF), транзиентные световые явления (Transient Luminous Events, TLE), а также компактные межоблачные разряды (compact intracloud discharge, CID). Для решения этих фундаментальных задач необходимо, в частности, дальнейшее развитие теории пробоя на убегающих электронах и разработка численных моделей распространения сигналов в диапазоне очень низких частот и крайне низких частот (ОНЧ и КНЧ) в волноводе Земля-ионосфера и их проникновения в магнитосферу. Необходимо исследование механизмов возбуждения грозowymi разрядами резонансных ЭМ структур в ионосфере, таких как Шумановский резонанс (ШР) и ионосферный альвеновский резонатор (ИАР). Должны быть проведены на основе спутниковых данных оценки эффективности утечки электромагнитной (ЭМ) энергии в верхнюю ионосферу и магнитосферу Земли, как от естественных источников (разряды молний, атмосферная турбулентность), так и от искусственных (линии электропередач, Power Line Harmonic Radiation, PLHR).

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (ПРЕЗЕНТАЦИЯ НОВОЙ КНИГИ)

В.В. Адушкин, С.И. Козлов, М.В. Сильников

ИДГ РАН, г. Москва, Россия;

НПО Специальных материалов, г. Санкт-Петербург, Россия, s_kozlov@inbox.ru.

1. В ближайшее время в издательстве «Наука» (г. Санкт-Петербург) выходит фундаментальная коллективная монография, в которой рассмотрены практически все аспекты ракетно-космической деятельности (РКД) и ее влияние на окружающую среду. После опубликования книги [1], примерно на аналогичную тематику, прошло более 16 лет. За это время, естественно, продолжалось интенсивное развитие ракетно-космической техники (РКТ) гражданского, оборонного и двойного назначения. Значительно увеличился объем экспериментальных данных по самым различным вопросам воздействий РКТ на окружающую среду. В ряде случаев изменились даже парадигмы исследований (например, по проблеме «космического мусора»). Был издан ряд книг по частным и близким вопросам к общей проблеме. В конечном счете такая ситуация и предопределила необходимость издания новой книги.

2. Монография состоит, помимо введения и заключения, из 14-ти глав:

1). Основные характеристики объектов и изделий РКТ, определяющие интенсивность и типы воздействий на окружающую среду;

2). Основные факторы воздействия РКТ на окружающую среду. Способы ограничения воздействий и защита от них;

3). Методы и средства контроля за изменениями природной среды при эксплуатации РКТ;

4). Воздействие РКТ на поверхность земли;

5). Воздействие РКТ на приземные слои атмосферы, тропосферу и нижнюю стратосферу;

6). Воздействие РКТ на озоновый слой Земли;

7). Воздействие запусков РКТ на ионосферу и верхнюю атмосферу;

8). Воздействие РКТ на околоземное пространство;

9). Оптические явления при запусках и эксплуатации РКТ;

10). Возмущения магнитного поля Земли при эксплуатации РКТ;

11). Техногенное загрязнение околоземного космического пространства;

12). Аварийные и нештатные ситуации, связанные с РКТ;

13). Экологические проблемы ликвидации устаревшей и сокращаемой РКТ;

14). Воздействие на окружающую среду ядерных источников энергии и ядерных ракетных двигателей. Дается краткая характеристика наиболее важных из полученных результатов исследований.

3. Основные выводы: а) в XXI-ом веке негативное воздействие РКТ на окружающую среду, за некоторым исключением, в целом не увеличилось; б) главная проблема – продолжающееся неуправляемое загрязнение космоса элементами РКТ самого разного размера; такая ситуация может привести к трем весьма негативным последствиям:

– к заметному сокращению (а в перспективе и к прекращению) деятельности человечества в космосе;

– к увеличению риска возникновения глобального ядерного конфликта;

– к влиянию на распространение солнечного излучения через космическое пространство, что в конечном счете вызовет непредсказуемые экологические эффекты для человечества.

[1]. Экологические проблемы и риски воздействий РКТ на окружающую природную среду.

Справочное пособие. Под редакцией В.В. Адушкина, С.И. Козлова, А.В. Петрова. М.: Изд. «Анкил». 2000. 640 с.

ЭФФЕКТЫ РАЗЛЕТА ВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ ОТ МОЩНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-1809

**В.М. Костин, Г.Г. Беляев, Ю.М. Михайлов,
Е.П. Трушкина, О.Я. Овчаренко, Я.П. Соболев**

ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, kostin@maryno.net.

Рассмотрены ионосферные возмущения над сильными тропическими циклонами (ТЦ), нагревным стендом «Сура» и СДВ передатчиками по данным спутника Космос-1809. Предложена модель баллистического разлета с высоты более 200 км нейтральных атомов в виде затопленной струи над ТЦ и точечного источника возбужденных надтепловых атомов из области ВЧ нагрева. Показано, что разлет возбужденных атомов из области воздействия, приводит к пространственному разделению атомов водорода, гелия и кислорода при их возвращении в нижнюю ионосферу. Зона разлета атомов кислорода составляет ~ 80 км, гелия ~ 300 км, водорода свыше 1000 км. Ионизация возбужденных атомов вызывает различные электромагнитные эффекты, которые регистрировались спутником Космос-1809. В отдельных случаях над ТЦ наблюдалось возбуждение колебаний с частотами ВГВ, что объясняется ударом возвратной струи по нижней ионосфере. Выделены моменты прохождения солнечной тени (терминатора) через возмущенные области. Над зонами воздействия СДВ-передатчиков (около Архангельска, Краснодара и Самары) и передатчика Зевс, где наблюдаются дополнительные потоки электронов и ионов, выявлены эффекты включения и выключения нагревного стенда Сура, а также возбуждение электромагнитных колебаний на частоте модуляции ВЧ излучения.

НЕЛИНЕЙНЫЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПЛАЗМЫ В D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ

А.И. Лаптухов, В.М. Сорокин

ИЗМИРАН г. Москва, Россия, a.laptukhov@mail.ru.

Показано, что в *D*-области ионосферы под действием электрического поля $E \sim 3$ В/м возможно развитие неустойчивости потенциальных низкочастотных колебаний с периодом порядка 1 мин. Это связано с тем, что частота прилипания электронов к молекулам при росте температуры электронов сначала возрастает, а затем, при температурах выше примерно 1000°К, убывает. В результате развития этой неустойчивости возможно образование периодических в пространстве стационарных структур в распределении плотности заряженных частиц и потенциального электрического поля с характерным периодом $L \sim 30$ м. Эти структуры возникают также в однородном плотном газе с однородным электрическим током и настолько малой плотностью заряженных частиц, что процессами рекомбинации и ионизации в равновесной плазме можно пренебречь по сравнению с процессом прилипания электронов к нейтральным атомам. Подчеркнем особо, что существование неоднородных слоёв плазмы и поля возможно только при отказе от использования приближения квазинейтральности плазмы. Таким образом, отказ от часто используемого приближения квазинейтральности плазмы позволяет найти дополнительный класс решений системы уравнений, описывающих структуру и динамику плазмы в реальной атмосфере. Существование полученных в работе плоских мелкомасштабных слоёв неоднородности атмосферной плазмы могут оказывать влияние на распространение радиоволн с длиной волны меньше или порядка пространственного периода $L \sim 30$ м.

ЦУНАМИ 26 ДЕКАБРЯ 2004 г. НА ОСТРОВЕ СУМАТРА КАК ИСТОЧНИК ВГВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Г.А. Михайлова, Ю.М. Михайлов, О.В. Капустина

ИЗМИРР им. Н.В.Пушкова РАН, Россия, yumikh@izmiran.ru.

Аномально сильные колебания морской поверхности (цунами), возбуждаемые мощными подводными землетрясениями с $M > 7$, способны генерировать акустико-гравитационные волны в атмосфере Земли и вызывать ионосферные возмущения на различных высотах. Можно оценить спектры этих возмущений по записям колебаний моря береговыми и глубоководными мареографами во время мощных ЗТ. Наиболее полно эти исследования выполнены во время землетрясения 26 декабря 2004 г. вблизи о-ва Суматра: $t_0 = 00.58$ UT (07.58:53 LT), $M = 9,1-9,3$; $h = 30$ км; $\varphi = 3,316^\circ\text{N}$, $\lambda = 95,854^\circ\text{E}$, в которых в спектрах волн цунами выделены устойчивые полосы колебаний в окрестности периодов $T \sim 37$ и 67 мин. Настоящая работа посвящена исследованию тонкой структуры спектров волн цунами в диапазоне внутренних гравитационных волн (ВГВ) во время этого глобального события. Выборочно использованы цифровые береговые записи колебаний моря вблизи источника цунами и на больших расстояниях от него. Спектральная плотность мощности (для краткости, спектр мощности) оценена классическим методом периодограмм с «окном» типа Хемминга на временном интервале четверо суток (с 25 по 28 декабря) с шагом по частоте $\Delta f \sim 6,781 \cdot 10^{-7}$ Гц отдельно собственно сигнала цунами и метеорологического шума перед ним. Обратное преобразование Фурье узких максимумов в спектральной плотности сигнала цунами позволило получить их временную форму. В спектрах мощности сигнала цунами близи эпицентра землетрясения в пункте Cocos, Australia, $\varphi = 12,07^\circ\text{S}$, $\lambda = 96,53^\circ\text{E}$, $r = 1720$ км четко выделились максимумы на частотах $f = (0,198; 0,302(0,308); 0,399(0,378); 0,691; 0,787; 0,810; 0,964; 1,067; 1,157)$ м Гц. Эти частоты, начиная с частоты 0,302 мГц, оказываются в окрестности модов естественных сфероидальных колебаний Земли, возбуждаемых сильными землетрясениями. Для сравнения этих спектров со спектрами того же цунами, зарегистрированного на больших расстояниях от ЗТ, был выполнен спектральный анализ девяти записей цунами. Получено, что в их спектрах преобладают колебания на частотах первых мод естественных колебаний Земли. Резонансная природа выделенных максимумов спектра нагляднее всего подтверждается их временными вариациями, которые имеют характерные особенности для колебательной системы. Результаты анализа спектров мощности сигналов цунами 26 декабря 2004г., зарегистрированных вблизи источника и в удаленных пунктах, позволяют сделать следующие выводы:

1. В спектрах мощности выделены узкополосные максимумы интенсивности ВГВ в полосе частот (0,2 -1,2) мГц с тонкой мультиплетной структурой.
2. Временные формы выделенных максимумов имеет характерную резонансную структуру.
3. Частоты максимумов спектров близко совпадают с частотами естественных сфероидальных колебаний Земли как планеты, вызванных сильным подводным землетрясением. Это позволило предложить возможную физическую модель возбуждения волн цунами как внутренних гравитационных волн в океане.
4. Изменение состава спектра и интенсивности спектральных компонентов в удаленных записях по сравнению с записями вблизи источника цунами указывает на наличие частотной зависимости функции распространения ВГВ в океанических волноводах.

НАБЛЮДЕНИЕ ШУМАНОВСКИХ И АЛЬВЕНОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ НА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКАХ

А.А. Плясов, В.В. Сурков, Н.С. Носикова

НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия, alex_plyasov@mail.ru.

В работе исследована возможность и эффективность наблюдения с помощью низкоорбитальных спутников возмущений ионосферного альфвеновского (ИАР) и шумановского резонансов. В рамках плоско-слоистой модели рассчитаны электромагнитные поля возмущений на ионосферных высотах и у поверхности земли для двух типов источников: одиночных молний и глобальной грозовой активности, которая рассматривается как стохастический пуассоновский процесс. Внутри ИАР рассчитаны спектры поперечных компонент магнитного поля альфвеновской и быстрой магнитозвуковой волны, порождаемых молниями между облаком и землёй, проанализировано отличие резонансных спектров, которые могут быть измерены на земле и на спутнике. Исследована возможность наблюдения ИАР на дневной и ночной сторонах ионосферы. Оценено влияние движения спутника на особенности регистрируемого спектра. В качестве примера рассчитан средний спектр мощности УНЧ возмущений, порождаемых глобальной грозовой активностью, на высотах низкоорбитального спутника. Для шумановских резонансов исследуется резонансная структура спектров мощности магнитных и электрических вариаций для полярных и экваториальных районов, а также зависимость этих спектров от дневных и ночных параметров ионосферы. Анализируется различие амплитуд и поляризации спектров, которые могут наблюдаться на земле и в ионосфере. Результаты расчётов хорошо согласуются с недавними наблюдениями электрических возмущений в ионосфере на спутнике C/NOFS. Проведённые теоретические исследования указывают на принципиальную возможность наблюдения шумановских резонансов и возмущений ИАР на спутниках.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Ю.Я. Ружин¹, В.А. Новиков²

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

² *Объединенный ИВТ РАН, Россия.*

Проблема вызванной сейсмичности в настоящее время является одной из самых дискутируемых в сейсмологии. С одной стороны, очевиден фундаментальный аспект исследования триггерных механизмов слабых воздействий различной физической природы на очаг землетрясения, а с другой – открываются новые возможности как исследования напряженно-деформированного состояния земной коры с целью прогноза катастрофических событий (землетрясений, горных ударов, оползней), так и создания технологии управления сейсмическим режимом с целью снижения сейсмической опасности. В этой связи особую значимость приобретают исследования взаимодействия электромагнитного поля с горными породами в субкритическом напряженном состоянии, которые были начаты в России на основе результатов, полученных на Памире и Северном Тянь-Шане при электромагнитном мониторинге земной коры с использованием импульсного МГД-генератора [Тарасов и др. 1999], которые с высокой степенью статистической достоверности показывают пространственно-временное изменение сейсмического режима под воздействием электромагнитных импульсов от МГД-генератора. Аналогичные результаты были получены

для естественных геомагнитных возмущений (магнитных бурь с внезапным началом) для регионов Северного Тянь-Шаня и Кавказа [Закржевская, Соболев 2000], а также региона Вранча, Румыния [Бахмутов и др. 2006]. Кроме того установлена связь суточной вариации сейсмического режима с локальной спокойной солнечно-суточной вариацией геомагнитного поля (Sq-вариацией) для различных районов земного шара (Китай, Италия, Греция, Калифорния, Австрия) [Duma, Ruzhin 2003]. Высказана гипотеза, что индуцированные теллурические токи в проводящей литосфере могут играть значимую роль в геодинамических процессах. С целью дальнейшего анализа возможного влияния геомагнитных бурь на сейсмичность нами был исследован каталог наиболее сильных Японских землетрясений ($M_b \geq 6.0$) за период с 2000 по 2005 г. Показано, что 50% всех мощных землетрясений, зафиксированных в Японии в этот период, произошли в течение 0-3 суток после начала бурь. Кроме того, статистически обнаружены локальные особенности вариации сейсмического режима в пределах Кавказского региона, которые свидетельствуют о том, что привносимые возмущения за счет индуцированных в земной коре токов магнитной вариации могут приводить как снижению порога инициирования землетрясения, так и к его повышению, а при некоторых условиях вообще не оказывать существенного влияния на сейсмический режим. Лабораторные эксперименты на пружинно-блочной модели, имитирующей сейсмогенный разлом, проведенные в ОИВТ РАН, подтверждают возможность инициирования сейсмического события импульсом электрического тока, протекающего через зону контакта тектонических плит.

- [1]Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В., Авагимов А.А., Зейгарник В.А. Воздействие мощных электромагнитных импульсов на сейсмичность Средней Азии и Казахстана//Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С. 152–160.
- [2]Закржевская Н.А., Соболев Г.А. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность //Физика Земли. 2002. № 4. С. 3–15.
- [3]Duma, G., Ruzhin, Y., Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq variations//Natural Hazards and Earth System Sciences., 2003. 3, pp. 171-177.
- [4]Бахмутов В.Г., Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Морфологические признаки в структуре геомагнитных вариаций в связи с землетрясениями в зоне Вранча//Геофизический журнал. 2006. Т. 28. № 1. С. 42–50.

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЦЕПИ

В.М. Сорокин

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

Рассмотрены результаты теоретических исследований воздействия глобальной токовой цепи на ионосферу. Рост электрического поля в ионосфере в процессе усиления тока в глобальной цепи стимулирует развитие плазменных неоднородностей. Увеличение электрического поля приводит к неустойчивости акустико-гравитационных волн (АГВ) в ионосфере. Эта неустойчивость связана с преобразованием выделяемого ионосферным током тепла в энергию волны. Источником энергии данной неустойчивости является ЭДС внешнего электрического поля. Величина критического поля определяется из равенства количества тепловой энергии возмущенного тока и количества энергии диссипации за счет магнитной вязкости. Экспоненциальный рост амплитуды АГВ в электрическом поле в ионосфере ограничивается процессом формирования вихря. Если величина электрического поля превышает пороговое значение, то происходит генерация уединенных дипольных вихревых структур в нижней ионосфере. Одновременно с возмущением плазмы в вихре

изменяется ее проводимость, что приводит к формированию в проводящем слое нижней ионосферы горизонтальных неоднородностей проводимости и вытянутых вдоль магнитного поля плазменных слоев. Возмущение электрического тока в глобальной цепи сопровождается возмущением концентрации электронов и ионов в *D*-области ионосферы в результате их переноса и нагрева. В верхней части слоя существуют свободные электроны, а в нижней его части – отрицательно заряженные ионы, которые возникают в результате быстрого прилипания электронов к нейтральным молекулам. При протекании электрического тока из-за переноса и смены типа носителей заряда возникает слой повышенной концентрации электронов вследствие того, что электроны не успевают прилипнуть к нейтральным молекулам на более низких высотах. Возмущение электрического тока приводит к модификации *E*-слоя, включая формирование спорадического слоя. Усиление электрического тока, протекающего между Землей и ионосферой, приводит к увеличению плотности плазмы в *E*-слое. Горизонтальное электрическое поле тока проводимости в ионосфере формирует тонкий слой концентрации электронов в результате дрейфа долгоживущих металлических ионов к центру возмущенной области. Этот слой может регистрироваться как аномальный спорадический *E*-слой. Усиление электрического тока и, связанное с ним, появление силы Ампера в *E*-слое ионосферы приводит к специфическому механизму фильтрации фоновых ВГВ, распространяющихся из атмосферы в ионосферу. В результате такого воздействия в ионосфере возникает дискретный спектр колебаний нижней ионосферы. Рассмотренные механизмы использованы для интерпретации ряда наблюдений плазменных и электромагнитных эффектов, сопровождающих рост сейсмической активности. К ним относятся УНЧ колебания, уширение спектра ОНЧ сигналов передатчиков, усиление электромагнитного излучения в КНЧ диапазоне регистрируемое на спутнике, депрессия геомагнитных пульсаций магнитосферных источников, формирование линейчатого спектра электромагнитных колебаний в УНЧ диапазоне, изменение частоты максимума шумановского резонанса, изменение фазы и амплитуды радиоволн отраженных от ионосферы, а также уменьшение периодов их флуктуаций.

НАЗЕМНЫЙ ОТКЛИК НА ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ МГД МОД АТМОСФЕРНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

**Е.Н. Федоров, Н.Г. Мазур, В.А. Пилипенко,
Е.Н. Ермакова**

ИФЗ, г. Москва, Россия, ENFedorov1@yandex.ru, ngmazur@mail.ru;

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru;

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

Для оценки эффективности импульсного электромагнитного взаимодействия в УНЧ диапазоне (от долей Гц до десятков Гц) между электрическими разрядами в атмосфере и верхней ионосферой разработана численная модель. Вертикальная структура модели построена с помощью модели IRI. Модель естественным образом учитывает наличие в верхней ионосфере ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) и БМЗ волновода. Молниевый разряд моделируется вертикальным электрическим диполем. Результаты моделирования показывают, что при молниевом разряде возбуждается сложная пространственная интерференционная структура, обусловленная возбуждением зацепленной волновой системы ИАР + БМЗ волновод. Поляризационная структура наблюдаемого на земной поверхности возмущения существенно меняется по мере удаления от источника.

ГЕНЕРАЦИЯ ЗОНАЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ ЗАМАГНИЧЕННЫМИ ВОЛНАМИ РОССБИ В ИОНОСФЕРЕ С ФОНОВЫМ СДВИГОВЫМ ТЕЧЕНИЕМ

О.А. Харшиладзе², Х. Чаргазия^{1,2}

¹ *ИПМ им. И.Н. Векуа Тбилисского ГУ им И.А. Джавахишвили, Грузия;*

² *ИГ им. М. З. Нодиа Тбилисского ГУ им И.А. Джавахишвили, Грузия,
hatuna.chargazia@gmail.com.*

Работа посвящена проблеме теоретического описания генерации зонального течения в турбулентной ионосфере, управляемым фоновым неоднородным ветром. Получено обобщенное уравнение типа Чарны-Обухова, описывающее нелинейное взаимодействие пяти разномасштабных мод: первичного, относительно коротковолнового ультра низкочастотного (УНЧ) замагниченного волны Россби (ЗВР) (волны накачки), двух спутников ЗВР, длинноволновой зональной моды и крупномасштабного фонового сдвигового течения (неоднородного ветра). Исследована роль нелинейных (скалярных, векторных) эффектов в формировании крупномасштабных зональных течений замагниченными волнами Россби конечной амплитуды в диссипативной ионосфере. Использован модифицированный параметрический подход. На основе численного решения и теоретического анализа соответствующей системы уравнений для амплитуд возмущений (обобщенной задачи на собственное значение) выявлены новые особенности перекачки энергии относительно мелкомасштабных УНЧ ЗВР и фонового сдвигового течения в энергию крупномасштабных зональных течений и нелинейной самоорганизации пяти волновой коллективной активности в ионосферной среде. Показано, что присутствие фонового сдвигового течения умеренной амплитуды увеличивает инкремент модуляционной неустойчивости и интенсифицирует генерации зонального течения, тогда как очень сильное сдвиговое течение заметно уменьшает инкремент модуляционной неустойчивости и может даже подавлять процесс генерации. Предложенная теория будет полезным для аналогичных исследований в космической и лабораторной плазме и для интерпретации наблюдений волн типа Россби в атмосферно-ионосферных слоях Земли.

АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН УКВ-ДИАПАЗОНА НАД СЕЙСМОАКТИВНЫМИ ОБЛАСТЯМИ

В.М. Сорокин, А.К. Яценко

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

В работе развита теория генерации электромагнитного излучения случайными электрическими разрядами в тропосфере и рассеяния УКВ радиоволны на этих разрядах. Непрерывный мониторинг электромагнитного УКВ излучения в течение трехлетнего периода показал, что область его генерации расположена в атмосфере на высотах 1-10 км над эпицентром сейсмической области. Излучение наблюдается в течение нескольких дней до главного толчка землетрясения. Регистрация УКВ сигналов передатчика за горизонтом показало, что их амплитуда значительно возрастает во время подготовки землетрясений в том случае, если их эпицентры расположены вблизи трассы распространения сигнала. В этот же период наблюдается усиление квазистатического электрического поля в ионосфере до величины порядка 10 мВ/м. Появление такого поля в ионосфере связано с протекающим электрическим током в атмосферно – ионосферной цепи. Расчеты показали, что электрическое поле тока проводимости, протекающего между атмосферой и ионосферой,

может достигать пробойного значения в области тропосферы на высотах до 10 км. Турбулентность атмосферы на этих высотах приводит к формированию случайных электрических разрядов. Эти электрические разряды являются источником УКВ излучения. Получена модель релаксации канала микрозаряда, позволяющая рассчитывать пространственно-временное распределение его проводимости в зависимости от параметров импульса тока разряда. Она включает эффекты диффузионного и конвективного переноса с использованием аксиально-симметричных уравнений теплопроводности, непрерывности, движения и состояния. Проведены расчеты спектра собственного электромагнитного излучения области тропосферы, охваченной случайными разрядами. Излучение имеет широкополосный характер и его амплитуда на частоте 50 МГц составляет ~10 мкВ/м. Рассмотрено рассеяние электромагнитной волны УКВ диапазона на статистически независимых электрических разрядах в тропосфере. Выведены уравнения и разработан метод расчета среднего значения поля электромагнитной волны рассеянной на случайных разрядах. Расчеты показали, что амплитуда поля рассеянной волны составляет порядка 1-10 мкВ/М, что значительно превышает амплитуду поля волны дифракции за линией горизонта. Проведенные расчеты амплитудных и частотных характеристик излучения разрядов показали их согласие с данными наблюдения. Результаты расчетов среднего значения поля передатчика за горизонтом подтверждаются данными наблюдения УКВ сигналов в сейсмической зоне.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ВАРИЦИИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НАКАНУНЕ МОЩНОГО ЧИЛИЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2010 г.

Л.М. Ишкова, Ю.Я. Ружин, И.Н. Бершадская

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

По данным сети станций GPS проведен анализ пространственно-временных вариаций полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы южно-американского региона в период подготовки мощного чилийского землетрясения в феврале 2010 г. (27.02.2010, 06:34UT, $\varphi=36.12^{\circ}\text{S}$, $\lambda=72.90^{\circ}\text{W}$, $M=8.8$). Проанализирован характер суточных вариаций величин ПЭС в период 17-27 февраля 2010 г. по отношению к соответствующим для данного времени суток десятидневным медианам (величины $\delta_{\text{ПЭС}}$, %) в долготном секторе 30° - 135°W в диапазоне широт 60°S - 60°N . Исследовано развитие в спокойных геомагнитных условиях на фоне форшоковой активности в этом регионе аномальных возмущений величин ПЭС в протяженных областях ионосферы. Так, 17-22 февраля имели место сильные положительные возмущения ПЭС, в ряде случаев до $+50\div 60\%$ относительно медианного уровня. Расстояния, на которых отмечались возмущения с величинами $\delta_{\text{ПЭС}} \geq 30\%$, достигали 2800 км в меридиональном направлении и от 4500 км (17, 18.02) до 8000 км (19.02, низкие широты). Отметим, что в соответствии с формулой Добровольского радиус зоны подготовки для землетрясения магнитудой $M=8.8$ мог превысить 6500км и полученный результат не является аномальным. После 22 февраля фаза положительных возмущений ПЭС сменилась фазой отрицательных возмущений, до $-30\div -46\%$ относительно медианного уровня. Расстояния, на которых отмечались такие возмущения, могли достигать 3800 км в меридиональном направлении (24.02), вдоль широтного круга – от 3200 до 4900 км (24.02). Сильные отрицательные возмущения, свыше -30% , имели место и после главного удара чилийского землетрясения (27 февраля) в диапазоне долгот 75° - 135°W и широт 40° - 20°S . Вблизи эпицентра они составляли -47% относительно медианного уровня. Сделан вывод о своеобразной реакции южно-американской ионосферы на процессы подготовки землетрясений в этом регионе в рассмотренный период. Отмечено соответствие характера вариаций $\delta_{\text{ПЭС}}$ пространственно-временной картине сейсмической активности в регионе, характеризовавшейся значительным количеством умеренных землетрясений вдоль Андийской сейсмической зоны в период 17-26 февраля, особенно интенсивных в зоне подготовки землетрясения с $M=6.3$ (27.02.2010, 15:45UT, $\varphi=24.87^{\circ}\text{S}$, $\lambda=65.60^{\circ}\text{W}$), произошедшего спустя несколько часов после главного удара чилийского землетрясения.

ТРИГГЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ТОКОВ: ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В.А. Новиков, В.И. Окунев, В.Н. Ключкин

Объединенный ИВТ РАН, Россия, novikov@ihed.ras.ru.

В ряде публикаций обсуждается возможная связь геомагнитных бурь и землетрясений и выдвинута гипотеза о триггерном влиянии геомагнитных возмущений на очаг землетрясения. При этом предполагается, что возмущения геомагнитного поля могут привести к изменению деформационных процессов в земной коре вследствие генерации дополнительных напряжений, достаточных для инициации землетрясения. Тем не менее, механизм такого взаимодействия неясен, хотя имеется в виду, что основную роль в нем должны играть теллурические токи, вариации которых во время магнитных бурь проявляются особенно сильно. С целью определения триггерного потенциала теллурических токов, протекающих в очаге землетрясения, проведено исследование поведения разломной зоны в субкритическом напряженно-деформированном состоянии при протекании через нее токов различной амплитуды и частоты на пружинно-блочной модели, имитирующей сейсмогенный разлом. Определены пороговые значения триггерного воздействия вариаций нормального давления в разломе, когда при достижении уровня сдвиговых напряжений в разломе до 0,98 - 0,99 от критического значения, включалось устройство, обеспечивающее уменьшение нормального давления (на 0,1 - 0,001%) в виде прямоугольных импульсов длительностью 0,5 - 5,0 с, подаваемых с интервалом 20 - 40 с. Уровень триггерного воздействия, после которого наблюдается срыв подвижного блока (лабораторное "землетрясение"), рассматривается как пороговый для данной модели. Получены пороговые значения вариаций нормального напряжения в имитаторе разлома, которые составляют 0,05 - 0,1%, что согласуется с результатами наблюдений динамической триггерной сейсмичности в полевых условиях при воздействии на очаг землетрясения сейсмических волн от удаленных сильных землетрясений. Данный результат подтверждает корректность использования такой пружинно-блочной модели для исследования триггерных явлений в сейсмогенном разломе, которая может обеспечить не только качественные, но и количественные результаты. На втором этапе экспериментов при пропускании импульса тока через модельный разлом продемонстрирована не только модуляция электрическим током акустической эмиссии в разломе, возрастающая по мере накопления сдвиговых напряжений, но и впервые продемонстрирована возможность электрического иницирования макрособытия (лабораторного "землетрясения") импульсом электрического тока. Показано, что такая инициация электрическим воздействием возможна только в области субкритического состояния системы, когда накопленные сдвиговые напряжения составляют 0,98 - 0,99 от критического значения, при котором происходит резкая подвижка блока. Минимальная плотность тока, иницирующего сейсмическое событие в модельных условиях, находится на уровне 20 А/м^2 , что примерно на 7 - 8 порядков превышает расчетную плотность теллурических токов во время магнитной бури, а также плотность тока для полевых экспериментов, полученную для Бишкекского геодинамического полигона при анализе отклика сейсмичности на импульсы МГД-генератора. Расчетные оценки показывают, что именно для такой плотности тока возможна генерация дополнительных напряжений в сейсмогенном разломе на уровне 0,05-0,1%, способных иницировать землетрясение. Таким образом, предполагаемый эффект отклика сейсмичности на вариации теллурических токов при магнитных бурях или импульсы тока от искусственного источника может объясняться либо контракцией тока в узких проводящих зонах разломов и резким повышением его плотности, либо наличием вторичных триггерных механизмов, таких как электромагнитная стимуляция миграции флюида в разлом, вызывающая снижение его прочностных свойств. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №15-55-53104.

ANOMALOUS VHF PROPAGATION ON THE BACKGROUND OF IMPENDING EARTHQUAKES

**D. Minakshi¹, Ananda Kumar Barbara¹, A. Depueva²
and Ya. Yu. Ruzhin²**

¹ *Department of Physics, Gauhati University, Guwahati, India;*

² *IZMIRAN, Russia.*

Some analytical approaches on the factors associated with an impending earthquake (EQ), that might lead to propagation of signal beyond the Line Of Sight (LOS) in sub-Himalayan environment are presented. The analysis is based on the VHF signal amplitude data received at Gauhati University (GU, 26 °N, 92 °E), transmitted from a FM station situated at Bhutan (27.05° N, 89.58° E), a location beyond the normal LOS range from the GU. The record shows that whenever a signal of significant strength is logged, it closely precedes an earthquake event and the reception comes to the normal status after the tremor, a phenomenon identified as EQ time precursor. The contribution of location - topography of the transmitter, receiver and epicenter in modifying the EQ induced atmospheric factors, is brought in to the ambit of analysis for explaining the observation. A special reference is made on the EQ time drop in temperature, increase in humidity and hence modification in Radio Refractive Index (RRI) gradient, in favoring over horizon VHF signal propagation. A model in support of the observation on EQ time lithosphere--atmosphere coupling relevant to widening of radio horizon limit is also proposed.

OBSERVATIONS OF SPORADIC Es – LAYER DURING SUNRISE IN MAGNETIC CONJUGATED HEMISPHERE

**Yu. Ya. Ruzhin, V.Yu. Kim, V.A.Panchenko,
V.P. Polimatidi**

IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia, ruzhin@izmiran.ru.

The topical problem of magnetically-conjugate relationships among various ionosphere regions is being studied intensively in its different aspects. In this respect, the wave contribution is of interest. The waves generated in the lower and middle atmosphere propagate upward and are dissipated and transformed in the upper atmosphere. It has not been clear yet what type of waves makes the most substantial contribution to the heating of the lower ionosphere (by dissipation) and what type of waves is transformed effectively into waves of other types. Among the factors resulting in the waves excitation we shall mention the supersonic motion of terminator at the ozonosphere level. A difference in temperature (by some 100°) and, hence, a difference in the values of other parameters (pressure, specific volume) occur in the region of terminator. As a result, the given process may be treated as excitation of a broad spectrum of acoustic waves. The vortices of various scales generate the Alfvén waves in a broad frequency band which propagate afterwards along geomagnetic field lines up to magnetically conjugated ionosphere. Several papers have been written about the observed relationship between night ionosphere disturbances and conjugate point sunrise. In this paper we present the results of the experimental research of plasma motion and variations of night-time ionospheric Es layer by Doppler sounding (and total electron content measurements) during the winter solstice. Doppler measurements in a mode of vertical sounding simultaneously on 4 frequencies were carried out by the IZMIRAN ionospheric facility "Basis-M" (provided signals reflection from Es- and F- layers of an ionosphere). To have total electron content

variations the data of GPS net are used. The data analysis has shown that in night-time (from 03 LT to 06 LT) the Es signal amplitude increase about 10 – 15 dB and it is proportional to increase in plasma electron density. Doppler measurements have shown the horizontal drifts (more than 10 m/sec) and upward movements of sporadic plasma clouds. The TEC measurements have indicated a complex behavior of night ionosphere during sunrise in the opposite hemisphere. Being combined these data definitely supports the hypothesis on partially reflected down coming Alfvénic waves generated in magnetic conjugated ionosphere by supersonic terminator motion. We are aware, however, of the necessity for additional studies in this direction, which should be aimed at specifying the frequency band of excited acoustic and Alfvén waves at various altitudes and the conditions of their propagation, dissipation, diffraction, transformation, etc.