Российская Академия Наук
ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН
ТРИНАДЦАТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ
12-16 февраля 2018
СПОНСОРЫ
25 ЛЕТ РФФИ
VarSITI
ИКИ
SCOSTEP
Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics

Воздействие космических факторов на атмосферу и климат Земли

Тринадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе"

12-16 февраля 2018 г., ИКИ РАН

©2018 Л.И. Мирошниченко[1,2]

Экстремальные протонные события в прошлом: Идентификация, источники и свойства

[1]ФГБУ науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г.о. Троицк, Москва

[2]НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Абстракт

Экстремально большие солнечные протонные события (СПС), случившиеся в исторически отдалённом прошлом, представляют несомненный интерес для понимания предельных возможностей Солнца как ускорителя солнечных космических лучей (СКЛ), а также для перспективного планирования космических экспедиций к Луне, Марсу и другим планетам Солнечной системы. Сведения о «древних» СПС хранятся в природных геофизических «архивах» в виде отложений нитратов (отрицательные ионы NO3) в полярных льдах (Гренландия и Антарктида) и/или в виде следов космогенных изотопов C-14 в кольцах деревьев, а также Be-10, Cl-36 и других **cosmogenic tracers** во льдах и отложениях на дне озёр и океанов. К настоящему времени различными методами (радиоуглерод, нитраты) с привлечением данных об изотопах Be-10 и Cl-36 получены данные о событиях **AD775, AD993, AD1859 (событие Кэррингтона)** и некоторых других.

В последние годы, однако, возникли серьёзные сомнения относительно достоверности (подлинности и надёжности) самих нитратных данных и ведутся ожесточённые споры об их пригодности для качественной идентификации и количественной интерпретации древних СПС. Критически анализируется ситуация, сложившаяся вокруг «древних» протонных событий: методологические проблемы, предельная энергия и частота солнечных вспышек, связь со свойствами солнечного динамо и т.п. Обсуждается возможность использования данных о древних СПС для улучшения методов прогноза радиационной обстановки в межпланетном пространстве.

СОЛНЕЧНОЕ ПРОТОННОЕ СОБЫТИЕ 20 ЯНВАРЯ 2005 ГОДА

(ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ)

©2018 Л. И. Мирошниченко[1,2], А.А. Криволуцкий[3], А.А. Куколева[3],

И.Н. Мягкова[2], Т.Ю. Вьюшкова[3]

[1]ИЗМИРАН, [2]НИИЯФ МГУ, [3]ЦАО

В *релятивистской* области энергий солнечное протонное событие (СПС) 20 января 2005 года оказалось самым большим событием типа Ground Level Enhancement (GLE69) почти за 50 лет, прошедших после пока не превзойдённого GLE05 23 февраля 1956 г. В *нерелятивистской* области, однако, GLE69 было не самым мощным событием 23-го цикла солнечной активности: максимальная интенсивность протонов с энергией выше 10 МэВ составила всего 1310 pfu (данные NOAA-GOES), тогда как предыдущее СПС 17 января 2005 г. (тоже GLE68) имело максимальную интенсивность 5040 pfu. В то же время, поскольку оно относилось к GLE событиям, то от него следовало ожидать эффектов и в нижних слоях земной атмосферы. По современным представлениям ионизация, вызываемая солнечными энергичными частицами (солнечными космическими лучами, СКЛ) при их торможении в полярных областях атмосферы Земли во время СПС, возмущает ионно-нейтральные фотохимические процессы, что приводит к дополнительному образованию окислов азота и водорода, разрушающих озон в стратосфере и мезосфере. Образование азотных окислов, имеющих большое (химическое) время жизни может приводить при этом к долговременным изменениям в озоносфере. В тоже время до последнего времени эффекты СПС связывали с содержанием нитратов в полярных льдах. Возникшая по этому вопросу дискуссия поставила под сомнение такую связь. В докладе представлены результаты фотохимического моделирования воздействия СПС 20 января 2005 года на озоносферу. Для реализации численного сценария была использована трехмерная глобальная фотохимическая модель, созданная в лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО, а также данные НИИЯФ МГУ по измерениям потоков СКЛ на спутнике CORONAS-F (по этим данным были рассчитаны скорости ионизации). Приведены рассчитанные изменения в содержании озона и окислов азота, вызванные данного СПС. Обсуждаются возможные причины недостаточного образования азотных окислов в нижней атмосфере.

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ А.Л. ЧИЖЕВСКОГО В СИСТЕМЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК

Голованов Д.Л.

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, dm_golovanov@mail.ru

С момента выхода в свет книги А.Л. Чижевского «Земное эхо солнечных бурь» (1973), наследие ученого привлекало внимание представителей самых разных направлений географической науки. По воспоминаниям К.Н. Дьяконова, на географическом факультете МГУ по инициативе К.В. Зворыкина сразу после выхода в свет этой монографии прошло широкое обсуждение проблемы солнечно-земных связей. Закон квантитативной компенсации в функциях биосферы А.Л. Чижевского, имеющий четкую географическую природу, вошел в число немногих «сквозных» законов географии (Дьяконов, 1997). Наследие А.Л. Чижевского обсуждалось и развивалось на чтениях в МОИП, РГО, Всесоюзной ассоциации прогнозистов.

Наряду с внедрением идей космизма в научную теорию и практику на волне успехов в освоении космического пространства и активного использования спутниковой информации, определенный скептицизм привел к негласным ведомственным запретам использования данных о солнечной активности в оперативном прогнозе погоды. Книга А.В. Дьякова (1953/2011), написаннная в 50-е годы, увидела свет лишь в 2011 году к столетию со дня рождения автора, благодаря усилиям его сына Фламмариона. В последнее время, благодаря прямым спутниковым наблюдениям за солнечной постоянной на внешней границе атмосферы, была установлена ее четкая взаимосвязь с солнечной активностью, что, по мнению А.В. Кислова (2011), позволяет найти рациональное объяснение многим феноменам солнечно-земных связей.

11-летняя цикличность проявляется в геодинамике (Касьянова, 2003), дендрохронологии (Ловелиус, 2007) и в экономической географии (Бабурин, 2010)

Такие направления, как хронобиология и хрономедицина нашли свое оформление в виде комиссии при президиуме РАН. На наш взгляд, пришло время и для оформления такого направления как ХРОНОГЕОГРАФИЯ (Time Geography и/или гелиогеография, астрогеография – Дьяконов, Ретеюм, 2016) в виде комиссии РАН и/или журнала, вокруг которых объединятся продолжатели дела А.Л. Чижевского. Хроногеография, в отличие от палеогеографии, но используя достижения последней, должна быть ориентирована, прежде всего, на прогноз.

1. Бабурин В.Л. Инновационные циклы в российской экономике. Изд. 4-е, испр. и доп *М.: КРАСАНД*, 2010. 216 с. ISBN 978-5-396-00131-2
2. Дьяков А.В. Предвидение погоды на длительные сроки на энерго-климатологической основе. 2011. (Темир-Тау,1953).
3. Дьяконов К.Н. Роль идей А.Л. Чижевского в развитии теории физической географии // Материалы юбилейной сессии РАЕН «Леонардо Да Винчи XX века». К 100-летию А.Л.Чижевского, М.: Издательство МГУ, 1997. С. 129-130
4. Дьяконов К.Н., Ретеюм А.Ю. Астрогеография природных аномалий // Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2016. № 6, с. 176-183.
5. Касимов Н.С. Значение идей А.Л. Чижевского для укрепления единства географической науки //Развитие идей А.Л. Чижевского в науках о жизни, обществе и Земле. Материалы чтений. М.: Гелиос, Москва, с. 3-6.
6. Касьянова Н.А. Экологические риски и геодинамика. М.: Научный мир, 2003.
7. Кислов А.В. Климатология. Учебник для студентов учреждений высш. проф. образования. — М.: Издательский центр "Академия", 2011. — 224 с.
8. Ловелиус Н.В. Дендроиндикация. Dendroindication / Н.В. Ловелиус - С.Пб.: Изд-во Петровской академии наук и искусств, 2000. 313 с.
9. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. — М.: Мысль, 1973. — 352 с.

К 100-ЛЕТИЮ ЗАЩИТЫ А.Л. ЧИЖЕВСКИМ ДИССЕРТАЦИИ "ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ИСТОРИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА"

Голованов А.Л., Голованов Д.Л., Голованова О.Д.
Благотворительный фонд «Гелиос», golova2505@mail.ru

100 лет назад в нетопленной аудитории Московского университета состоялась защита А.Л. Чижевским диссертации «Физические факторы исторического процесса». Членами ученого совета были крупнейшие отечественные историки того времени – академик Сергей Платонов, профессора Николай Киреев, Александр Успенский. Не все были согласны с выводами автора, но решили присудить ему докторскую степень. В Советское время работа либо замалчивалась, либо подвергалась нелицеприятной критике (Тимирязев, 1918, Завадовский, 1935; Иоффе, 1940; Ерохин, 1964).

После снятия идеологических запретов в 1990-е годы наблюдался экспоненциальный рост числа публикаций, посвященных развитию наследия А.Л. Чижевского. Пик их пришелся на 1997 год – столетнюю годовщину со дня рождения ученого. К этому времени Л.В. Голованом без купюр были опубликованы труды А.Л. Чижевского. Им же впервые в 2002 году была организована конференция «Космос и мировая история».

Периодичность активизации социально-политических событий прошедшего столетия заставляет вернуться к этому разделу наследия ученого. Не только революции 1905-1907 и 1917 годов разделяет 11 лет и приходятся они на пики чисел Вольфа. И в недавнем прошлом пик социальной активности в 2013-2015 году на Украине произошел ровно через 22 года после событий в России в 1991-1993 годах. Насколько 22-х летний цикл обусловлен солнечной активностью? Не есть ли это результат смены поколений, проходящих одни и те же социальные стадии?

Что ждет нас впереди? Ведь выборы 2018 года проходят спустя ровно 22 года после выборов 1996 года. Не ждать ли повтора последовательности событий: непростая победа на президентских выборах над представителем левых сил (1996<=>2018), экономический кризис (1998<=>2020), неожиданный преемник 1999/2000 <=> 2021/2022?

Литература.

1. Голованов Л.В. Космический детерминизм Чижевского // Чижевский А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. М.: Мысль 1999. С. 5-24.
2. Голованов Л.В., Голованов А.Л. "Гримасы Солнца" и историометрия Александра Чижевского // Чижевский А.Л. Солнечный пульс жизни. Москва: Айрис-Пресс, 2015. С. 17-25.
3. Ерохин А. Темные пятна // Партийная жизнь. 1964 № 24. С.66-69.
4. Завадовский Б.М. Враг под маской ученого // Правда. 1935. №
5. Захаров М. Л. Концепция «гелиотараксии» в философии истории А. Л.Чижевского. — СПб.: Изд-во СПб академии управления и экономики, 2009. — 147 с.
6. Карнаух В. К. Космические циклы и социальные ритмы: концепция А. Л. Чижевского / Деятели русской науки XIX—XX веков. — Вып. I. — СПб., 2001. — С. 122—137.
7. Космос и мировая история// Сборник материалов Международной научной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения классика естествознания А. Л. Чижевского (1897—1964). М., 2003.
8. Чижевский А.Л. Физические факторы исторического процесса. Калуга, 1924. 24 с.
9. Чижевский А. Л. Аэроионы и жизнь. Беседы с Циолковским / Сост., вступ. ст., комментарии, подбор илл. Л. В. Голованова. — М.: Мысль, 1994. — 735 с.
10. Чижевский А. Л. На берегу Вселенной: Годы дружбы с Циолковским. Воспоминания / Сост., вступ. ст., комментарии, подбор илл. Л. В. Голованова. М.: Мысль, 1993. 735 с.
11. Чижевский А. Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия / Сост., вступ. ст., комментарии, подбор илл. Л. В. Голованова. М.: Мысль, 1995. 767 с.

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ В ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

А.А. Криволуцкий[1], И.А. Миронова[2]

1. ЦАО, Росгидромет, г. Долгопрудный. Россия,alexei.krivolutsky@rambler.ru
2. СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, i.a.mironova@spbu.ru

Серебристые облака (Noctilucent clouds - NLC), также известные как полярные мезосферные облака (Polar Mesospheric Clouds - PMC), являются явлением, наблюдаемым в полярных широтах в летний сезон. Эти оптически тонкие облака расположены в районе мезопаузы на высоте около 80 км. Данная работа была направлена на изучение поведения серебристых облаков во время солнечных протонных событий и во время нескольких солнечных циклов.

Работы была мотивирована следующим:
- Доступность к данным о структуре NLC/PMC и ее изменчивости.
- Разработанная с хема воздействия высыпающихся энергичных частицы, во время солнечных протонных событий и в циклах солнечной активности, через индицирование ионизации и изменение химического состава мезосферы.
- NLC/PMC являются чувствительным индикатором атмосферной изменчивости.
- Формирование NLC/PMC до конца не ясно и есть достаточное количество работ основанных на корреляционном анализе вариаций NLC/PMC и отдельных солнечных протонных событий, а также изменение свойств NLC/PMC во время солнечного цикла.

Численные расчеты по моделям ЦАО показали, что резкое уменьшение температур в области мезопаузы, являющееся следствием изменений скоростей ионизации атмосферы во время солнечных протонных событий и вариаций химического состава атмосферы, ведет к разрушению облачной мыссы и изменению частоты формирования NLC/PMC.

ИОНИЗАЦИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ В ОЗОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ НАИБОЛЕЕ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ 24-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Мягкова И.Н.[1], **Криволуцкий А.А.**[2], **Вьюшкова Т.Ю.**[2], **Куколева А.А.**[2]

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

2 – Центральная Аэрологическая Обсерватория, г. Долгопрудный, Россия

Как известно, Солнечные Протонные События (СПС) - потоки протонов, вызванные вспышками, и достигшие орбиты Земли, оказывают существенное влияние на околоземное космическое пространство, ионосферу и атмосферу Земли. Солнечные протоны проникают в атмосферу Земли в полярных шапках и вызывают ионизацию и изменение её химического состава. Реакция озонового слоя в средней атмосфере зависит как от интенсивности потока солнечных протонов, так и от жесткости их спектра, и от положения границы проникновения протонов в магнитосферу Земли, поскольку на главной фазе геомагнитной бури происходит расширение полярных шапок - области проникновения солнечных протонов. Прямые измерения границ проникновения солнечных протонов обеспечивают спутники с полярными круговыми орбитами, такие, например, как российские спутники серии Метеор-М.

В настоящей работе представлен обзор наиболее мощных протонных событий текущего 24-го цикла солнечной активности. Дано сравнительное описание солнечных протонных событий марта 2012 и сентября 2017 года, представлены результаты численных расчетов результатов воздействия солнечных протонов на нижнюю ионосферу и озоносферу Земли.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ИОНОСФЕРУ ПРИ ВОЗМУЩЕНИИ СТРАТОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-1809

В.М. Костин, Г.Г. Беляев, О.Я. Овчаренко, Е.П. Трушкина

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, kostin@maryno.net

Проанализированы данные спутника Космос-1809 с 1991 по 1993 год после извержения супер вулканов Пинатубо и Худсон в 1991 г. Показано, что понижение на 0,5° температуры на Земле в течение 4-х лет сопровождалось понижением средней плотности плазмы (Ne) в верхней ионосфере. Возникновение аномальных локальных областей экваториальной ионосферы как с повышенной, так и пониженной Ne, как правило, связаны с воздействием тропических циклонов (ТЦ). Особенностью ТЦ в этот период было то, что они формировались в северном полушарии в виде непрерывной последовательности. Выделено несколько типов взаимодействующих ТЦ. Наибольшей вероятностью обладали события, когда на фазе спада интенсивности одного ТЦ на удалении ~2500 км по стратосферному потоку усиливался следующий ТЦ. При сближении двух ТЦ на расстояние менее 1400 км они начинали вращаться около общего центра (эффект Fujiwhara). Сложные структуры в ионосфере наблюдались при взаимодействии вихрей с окружающими атмосферными структурами и островами. Отличительной ионосферной особенностью взаимодействующих ТЦ от одиночных ТЦ было то, что дополнительный max Ne смещен от зенита центра ТЦ, как и центр стратосферного антициклона. Структуры электрических полей и локализация возбуждения КНЧ-ОНЧ колебаний различаются над взаимодействующими и одиночными ТЦ, которые были рассмотрены ранее в работах авторов. Предложена модель распространения акустических колебаний, самосогласованная со структурами ТЦ, которая качественно объясняет наблюдаемые эффекты. Одним из подтверждений предлагаемой модели может служить последствие эксперимента на полигоне в Неваде 23.09.92 (опыт Divider), в котором из-за акустического воздействия от подземного ядерного взрыва три урагана в акватории Атлантического океана на следующий день резко изменили свою траекторию. Траектории остальных семи ТЦ в акваториях Индийского и Тихого океанов, ионосферные эффекты от которых наблюдались 24.09.92, не испытали такого резкого изменения. Полученные результаты могут помочь синоптикам в решении большой прогностической проблемы развития взаимодействующих между собой ТЦ.

КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ И ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ЗЕМЛИ

Костров А.В.

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

Одним из основных вопросов в образовании глобальной электрической цепи Земли (ГЭЦЗ) является определение условий формирования источника электричества, который достаточно стабильно поддерживает разность потенциалов между ионосферой и Землей. Согласно современным представлениям основное «сердце атмосферной электрической машины – грозовое облако». Считается, что электрические заряды в облаках образуются при столкновениях аэрозолей, находящихся в разных агрегатных состояниях и разделение зарядов происходит при взаимодействии заряженных частиц с конвективным потоком воздуха. Разноименные заряженные частицы имеют существенно разные массы, так что скорости падения положительных и отрицательных зарядов существенно различаются. Таким образом, делается попытка получить дипольное строение грозовых облаков.

В настоящей работе предлагается рассмотреть модель ГЭЦЗ, которая неразрывно связана с электрическими процессами в атмосфере, ионосфере и космической плазме.

Хорошо известно, что процесс зарядки различных тел (зонды, пыль) помещенных в плазму осуществляется более подвижной компонентой, и в классической плазме, как правило, это электроны. Космическая плазма, в которой находится наша планета Земля состоит из ионов, электронов и отрицательно заряженной пыли. Космическая пыль в отличие от электронов и ионов беспрепятственно проникает через магнитное поле и атмосферу и заряжает отрицательно поверхность Земли. Стационарное электрическое состояние достигается при равенстве положительного и отрицательного тока на Землю. Положительный ток на Землю осуществляется за счет ионов из космической плазмы, которые проникают в атмосферу через северные и южные широты до высот порядка 100км, где частота столкновений с нейтралами значительно превышает ионную циклотронную частоту. Эти ионы могут двигаться вдоль земной поверхности, осуществляя дополнительную ионизацию аномальной структуры Е-слоя и создает ток «ясной» погоды, который равномерно оседает на отрицательно заряженную поверхность Земли.

Используя средний поток пыли на Землю и величину тока «ясной» погоды получено, что основная масса пыли имеет средний радиус порядка r~4*10^-7 м, массу m~10^-16 кг и заряд q~10^-16 Кл.

В докладе рассматриваются вопросы образования, зарядки и разрядки облаков, а также влияние космической пыли на погоду Земли.

ВЛИЯНИЕ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ПРОЯВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Жеребцов Г.А., Кириченко К.Е., Коваленко В.А., Рубцова О.А.

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

В последнее десятилетие проблема изменений глобального климата и их прогноз привлекает к себе все более пристальное внимание значительного числа специалистов, работающих в области наук о Земле. Это связано с тем, что наблюдаемое в XX веке глобальное потепление, оказывает значительное влияние на климатически обусловленные природные ресурсы. Вопрос, в какой мере глобальное потепление в последние десятилетия имеет антропогенное происхождение - в противоположность естественному имеет первостепенное значение для понимания характера изменения климата на Земле, как в прошлом, так и в будущем.

Ранее авторами в работе [1] был выявлен вклад солнечной активности в изменения приземной температуры воздуха, температуры поверхности океана и осадков на основе комплексного анализа данных наблюдений гидрометеорологических характеристик тропосферы и океана в рамках развиваемой полуэмпирических модели [2]. Было установлено, что природа первого потепления (1910-1944 гг.) обусловлена увеличением солнечной и геомагнитной активности в начале XX века и интенсификацией межширотного переноса тепла в атмосфере и океане, за счет интенсивного теплообмена, связанного с ветровым напряжением у поверхности океана, особенно в Северной Атлантике.

В данном исследовании основное внимание уделяется рассмотрению и анализу изменений основных компонентов климатической системы**,** которые происходили в период первого потепления и их роль в последующих изменениях климата. Особое внимание уделяется влиянию изменений ОЦА, а также роли ветрового напряжения на проявление солнечной активности в погодно-климатических характеристиках для района Северной Атлантики.

Аномальное возрастание температуры в Арктике в период с конца 1930-х до середины 1960-х гг. способствовало интенсивному летнему таянию и стоку пресной воды в Арктический бассейн. Это привело к тому, что в конце 60-х годов из-за выноса аномально большого количества льда из Арктического бассейна к востоку от Гренландии и его последующего таяния в верхнем 200-метровом слое солёность уменьшилась. Это явление получило название "Великая соленостная аномалия" (ВСА), наблюдаемого в конце 1960-х начале 1970-х годов прошлого столетия. В свою очередь ВСА способствовала аномальному увеличению теплосодержания в Атлантике, связанного с изменением термохалинной циркуляцией.

Представлены результаты статистической обработки данных изменений температуры тропосферы в слое 925-500 гПа в периоды гелиогеофизических возмущений (ГГВ). Было установлено, что отклик тропосферы на ГГВ наблюдается в основном на высоких широтах (>60°) и расположен в областях примыкания суша-океан.

Рассматривается и обсуждается особенности циркуляционных процессов в районе Саргассового моря (30-40° с.ш.; 60-70° з.д.), которые ответственны за наличие в данном регионе устойчивой и значимой связи между солнечной активностью и температурой поверхности океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской федерации и Сибирского отделения Российской академии наук (Проект II.16.1.1, регистрационный номер АААА-А16-116120610099-0).

1. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Роль солнечной активности в наблюдаемых изменениях климата в XX веке // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, № 6. С. 687-695. DOI: 10.7868/S0016794017060153

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

ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕРЕЗ АЭРОИОНЫ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОФОННЫХ ШУМОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПАДЕНИЯ МЕТЕОРИТОВ.

Ковалева И.Х.

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

При рассмотрении электромагнитных эффектов, сопровождающих падения метеороидов, традиционно основное внимание уделяется эффектам, которые могут возникнуть вблизи падающего тела или в его следе. Одним из наименее изученных удалённых эффектов являются наблюдаемые многими свидетелями так называемые электрофонные шумы – это низкочастотный акустический шум, сопровождающий падения крупных метеороидов, приходящий к Земле задолго до времени, когда можно было бы ожидать приход звуковой волны. Этот вид возмущения связывают с резонансным взаимодействием приходящей к Земле электромагнитной волны с некоторым агентом (какими-то материалами или поверхностями). В настоящей работе рассматривается возможность возбуждения акустических импульсов в воздушной среде при взаимодействии электромагнитной волны с аэроионами, присутствующими в воздухе на всём диапазоне высот от поверхности Земли до стратосферы. Разложением по малому параметру уравнений, описывающих движение нейтральной и заряженной компонент воздуха, связанных через ионное трение, получена система уравнений аналогичная системе уравнений вырожденного параметрического распада. При этом выполняется соотношение для частот и волновых векторов для трёхволнового взаимодействия электромагнитной, акустической и ионно-циклотронных волн. Возбуждаемый при таком взаимодействии акустический сигнал может возникать на высотах, где существуют наиболее благоприятные условия по параметрам атмосферы и приходить к Земле раньше акустического сигнала от метеороида. Получена возможная волновая форма акустического волнового пакета, который может быть зарегистрирован у поверхности Земли. Показано, что кроме электрофонных шумов, сопровождающих падения крупных метеороидов, подобные сигналы с задержкой в несколько десятков секунд можно ожидать и от мелких метеороидов (метеорных потоков Леонидов, Персеидов и т.д.). В этом случае несущие частоты акустических сигналов примерно будут соответствовать циклотронных частотам, например, протон-гидратов (10, 13Гц), представляющих лёгкие аэроионы стратосферы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0146-2014-0002, № 0146-2015-0019

ПРОЯВЛЕНИЕ ЦИКЛА АКТИВНОСТИ СОЛНЦА В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Куколева А.А. [1]), Кононова Н.К. [2]), Криволуцкий А.А.[1])

[1]) *ЦАО Росгидромет, Московская область, г. Долгопрудный, Россия, kuan-2012@yandex.ru*
[2]) *Институт Географии РАН, Москва*

Цель представляемого исследования – поиск связи характеристик циркуляции атмосферы над Северным полушарием и циклом солнечной активности (ЦСА).

Использованы временные ряды среднегодовых значений продолжительности различных типов циркуляции по Б.Л.Дзердзеевскому над Северным полушарием за период 1899-2016 гг. [1], ряды чисел Вольфа [2-4], а также данные о солнечных протонных событиях в разные ЦСА за рассмотренный период.

При обработке данных использован «метод наложенных эпох», элементы корреляционного и спектрального анализа. Исследование проведено для отдельных синоптических сезонов и для всего периода в целом.

Обнаружены сезонные различия эффекта воздействия ЦСА на отдельные типы циркуляции: солнечная активность способствует росту продолжительности меридиональных форм циркуляции в зимой и летом (получена надежная положительная корреляция), в переходные синоптические сезоны (весна-осень, предвесенье-предзимье) зависимость усложняется и становится различной для элементарных форм даже в пределах одной группы циркуляции.

1. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л.Дзердзеевскому. Российская акад. наук, Ин-т географии. – М. Воентехиниздат, 2009. 372 с. [http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/]
2. Логачев Ю.И. и др. Каталог солнечных протонных событий 23 цикла солнечной активности (1966-2008 гг.). - Москва. 2016, 743 с.
3. Базилевская Г.А. и др. Солнечные протонные события в циклах солнечной активности 21-24. Известия РАН. Серия физическая, 2015, т. 79, №5, с. 627-630.
4. Ишков В.Н. Периоды «пониженной» и «повышенной» солнечной активности: наблюдательные особенности и ключевые факты // Сб. «Солнечная и солнечно - земная физика – 2013», под ред. Ю.А. Наговицина, Изд. ВВМ, Санкт - Петербург, 2013, с. 111 –114, http://www.gao.spb.ru/russian/publ - s/conf_2013/conf_2013.pdf

ВЛИЯНИЕ СОЛНЦА НА ГЛОБАЛЬНЫЙ И ПОЛУСФЕРНЫЙ КЛИМАТ ЗЕМЛИ ЗА ПОСЛЕДНЮЮ ТЫСЯЧУ ЛЕТ

КУЗНЕЦОВА Т.В.

ИЗМИРАН, Москва, Россия tvkuz3@gmail.com

У вариаций солнечной радиации на Земле можно выделить две основные причины. Первая связана с 11-летним солнечным циклом, в максимуме которого она больше на ~0.1%, чем в минимуме. Такие изменения могут вызвать изменения температуры поверхности в несколько десятых градуса Цельсия. В настоящее время очевидно, что эти изменения на солнце не могут объяснить наблюдаемый рост температуры. Вторая причина связана с солнечной радиацией (инсоляцией), достигающей атмосферы, изменяющейся с расстоянием от Солнца до Земли. Миланкович разработал астрономическую теорию климата, в которой изменения трех геометрических параметров (эксцентриситета, наклона оси и долготы перигелия) приводят к циклическим изменениям солнечной радиации, падающей на Землю, и соответственно климата. Проблема изменения климата способствовала дальнейшей разработке астрономической теории климата. То, что орбита Земли в перигелии при определенных условиях может быть неустойчивой было доказано давно. Считается, что близость по времени перигелия и зимнего солнцестояния способствует неустойчивости орбиты. Астрономы оценивают, что в 1246г произошло такое совпадение. Поэтому одной из целей работы было выявить проявления этого совпадения в длиннопериодической части спектров глобальной температуры (Tgl), северного (Tnh) и южного полушарий (Tsh). Использован метод глобального минимума, который способен выделять тренд самосогласованно из данных, а также гармоники с изменяющейся фазой и амплитудой, что важно при нестационарных процессах [1]. Данные аномалий палеотемпературы из 17 мест по всему земному шару за последнюю тысячу лет, а также ряд чисел солнечных пятен W с 1700 г по настоящее время использованы для расчета спектров. Тренд в Tnh, описываемый нестационарной синусоидой с периодом T=1270л, показывает максимум вблизи 1300г, минимум вблизи 1700г и последующий рост. Мы получили этот период ранее в спектре изотопа C14 за последние 12 тысяч лет и показали, что он связан с прецессией оси вращения Земли. Тренд в Tgl, описываемый нестационарной синусоидой с периодом T=1000л демонстрирует потепление около 1350г, глубокое похолодание в ~1750г и быстрый последующий рост. Приведены параметры цикла с T=1000л, такие как временное изменение фазы и амплитуды. Спад амплитуды происходил до ~1250г (фаза затухания колебаний), а рост после 1250г (фаза раскачки колебаний). Амплитуда в настоящее время в 6 раз превышает амплитуду в 1250г и в 3.7 раз больше амплитуды цикла с T=200л в Tgl, который изменяется в фазе с известным 200-л циклом в W. Экстраполяция дает ожидаемый максимум Tgl 1000-л цикла вблизи 2250г. Период цикла может быть проинтерпретирован периодом астрономического происхождения. В заключение приводятся результаты анализа общих периодов в спектрах Tgl и W для обсуждения связи солнечной активности и климата на различных временных шкалах.

1. Tsirulnik L.B., T.V. Kuznetsova, Oraevsky V.N. Spectral method of global minimum (MGM) and its application to problems of heliospheric and planetary physics. Planet. Space Sci. v. 45, N2, p. 241-250, 1997.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА НУКЛЕАЦИИ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Махмутов В.С., Стожков Ю.И.

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

В докладе представлены результаты экспериментальных работ, проводимых в ЦЕРНе в рамках Международного проекта “CLOUD”. Рассмотрены установленные характеристики процессов двух- и трехкомпонентной нуклеации в зависимости от атмосферных условий. Особое внимание уделяется процессам влияния ионизации, создаваемой заряженными частицами (космическими лучами) на многокомпонентную нуклеацию. Приводятся результаты сопоставительного анализа результатов эксперимента и характеристик нуклеации, наблюдаемой в земной атмосфере. Работа выполнена в рамках программы Президиума РАН "Физика фундаментальных взаимодействий и ядерные технологии".

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СЕЛЕЙ В КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ ЛЕТОМ 2017 ГОДА

Мальнева И.В.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ») malnir@mail.ru

В прошлом отмечено катастрофическое проявление гляциальных селей по реке Герхожан-су в Кабардино-Балкарии 18 – 25 июля 2000 г. (бассейн р. Баксан). В зоне поражения оказались две трети территории г. Тырныауза. Были разрушены здания и сооружения городской инфраструктуры, имелись человеческие жертвы. Менее значительные сели прошли по этой реке 3 августа 2011 года и 14 августа 2017 года. В ночь на 1 сентября 2017 г. катастрофический селевой поток, вызвавший много разрушений, прошел по долинам рек Адыл-су и Баксан.

Традиционный анализ ситуации завершается выводом, что прохождение селей было подготовлено аномальными погодными условиями в июле и августе 2017 года [1, 2]. В августе с начала месяца средняя суточная температура не опускалась ниже 15 ºС (пороговое критическое значение при формировании селей), что обусловлено влиянием мощного антициклона на юге Европейской России. Осадков в августе было очень мало. В основном формировались локальные ливни. Один из них с интенсивностью, не наблюдавшейся на этой территории более четверти века, стал причиной прорыва озера Башкара и упомянутого выше селевого потока 1 сентября**.**

Остаётся не решённым вопрос, на какие предпосылки и факторы необходимо обращать особое внимание, чтобы за достаточный отрезок времени до проявления процесса предупредить население о возможной катастрофе. Подступы к осуществлению этой задачи представляются автору в целевой обработке ряда зависящих от всплесковых проявлений активности процессов на Солнце параметров показателей физики солнечно-земных связей [2]. В первую очередь, это скорость плазмы солнечного ветра в околоземном пространстве и плотность протонов в ней. Анализ данных по субсуточным временным отрезкам кратных возрастаний - по сравнению с фоном - скорости солнечного ветра и плотности протонов в целом ряде случаев приводит к выводу об их положительной корреляции с возникновением селевых потоков в эти же периоды времени. Так, геоэффективные всплески скорости солнечного ветра и плотности протонов наблюдались несколько раз в 2000 г. с 14 по 23 июля В 2017 г. 12 - 14 августа скорость солнечного ветра достигала 600 и даже 700 км/с против фоновых 250 – 300 км/с. Для установления места попадания в очаги селей частиц плазмы следует обратить внимание на земные атмосферные синоптические барические депрессионные элементарные детали - следствие прорывных инжекций в приповерхностную область Земли сгустков отсоединившихся в геомагнитосферу компонент геоэффективного солнечного ветра. Следует отметить, что влияние космической погоды может проявиться только тогда, когда к этому готовы земные природные условия, в значительной степени определяющие активность опасных природных процессов. Фактические солнечноветровые данные помещены в сети Интернет в открытом доступе.

Литература .

1. *Гонсировский Д. Г.* О возможном влиянии плазмы солнечных вспышек на возникновение гляциальных селевых потоков на Земле // Жизнь Земли. 2017. Т. 39, № 2. С. 147 – 154.
2. *Мальнева И. В., Хаджиев М.М.* Особенности метеорологических условий формирования селей в Приэльбрусье в начале XXI века // ГеоРиск. 2016. № 4. С. 66 – 74.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИК ИЗЛУЧЕНИЯ ОКИСИ АЗОТА (5.3 МКМ) В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ

Семенов А.И. [1], Медведева И.В.[2], Перминов В.И.[1], Железнов Ю.А.[3]

[1] *ИФА им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия, anasemenov@yandex.ru*
[2] *ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия*
[3] *ИЭЭ РАН РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Важность излучения молекулы окиси азота 5.3 мкм во многом обусловлена ее ролью в процессах возбуждения эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время интенсивных красных сияний, которое приводит к сбросу энергии из верхней атмосферы. Известно, что во время больших геомагнитных возмущений и усилений красной эмиссии возрастает интенсивность континуума. Это, в свою очередь, означает, что в верхних слоях атмосферы увеличивается содержание молекул NO, что приводит к увеличению интенсивности инфракрасного (ИК) излучения, которое сопровождается охлаждением верхней атмосферы. Таким образом, ИК эмиссия молекулы NO (5.3 мкм), возникающая на высотах средней атмосферы, играет важную роль в формировании теплового режима верхней атмосферы и энергетического баланса на этих высотах. В работе на основе систематизации данных многолетних ракетных и спутниковых измерений интенсивности эмиссии 5.3 мкм молекулы окиси азота, выявлены закономерности ее вариаций для различных гелио-геофизических условий. Разработаны аналитические выражения, описывающие статистические закономерности вариаций высотного распределения интенсивности излучения 5.3 мкм, ее сезонного и широтного поведения, а также характер ее зависимости от уровня солнечной активности. Получены аналитические соотношения, характеризующие связь между интенсивностью эмиссии 5.3 мкм, высотой излучающего слоя и температурой атмосферы на высотах излучения этой эмиссии. Обнаружено, что з ависимость интенсивности эмиссии молекулы NO от солнечной активности имеет выраженный нелинейный характер. Таким образом, собранные и систематизированные данные многолетних исследований со спутников и ракет инфракрасного излучения молекулы окиси азота позволили выявить ряд пространственно-временных вариаций различных типов, которые могут быть использованы при разработке эмпирических моделей вариаций ИК излучения средней и верхней атмосферы.

Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00120.

ФОНОВЫЕ ПОТОКИ КОРОТКОВОЛНОВОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ИОНОСФЕРЕ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ НА РАЗНЫХ ФАЗАХ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА.

Нусинов А.А.

ФГБУ "ИПГ" г. Москва, Россия, nusinov@mail.ru

Потоки коротковолнового ультрафиолетового (КУФ) излучения Солнца как звезды формируются несколькими источниками. Основной вклад в потоки дают невозмущенная (без активных областей) видимая поверхность Солнца и активные области. Значения фонового потока обусловлены эволюцией так называемой "активной хромосферной сетки" и могут быть формально определены для любой фазы солнечного цикла как величины ординат точек пересечения с осью ординат прямых линий регрессии значений потока излучения на числа солнечных пятен. Интервалы, для которых выполняется процедура регрессии, должны превышать длительность примерно трёх оборотов Солнца, а сами интервалы могут непрерывно смещаться вдоль временного ряда (скользящая линейная регрессия). В итоге возникает временной ряд фоновых значений потоков излучения Солнца.

Ранее поведение фоновых потоков КУФ можно было оценить расчётным путём при анализе зависимости потоков ультрафиолетового излучения от индекса солнечного радиоизлучения $F_{10.7}$. К настоящему времени появились длинные временные ряды внеатмосферных измерений спектров КУФ. Это позволяет применить метод скользящей линейной регрессии для определения фоновых потоков излучения КУФ в различных солнечных циклах и на разных фазах циклов. Здесь приводятся результаты изучения вариаций фоновых потоков для некоторых временных рядов КУФ, полученных в нескольких последних циклах солнечной активности. Показано, что неучёт фоновых потоков КУФ приводит к появлению дополнительных ошибок в ионосферных расчётах.

ПРОГНОЗ ПОТОКОВ ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ.

Нусинов А.А., Казачевская Т.В., Катюшина В.В

ФГБУ "ИПГ", г. Москва, Россия, nusinov@mail.ru

Прогноз потоков крайнего ультрафиолетового излучения Солнца (КУФ, диапазон длин волн 10-105 нм) и далёкого ультрафиолетового излучения (ДУФ, диапазон от 120 до 240 нм) имеет значение для прогнозирования состояния ионосферы и верхней атмосферы с помощью математических моделей. Рассматривается прогнозирование на короткие (до 10 суток) периоды времени – краткосрочный прогноз, так и на большие интервалы, соизмеримые с длительностью солнечного цикла – долгосрочный прогноз. Прогноз выполняется на основе статистических моделей излучения основанных на измерениях 2000-2009 гг. на спутниках TIMED и SORCE. Входным параметром моделей спектра является поток излучения I_{La} в линии Лайман-альфа (121.6 нм). На основе прогноза I_{La} выполняется прогнозирование спектров КУФ и ДУФ. Для краткосрочного прогноза используется метод скользящей авторегрессии с учетом фазы цикла (величин фонового потока), для долгосрочного прогноза используется связь фоновых потоков излучения с традиционными индексами активности – числами пятен и солнечным радиоизлучением на длине волны 10,7 см.

ИЗМЕРЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ РОСГИДРОМЕТА

Гинзбург Е.А., Денисова В.И., Казачевская Т.В., ., Минлигареев В.Т., Нусинов А.А. Свидский П.М., Юдкевич И.С.

ФГБУ "ИПГ", г. Москва, Россия, nusinov@mail.ru

Мониторинг состояния космической погоды в околоземном космическом пространстве (внутри магнитосферы) проводится на двух уровнях расстояний от Земли. На расстоянии менее 1000 км он проводится на КА "Метеор 3М №1" и Метеор 3М №2". У обоих КА одинаковая орбита: полярная квазикруговая, солнечно-синхронная. Средняя высота орбиты 800 км, наклонение 98.8˚, период обращения 101,4 мин.

Измерительный комплекс ГГАК-М на этих КА предназначен для мониторинга гелиогеофизических параметров с целью контроля и прогноза радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве. В состав комплекса ГГАК-М в части, касающейся измерений потоков заряженных частиц средних и высоких энергий, входят:

— Детектор галактических космических лучей ГАЛС-М. – разработан в ИПГ. Предназначен для регистрации протонов высоких энергией (от 400-600 мэВ) и электронов с энергией свыше ~7 МэВ при помощи черенковских детекторов. Кроме того, счётчики Гейгера-Мюллера дают возможность регистрировать в разных каналах электроны с энергиями E>0.7 и E>1.5 МэВ, а также протоны с энергиями E>15 и E>25 мэВ

— Многоканальный спектрометр геоактивных корпускулярных излучений МСГИ-МКА; Разработан в НИИЯФ МГУ.

— Спектрометр солнечных космических лучей СКЛ-М; Разработан в НИИЯФ МГУ.

В состав этих двух приборов входят сегментоидный анализатор СГМТД, дающий возможность измерять потоки электронов и протонов с энергиями от 0,05 до 20 кэВ.

Для боле высоких энергий используются различные модификации приборов, состоящих из совместно работающих спектрометрических модулей на основе сцинтилляционного счётчика из CsJ и одного или двух полупроводниковых детекторов. В целом оба прибора позволяют перекрыть диапазон энергий частиц от 0,05кэВ до 200 мэВ.

Регистрация электронов и протонов ведется с апертурой ~30˚ по двум взаимно перпендикулярным направлениям: в зенит и по вектору скорости КА. Это позволяет оценить анизотропию распределения частиц. Информация ГГАК-М собирается по 44 каналам.

Другой ярус мониторинга соответствует геостационарной орбите, где работает КА «Электро-Л» №2. предназначенный для обеспечения подразделений Росгидромета оперативной информацией для решения задач анализа и прогноза гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве и состояния ионосферы.

Наряду с приборами для регистрации частиц, аналогичным используемым на КА "Метеор-3М"Б комплекс ГГАК-Э содержит также рентгеновский фотометр ДИР, регистрирующий потоки рентгеновского излучения Солнца в области длин волн 0,05-0,3 нм и вакуумный ультрафиолетовый спектрофотометр ВУСС, позволяющий выполнять мониторинг потока излучения в области спектральной линии Лайман-альфа (121,6 нм). Данные об этой линии позволяют по статистическим моделям восстановить и затем использовать в моделях ионосферы и верхней атмосферы спектр Солнца в области длин волн короче 240 нм, вызывающей процессы ионизации, диссоциации и нагрева в атмосфере. Оба фотометра установлены, в отличие от других приборов, на кронштейне панели солнечных батарей, ориентируемых на Солнце в процессе полёта.

Таким образом, имеющийся в Росгидромете комплекс космических измерений уже сейчас позволяет решать целый ряд задач, связанных диагностикой текущего состояния космической погоды в околоземном космическом пространстве.

ЗАМОРОЖЕННАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПЛАЗМА И АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ (НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ)

Перов С.П.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» РАН Москва, Россия sperov35@mail.ru

Оцененная плотность ионов в растущих ядрах комет существенно выше термически равновесной.. Такой лед представляет собой замороженную неравновесную плазму и обладает избыточной энергии. Полагают, что в эпоху Т Тельца на Солнце происходили мощные вспышки, обогащавшие ядра ионными кластерами и приводившие ядра комет к развалу ядер – внезапному исчезновению комет [1[.

Ракетные и зондовые эксперименты в средней атмосфере (10 – 100 км) в различных широтах Земли установили пространственно-временную изменчивость ионосферы , её связь с характеристиками холодной газопылевой атмосферной плазмы и с потоками галактических космических лучей.

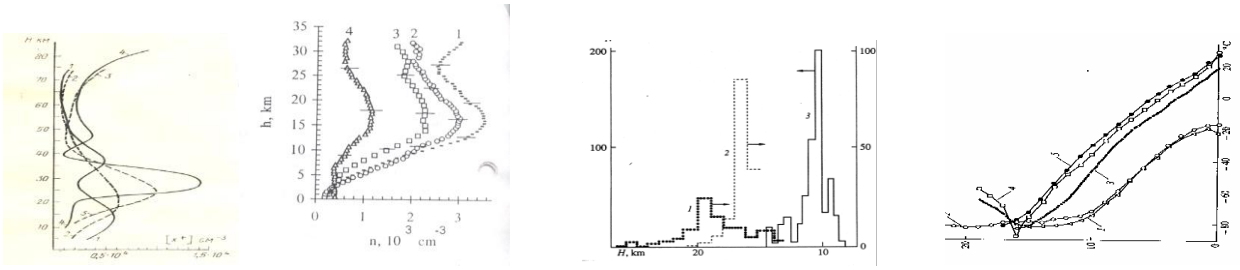


Рис.1 Слева: широтные вариации ионной концентрации. после и перед полуднем (пунктир)). 1 – 0º, 178º в.д., 2 – 1º с.ш., 165º в.д., 3 – 35º с.ш., 151º в.д., 4 – средние широты [2]. Слева 2-й: профили концентрации ионов на станциях ракетного зондирования атмосферы ЦАО: с. Молодежная, кривая 1 (0,4 GV), кривая 3, Балхаш (5,3 GV), кривая 4 Тумба (17,3 GV) и аэростатном полигоне ЦАО в Рыльске, кривая 2 (3,3 GV). [2]. **3-й:** количество энергонасыщенных аэрозольных частиц N, прошедших через проточный реактор во время парашютирования головной части ракеты М-100 и рассчитанных на 1 км в свободной атмосфере: кривая 1 - 3 декабря 1987 г (день); кривая 2 – 5 декабря 1987 г (ночь); TERLS, Тумба, 8 с.ш.; кривая 3 - 25 августа 1987 г (раннее утро, солнце 10 градусов над горизонтом); Молодежная, Антарктида, 68 ю.ш. 4-й: профили температуры по данным радиозондов: на станции Молодежная (19 и 26 августа 1987 г (кривые 1 и 2); на станции Тумба (25 ноября, 5 и 7 декабря 1987 г (кривые 3,4 и 5 соответственно) [2]

Формула [2] гласила «Экспериментально установлено ранее неизвестное свойство атмосферы Земли (10–70 км), заключающееся в существовании области повышенной ионизации (с максимумом ионов порядка 10^4 в куб. см) на высоте 10–40 км) и области пониженной ионной концентрации (с минимальным количеством ионов, равным или менее $0{,}5\cdot10^3$ в куб. см) на высотах 50–70 км» Балонные и дальнейшие ракетные наблюдения уточнили высоту (15-20 км) и концентрацию максимума (10^3см$^{-3}$), установили важную роль аэрозоля разного состава, в т.ч. из непрорекомбинировавших ионов, молекул воды и других составляющих атмосферного воздуха («замороженная» плазма) [1,2] и позволили объяснить расхождение с другими методами. «Активные» частицы могут содержать 10^6-10^8 зарядов /см$^{-3}$ и/или испускать такое же количество фотонов и играть важную роль в механизме работы глобальной электрической цепи, а также электрических разрядов (спрайтов, джетов, и др.) от грозовых облаков в нижнюю ионосферу. Ракетные эксперименты с тепловыми каталитическими датчиками подтвердили существование слоев энергонасыщенных частиц в стратосфере и мезосфере с максимумом на 15 (спуск), 80 и 95 км (подъем и спуск). Впервые установлено, что грозовая активность и разряды в ионосферу зависят от лунно-солнечных гравитационных приливов. скорости ветра) и геомагнитной активности в глобальном масштабе.

1. Шульман Л.М.//Ядра комет. М.:Наука. 1987. – 232 С.
2. Перов С.П., Костко О.К. // Земля и Вселенная. 1. 2016. - С.25

СИСТЕМА СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ И ВОЗМУЩЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

А.Ю.Ретеюм

МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, aretejum@yandex.ru

Сопряженное изучение движения Солнца относительно барицентра Солнечной системы, обращения планет по эллиптическим орбитам и солнечной активности позволило установить существование иерархической системы циклов, длительность которых на соседних уровнях различается в 2 и 8 раз. Группа многолетних хрон начинается с 11-летнего цикла и заканчивается 90-летним циклом Ганского-Глейссберга. При повторении он образует 179-летний сарос, состоящий из 8 циклов Хейла (22-летних). Этот цикл играет фундаментальную роль в гелиохронологии, из него строятся многовековые циклы – 1430-летний (рис. 1) и 11440-летний. Последний, в свою очередь, образует циклы Миланковича. Реальность обнаруженных циклов доказывается фактами синхронных колебаний величин восстановленного полного излучения Солнца, размеров прироста долгоживущих деревьев, толщины слоев донных осадков и т.д.

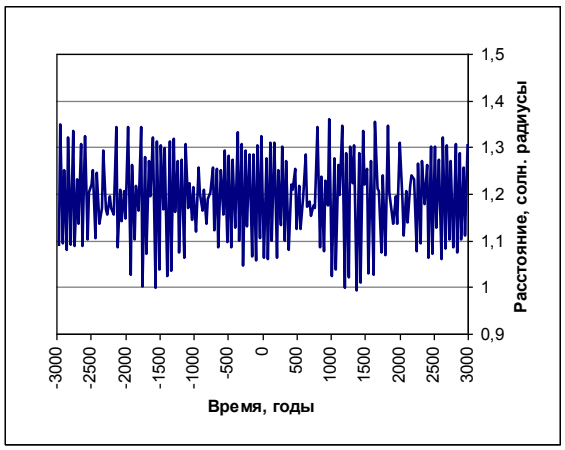


Рис. 1. 1430-летний цикл движения Солнца относительно барицентра Солнечной системы. Источник: расчет по программе EPOS

Момент максимального сближения Солнца и барицентра Солнечной системы в апреле 1990 г. представляет собой рубеж целого ряда циклов, включая 179-летний, 1430-летний и 11440-летний и, возможно, другие. Переход циклов отмечен масштабными возмущениями всех слоев атмосферы Земли, а также Мирового океана и литосферы. Они привели, в частности, к образованию обширной области дефицита атмосферных осадков в умеренных широтах Евразии. Усиление меридиональных потоков и прочие особенности атмосферной циркуляции во второй половине XX в. определялись именно действием космических сил.

Границы между циклами служат своего рода временной осью, с которой связаны подобные природные события, важные для биосферы. Например, в XVIII-XXI вв. на территории Европы с интервалами около 90 лет возникли сходные термические аномалии: 2010 г., 1921-1922 гг., 1830-1831 гг. и 1743-1745 гг. Две из них появились через 20 лет после начала текущего и последнего 179-летних циклов. Особенно масштабные отклонения в состоянии геосфер приурочены к первым десятилетиям 1430-летних циклов, что необходимо учитывать при выяснении причин современных изменений климата.

Результаты специального анализа дают основание считать, что импульс от Солнечной системы к атмосфере Земли передается в первую очередь через колебания угловой скорости вращения планеты. Свой вклад вносит также модулирование галактических космических лучей за счет ослабления солнечного ветра под влиянием планет.

ДЛИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА : СОПОСТАВЛЕНИЕ УТРЕННИХ И ВЕЧЕРНИХ ПОКАЗАНИЙ

Кукса Ю.И.[1], Шибаев И.Г.[2], Исайкина О.Ю.[3]

[1] ЦГЭМИ ИФЗ РАН, г.о. Троицк, г. Москва, Россия
[2] ИЗМИРАН, г.о. Троицк, г. Москва, Россия, ishib@izmiran.ru
[3] ГИПМ (Государственный институт профилактической медицины), Москва, Россия

Работа опирается на длительные, регулярные наблюдения артериального давления (АД) и пульса – частоты сердечных сокращений (ЧСС). Значения этих показаний взяты из дневника самоконтроля, который ведет пациент – один из авторов данной публикации, мужчина 1940 года рождения. Медицинское обследование пациента, проведенное в начале 1997 года, диагностировало артериальную гипертонию II стадии 2 ступени. С апреля 1997 г., после проведенного амбулаторного лечения, осуществляется ежедневный (утром и вечером) контроль за АД в домашних условиях под наблюдением врача.

В данной работе сопоставляются утренние и вечерние показания мониторинга и их динамика за 18 лет. Исследуются отличия в характеристиках утренних и вечерних рядов, которые прослеживаются и в различных спектральных диапазонах. Дополнительные возможности оценки состояния пациента дает анализ пульсового давления. Отметим, что длительный и эффективный контроль за состоянием пациента, обеспечивающий его нормальную жизнедеятельность, позволяет исследовать влияние внешних факторов на гемодинамику организма. В работе оценивается степень взаимосвязи утренних и вечерних показаний и проведено сопоставление характера этих связей с таким индексом солнечной активности, как числа Вольфа.

Влияние атмосферного давления и геомагнитной активности на взаимосвязь АД с ЧСС исследуется в недавней публикации авторов [1] на годовом массиве данных. Общая оценка данных мониторинга за 13 лет дается в более ранней работе [2].

1. Isaikina O., Yu. Kuksa, I. Shibaev Estimation of Stability of Arterial Pressure and Pulse at Changes of Geomagnetic Data and Atmospheric Pressure / Annual Research & Review in Biology 9(1): 1-11, 2016, Article no.ARRB.21656 ISSN: 2347-565X, NLM ID: 101632869

2. Исайкина О.Ю., Кукса Ю.И., Шибаев И.Г. Оценка характеристик длительного мониторинга артериального давления и пульса / Труды международной конференции «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле» ИКИ РАН, 4-8 июня 2012 г. С. 695 – 707, 2013.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КООРДИНИРОВАННЫХ СПУТНИКО-НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ БЫСТРЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ

Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Богомолов А.В., Васильев Р.В, Казначеева М.А., Климов П.А., Комарова Е.С., Михалёв А.В., Подлесный С.В., Рахматулин Р.А.

(1)ИСЗФ СО РАН, Иркутск, (2)МГУ НИИЯФ, Москва, (3)МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, (4)ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск, Россия. tid007@iszf.irk.ru

Исследование спектрального состава оптических вспышек и кратковременных световых атмосферных явлений является важной задачей с точки зрения поиска их источников, интерпретации атмосферных составляющих, ответственных за излучение, и механизмов возбуждения. Одной из основных принципиальных трудностей для решения этой задачи в большинстве случаев является чрезвычайно низкая интенсивность исследуемых явлений. В связи с этим разработка светосильной спектральной аппаратуры и методик регистрации и обработки спектров излучения собственного излучения верхней атмосферы с высоким временным разрешением входило в планы работ первого года выполнения проекта.

В рамках работы проведены совместные спутниковые и наземные наблюдения ночной атмосферы Земли в двух пунктах: наблюдательная станция “Исток” (70.05º СШ, 88.10º ВД) и наблюдательная станция “Торы” (51.81º СШ, 103.08 ВД). Наблюдения выполнены при помощи специализированного спектрофотометрического оборудования наземного и спутникового базирования, спутниковых детекторов частиц и наземных регистраторов геомагнитного поля.

Разработана методика поиска вспышек регистрируемых совместно комплексом наземной и спутниковой аппаратуры. На основе методики созданы алгоритмы для визуализации картины совместного события. Проведен отбор событий из базы данных орбитального детектора ТУС (Трековая УСтановка), зарегистрированных в окрестности оптических наземных станций “Исток” и “Торы”. Поведен анализ и классификация событий. Из 89 измерений 6 событий обусловлены попаданием частиц галактических космических лучей или радиационных поясов Земли в светочувствительный элемент спутниковой аппаратуры, 2 события являются рассеянием УФ свечения на частичной облачности от близлежащих молниевых разрядов, остальные - срабатыванием триггерной системы на флуктуации УФ фона ночной атмосферы.

Независимый анализ данных установок для поиска вспышек показал наличие трёх типов событий интересных для проводимого исследования: присутствие УФ вспышек с интегральной интенсивностью порядка 10^{17} фотонов и длительностью <1 мс, распределённой по большой площади, зарегистрированных при помощи детектора ТУС и не связанных с метеорами или грозовой активностью; присутствие кратковременных увеличений интенсивности с величиной 10-1000 Рл регистрируемых широкоугольной камерой наземного пункта наблюдения в полосе пропускания 2 нм с максимумом на длине волны 630 нм и длительностью < 30 с, локализованной внутри малого диапазона небесных углов (<0.5º), не связанных с грозовой и геомагнитной активностью; регистрацию кратковременного среднеширотного сияния с интенсивностью порядка 100 Рл в полосе пропускания 2 нм на длине волны 630 нм локализованной в диапазоне небесных углов порядка единиц градусов и длительностью порядка 10 минут связанного с вариациями геомагнитного поля.

Выполнена подготовка дополнительной аппаратуры и начата разработка специализированных алгоритмов для комплексного анализа данных в рамках выполняемого исследования.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ No. 17-05-00492.

О НАЛИЧИИ ТЕНДЕНЦИЙ В СМЕНЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ (ЭЦМ) В АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ С МАГНИТОСФЕРНОЙ ВОЗМУЩЕННОСТЬЮ

Вальчук Т.Е., Кононова Н.К.

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, valchuk@izmiran.ru

Солнечно-земная физика (СЗФ) – новая наука XX века – была обоснована первым директором ИЗМИРАН Н.В.Пушковым (1903г. – 1981г.). Основная концепция СЗФ – взаимосвязь космических и земных процессов во всем их многообразии – обоснованно подтверждается в настоящее время посредством выявления конкретных закономерностей влияния гелиофизических процессов на множество земных проявлений: в пространстве магнитосферы, ионосферы и атмосферы. Приток солнечной энергии к Земле является основным природным фактором, определяющим вариации переменного магнитного поля Земли, солнечных космических лучей, авроральных высыпаний, ионосферных параметров, а также всего разнообразия климатических и погодных трансформаций в атмосфере – над сушей и водными пространствами Земли. Развитие техногенной цивилизации снабжает исследователей – гелиофизиков и метеорологов, геофизиков и климатологов – поступлением информации он-лайн, это позволяет давать прогнозы: геомагнитной активности на сайте ИЗМИРАН, метеопрогноз – в средствах массовой информации, а также проводить научные исследования по влиянию гелиофизических процессов солнечной активности, которые в наше время подробно регистрируются – в их воздействии на атмосферные процессы. Основная задача настоящей работы – сопоставить климато-погодные вариации с геомагнитными бурями по данным ИЗМИРАН. Данные о климато-погодных вариациях взяты для анализа из календаря элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) составленного в ИГ РАН Б.Л. Дзердзеевским и его последователями [1], интервал рассмотрения в настоящей работе принадлежит 24 солнечному 11-летнему циклу и охватывает 2010 - 2017г.г. Проведенные статистические оценки выявили: 1) тенденцию пролонгации ЭЦМ при реализации геомагнитных бурь, 2) при усилении геомагнитной активности проявляются переходы к более турбулентным типам ЭЦМ.

[1] Кононова Н.К. Классификация ЭЦМ Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. РАН, Ин-т географии, отв. редактор А.Б. Шмакин, Воентехиздат, Москва, 372 с., 2009 г.

60-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ В КОЛЕБАНИЯХ КЛИМАТА И ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЛНЕЧНО-АТМОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Веретененко С.В., Огурцов М.Г.

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

Временна́я изменчивость связей, наблюдаемых между характеристиками нижней атмосферы и вариациями солнечной активности (СА), продолжает оставаться одной из нерешенных задач солнечно-земной физики. В настоящей работе приводятся результаты исследования возможных причин указанной изменчивости. Временной ход коэффициентов корреляции между давлением тропосферы во внетропических широтах и числами Вольфа, а также потоками галактических космических лучей (ГКЛ) сопоставляется с колебаниями индексов атмосферной циркуляции и аномалий глобальной температуры. Показано, что ~60-летние вариации, обнаруженные ранее в амплитуде и знаке эффектов СА/ГКЛ в интенсивности внетропического циклогенеза [1], коррелируют с аналогичными вариациями в аномалиях глобальной температуры и эволюции крупномасштабной циркуляции атмосферы. Полученные результаты позволяют предположить, что отклик нижней атмосферы на вариации СА/ГКЛ зависит от эпохи крупномасштабной циркуляции. Изменения знака корреляционных связей между атмосферными характеристиками и солнечной активностью/вариациями ГКЛ происходят в периоды перестроек режима циркуляции и могут быть обусловлены влиянием циркумполярного вихря на характер взаимодействия тропосферы и стратосферы. Приведены данные, свидетельствующие о ~60-летних вариациях в интенсивности циркумполярного вихря. Предположено, что одной из возможных причин изменения состояния вихря и соответствующих перестроек крупномасштабной циркуляции могут быть изменения глобальной температуры, связанные с долговременными вариациями интегрального потока солнечной радиации.

1. Веретененко С.В., Огурцов М.Г. // Геомагнетизм и аэрономия 2012. Т. **52.** С. 626.

СОЛНЕЧНО-АТМОСФЕРНЫЕ СВЯЗИ: ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Зайцев А.Н., 1) Шерстюков Б.Г. 2)

1) ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, alex.zaitsev1940@mail.ru
2) ВНИГМИ-МЦД, г.Обнинск, Россия

Связь между климатическими явлениями и солнечной активностью сегодня признана как факт и учитывается при составлении прогнозов погоды и расчетов изменений климата. Актуальность исследований, объясняющих связь между процессами на Солнце и изменениями погоды и климата, определена важностью глобальной проблемы – изменением (потеплением ?) климата Земли.

Исследования и расчеты климата требуют дальнейшего уточнения и развития в силу своей неоднозначности ввиду большого количества факторов, влияющих на погоду и климат и действующих одновременно. В докладе приведены последние данные по исследования в магнитосфере Земли, которые меняют оценки совокупного воздействия астрономических и геофизических факторов, стимулирующих внутриатмосферные процессы и в первую очередь циркуляционные механизмы.

Среди многих факторов в цепочке Солнце-Земля определенное место занимает магнитное поле. Корпускулярное воздействие Солнца на магнитосферу Земли оценивается сегодня с большой заблаговременностью и точностью в виде планетарных прогнозов космической погоды. Геомагнитные индексы дают количественную оценку воздействия солнечного ветра на околоземное пространство. Обнаружено, что секторная структура ММП проявляется не только в величине токов в магнитосфере, но и в атмосферных процессах. Прослежена прямая связь воздействия ММП на барическое поле над Антарктидой. Именно высокоширотная часть атмосферы испытывает прямое влияние от возмущений магнитного поля в виде струйных токов в зоне полярных сияний на высоте 100 км. Изменение положения магнитных полюсов возможно также может иметь влияние на атмосферные процессы.

Совокупное воздействие астрономических и геофизических факторов стимулирует внутриатмосферные процессы и в первую очередь циркуляционные механизмы. Один из подходов при решении вопросов по изменчивости климата – построение всеобъемлющей модели, учитывающей возможно большее количество агентов влияния и детально описывающей состояние атмосферы. При этом чтобы иметь достаточно точные статистические модели, приходиться использовать самые мощные компьютеры. Вместе с тем увеличение объема расчетов не дает увеличения точности без построения физически обоснованной модели климата.

В данном докладе нами представлена авторская статистическая модель климата (Б.Шерстюков) в которой все параметры атмосферы рассматриваются как слагающие сложной колебательной системы с суперпозицией собственных колебаний, резонансно поддерживаемых воздействиями внешних факторов. При этом учтено влияние индекса тепловой инерционности океана, как косвенного показателя толщины слоя взаимодействия океана с атмосферой. Возмущения атмосферы над океаном, вместе с основным западно-восточным потоком воздушных масс, переносятся на континент и создают природные колебания климата. Обнаружены сопряженные колебания солнечной активности и атмосферной циркуляции, являющейся переносчиком на континент океанического тепла. Представлено сравнение долговременного прогноза температуры Северного полушария, составленного в 2007 году с данными наблюдений за 2007-2015 годы, которое подтвердило предсказанное ранее замедление потепления климата Северного полушария в начале XXI века.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕНТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Зелёный М. Е., Стадничук Е. М.

ИЯИ РАН, г. Москва, Россия; МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, Россия
mihail.zelenyy@phystech.edu

Большой интерес для физики атмосферы представляют явления terresteral gamma flash (TGF) и thunderstorm ground enhancements(TGE) и связь этих явлений с образованием грозового разряда. Для объяснения данных явлений Гуревичем, Бабичем и Двайером были предложенны модели основанны на пробое на убегающих электронах, однако данные модели не удовлетворяют полностью экспериментальным наблюдениям. Как развития идеи о взаимодействии высокоэнергетичных частиц и электрического поля предложена модель RL-TGE, основанная на представлении облака, как аналога ядерного реактора. При прохождении заряженной частицы в поле грозового облака образуется так называемая локальная ячейка ускорения. Ускоренные частицы в свою очередь генерируют вторичные высокоэнергетические частицы, которые будут в зависимости от текущего состояния облака, либо обеспечивать самоподдерживающуюся реакцию в течении длительного срока (TGE), либо приводить кратковременным вспышкам гамма-излучения (TGF).

Модель имеет нескольких независимых компонент: распределения электрического поля, генератора выхода локальной ячейки, модуля транспорта и взаимодействия гамма-квантов.

Распределение электрического поля генерируется с помощью броуновского дерева и гауссового шума, также учитывается отражение облачного заряда от Земли. Выход локальной ячейки рассчитывается с помощью транспортного кода Geant4 при использованиии физических процессов из модуля G4EmStandardPhysics. Считается, что в пределах размеров ячейки (цилиндра высотой 100 метров и радиусом 50 метров) поле является однородным по величине и направлению, ось ячейки всегда сонаправлена с направлением поля. В качестве варьируемых параметров задаются плотность воздуха, модуль электрического поля, энергия и угол влета первичной частицы. В качестве выходных данных симуляции выступали параметры частиц, покидающих ячейку: тип частицы, координата точки выхода, направление импульса, энергия, время выхода. Также подсчитывалась полная энергия ионизации ячейки и параметры позитронов в момент рождения. Транспорт гамма-квантов между ячейками рассчитывается на основе моделей Клейна-Нишины, Бете-Гайтлера и интерполированных экспериментальных сечений.

Симуляция происходит по следующему алгоритму. Задается начальное распределение фотонов и электронов, определяется наличие дополнительного внешнего источника этих частиц, задается распределение электрического поля. За одну итерацию симуляции делается следующее: разыгрывается пробег фотонов и результат взаимодействия с помощью транспортного модуля, удаляются фотоны покинувшие объем, разыгрывается взаимодействие электронов с ячейками с помощью генератора выхода локальной ячейки, следующая итерация. Симуляция завершается если погибают все фотоны или будет достигнут лимит по количеству фотонов.

В ходе моделирования найдены пространственно-энергетические спектры гамма-квантов и электронов выходящих из моделируемого объема, определено распределение энергии ушедшей на ионизацию.

Волновые явления в космической плазме

СОПРЯЖЕННЫЕ НАЗЕМНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ХОРОВЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ

Демехов А.Г.[1,2], Маннинен Ю.[3], Сантолик О.[4,5], Титова Е.Е.[1]

[1] *ПГИ, г. Апатиты, Россия*

[2] *ИПФ РАН, г. Н.Новгород, Россия, andrei@ipfran.ru*

[3] *Sodankylä Geophysical Observatory, Finland*

[4] *Institute of Atmospheric Physics, The Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic*

[5] *Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, Czech Republic*

Представлены результаты одновременных наблюдений [1] хоровых ОНЧ элементов на наземной станции Каннуслехто в северной Финляднии и на спутнике Van Allen Probe A. Визуальный и корреляционный анализ данных выявил взаимно однозначное соответствие нескольких (по меньшей мере 12) хоровых элементов chorus в одном событии. Вектор Пойнтинга, вычисленный по данным многокомпонентных измерений электромагнитного поля на борту спутника Van Allen Probe A, был направлен под углом, близким к 180° по отношению к геомагнитному полю, т.е. волны распространялись вдоль геомагнитной силовой трубки из северного в южное географическое полушарие. Спутник находился на $L \simeq 4.1$ на геомагнитной широте -12.4° вблизи плазмопаузы и внутри локализованной неоднородности (дакта) плотности с возрастанием примерно на 30% и поперечным размером около 600 км.

Наблюдаемые волны составляли часть продолжительного (около 2 ч) явления, включавшего как хоровые, так и шумовые излучения. Расчеты лучевых траекторий для этого явления показали [2], что зарегистрированный дакт обеспечивал каналирование волн как из области генерации к Земле, так и от Земли к спутнику и сохранение квазипродольного режима распространения по отношению к геомагнитному полю.

Волны зарегистрированы на спутнике с временной задержкой около 1.3 с относительно наземных измерений. Измеренная задержка согласуется с временем квазипродольного распространения свистовых волн для реалистичного профиля плотности плазмы вдоль геомагнитного поля. Таким образом, волновые пакеты были вначале зарегистрированы на Земле в Каннуслехто, а затем спустя 1.3—1.4 с достигли спутника Van Allen Probe A по другую сторону геомагнитного экватора.

С учетом общепринятых представлений о генерации хоровых излучений вблизи экватора, единственный сценарий, согласующийся с данными наблюдений, предполагает распространение хоровых элементов от области генерации к ионосфере, частичное прохождение к Земле, частичное отражение от ионосферы и возвращение в область экватора, где они были обнаружены спутником. Довольно высокая амплитуда хоров, измеренная на спутники, свидетельствует либо о хорошем отражении от ионосферы, либо о дополнительном циклотронном усилении в области экватора на пути от ионосферы к спутнику.

Результаты демонстрируют, что дискретные хоровые элементы могут сохранять свою спектральную форму при пробеге от области генерации к Земле, последующем отражении от ионосферы и возвращении в область экватора.

1. Demekhov A.G., Manninen J., Santolík O., Titova E.E. // Geophys. Res. Lett. 2017. V. **44**. P. 11735–11744, doi:10.1002/2017GL076139.

2. Титова Е.Е., Демехов А.Г., Маннинен Ю., Пасманик Д.Л., Ларченко А.В. // Геомагн. аэрон. 2017. Т. **57**. С. 760-773.

ОСОБЕННОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ С ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫМИ ВОЛНАМИ

Грач В.С.[1], **Демехов А.Г.**[2,1]

[1]*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, vsgrach@appl.sci-nnov.ru*
[2] *ПГИ, г. Апатиты, Россия*

В работе анализируется резонансное взаимодействие релятивистских электронов в радиационных поясах Земли с электромагнитными ионно-циклотронными (ЭМИЦ) волнами. Рассматриваются волновые пакеты конечной длины с переменной частотой и двумя различными профилями поля: постоянная амплитуда электрического поля ("прямоугольный" пакет) и амплитуда, распределенная по закону Гаусса ("гауссов" пакет). На основе численного решения системы уравнений движения частиц в заданном поле волны исследуются особенности нелинейных режимов взаимодействия и его эффективность при однократном пролете частицы через волновой пакет.

Исследованы различные нелинейные режимы взаимодействия, возможные при условии достаточно слабой эффективной неоднородности. Помимо известных режимов (бунчировки пролетных частиц и захвата частиц полем волны), в расчетах наблюдался режим "направленного рассеяния" пролетных частиц. Направленное рассеяние представляет собой сильное изменение питч-угла пролетных частиц и при численном моделировании взаимодействия релятивистских электронов с ЭМИЦ волнами впервые наблюдалось в работе [1] для малых начальных питч-углов. В нашей работе показано, что направленное рассеяние возможно в довольно большом диапазоне питч-углов и вызвано длительным пребыванием частицы на фазовой плоскости в области сепаратрисы вдали от седла. Траектории, соответствующие направленному рассеянию, являются переходными между траекториями пролетных и захваченных частиц. Знак изменения питч-угла такой же, как для захваченных частиц, и в рассматриваемом случае, когда пакет ЭМИЦ волн движется от геомагнитного экватора, питч-угол уменьшается. Бунчировка пролетных частиц при взаимодействии релятивистских электронов с ЭМИЦ волнами приводит к небольшому увеличению питч-угла, которое почти не зависит от начальной фазы частицы. Как направленное рассеяние, так и захват частицы полем волны могут привести к высыпанию частиц в конус потерь после однократного пролета частицы через пакет. Для "прямоугольного" пакета роль «направленного рассеяния» незначительна для всех рассмотренных параметров, поскольку таких частиц гораздо меньше чем захваченных ии уменьшение питч-угла для них меньше по модулю. Для "гауссова" пакета эффективность направленного рассеяния (т.е. доля частиц, для которой оно наблюдается, и среднее уменьшение питч-угла) при не очень больших энергиях частицы может превышать эффективность захвата частиц полем волны. Зависимость всех характеристик взаимодействия от энергии электронов и положения пакета относительно геомагнитного экватора существенно ярче выражена для "гауссова" пакета (более близкого к наблюдаемым), чем для "прямоугольного". Различие в характеристиках различных режимов нелинейного взаимодействия для разных профилей амплитуды пакета вызвано как различием в значении параметра эффективной неоднородности, так и различием в эффективной ширине пакета, поскольку размеры области резонансного взаимодействия с ней сравнимы.

1. Kubota Y., Omura~Y. // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2017. V. 122, no. 1. P. 293.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ИОНОСФЕРЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ТОКАМИ В НИЖНИХ СЛОЯХ ИОНОСФЕРЫ

Кузичев И. В., Малыхин А. Ю.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, mar-cuss@yandex.ru

Низкочастотные волны, генерируемые в атмосфере и нижней ионосфере молниевыми разрядами, сигналами наземных ОНЧ передатчиков и другими источниками, и распространяющиеся в ионосфере и магнитосфере Земли в свистовой и ионно-циклотронной модах, играют важную роль в динамике частиц магнитосферы. В верхних слоях ионосферы и в магнитосфере распространение низкочастотных волн хорошо описывается в рамках геометрической оптики, однако в нижних слоях ионосферы, где параметры плазмы меняются быстро и становятся существенны столкновения, геометрическая оптика не применима, и требуется волновое описание. Одна из проблем, связанных с моделированием распространения низкочастотных волн в рамках полного волнового описания - численная неустойчивость. Как известно, в свистовом диапазоне частот дисперсионное уравнение содержит, помимо распространяющейся моды, затухающую моду. При численном решении уравнений наличие затухающей моды приводит к неустойчивости [1]. Для преодоления этой трудности были предложены различные методы, как численные [2], так и аналитические, сводящие полную систему уравнений к приближённой, не содержащей быстро растущих решений [3]. Все эти методы обладают своими достоинствами и недостатками: так, например, аналитический метод [3] работает только для малых углов распространения, а численный метод [2] не позволяет гибко менять точность, поскольку, по сути, аппроксимирует высотную зависимость параметров ионосферы ступенчатой функцией. В данной работе мы провели моделирование распространения низкочастотных волн, решая проблему численной неустойчивости методом Абрамова [4]. Этот метод представляет собой улучшенный вариант метода прогонки. Преимущество данного метода заключается в том, что он даёт быстрое с точки зрения времени вычислений и точное (без учёта численных ошибок) решение поставленной задачи. Кроме того он содержит дополнительные интегралы движения, что улучшает контроль точности интегрирования. Нами были получены решения волнового уравнения для различных источников и различных параметров ионосферы, взятых из модели IRI, рассчитаны коэффициенты прохождения для разных частот. Продемонстрировано квазипериодическое поведение коэффициента прохождения, которое объясняется резонансными свойствами области земля-ионосфера. Особенно ярко квазипериодическое поведение проявляется для случая ночной ионосферы, что, вероятно, связано с меньшими частотами столкновений, чем в случае ночной ионосферы. Результаты наших расчётов согласуются с результатами, полученными в рамках других численных моделей, и с экспериментальными данными.

1. Budden K. G. The Propagation of Radio Waves, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., 1985.
2. Lehtinen N. G., Inan U. S. Radiation of ELF/VLF waves by harmonically varying currents into a stratified ionosphere with application to radiation by a modulated electrojet, J. Geophys. Res. V. 113, № A6. 2008.
3. Kuzichev I. V., Shklyar D. R. On full-wave solution for VLF waves in the near-Earth space, J. Atm. Sol. Terr. Phys. V. 72, № 13. P. 1044–1056. 2010
4. Абрамов А. А., О численной устойчивости одного метода переноса граничных условий, Журнал вычислительной математики и математической физики, том 46, М 3, с. 401-406, 2006

Работа поддержана грантом РФФИ 16-32-00721 мол_а.

НЕЛИНЕЙНЫЕ МГД-ВОЛНЫ В АКУСТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

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

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

Анализ влияния неадиабатических процессов нагрева и охлаждения, протекающих в таких средах как корональная плазма и межзвездный газ, позволил установить, что при специфической зависимости этих процессов от температуры и плотности среды плазма становится акустически активной и в ней возможно усиление акустических и магнитоакустических волн. Условием, при котором происходит подобное усиление волн, является условие изоэнтропической неустойчивости. При этих условиях в среде реализуется положительная обратная связь между тепловыделением и волной, т.е. в максимумах волны тепловыделение увеличивается, а в минимумах наоборот уменьшается. Стоит отметить, что в противоположном случае тепловыделение приводит к дополнительной диссипации волн. При этом как усиление, так и затухание волн зависит частоты самого возмущения.

В общем случае активность среды может преобладать над диссипативными процессами, такими как теплопроводность и вязкость среды и т.д.. В этом случае линейный анализ предсказывает неограниченный рост возмущений, однако фактически данный рост будет ограничен нелинейным переносом энергии между гармониками и затуханием высших гармоник. Наиболее точное описание нелинейных структур, которые могут существовать в подобной среде может быть получено с помощью полной системы уравнений магнитной гидродинамики. Однако в связи с отсутствием аналитического решения данных уравнений и как следствие с потребностью решать их численно, наиболее удобным представляется анализ эволюции волн с помощью нелинейных уравнений, полученных с рядом приближений.

Неадиабатические процессы существенно влияют на дисперсионные характеристики волн, проявляющиеся в частотной зависимости, как инкремента волн, так и фазовой и групповой скорости волн. При этом параметром, разделяющим спектр возможных частот на два диапазона с качественно разными характеристиками, является характерное время нагрева/охлаждения среды. В связи с наличием этой зависимости от частоты применимость нелинейных уравнений не учитывающих данный эффект является ограничена [1]. Так нелинейное уравнение типа модифицированного уравнения Курумато-Сивашинского, получаемое в пределе низких частот качественно может предсказать распад локализованного возмущений на последовательность автоволновых импульсов. Однако спектр получаемых структур выходит за пределы применимости уравнения. Нелинейные уравнение типа уравнения Бюргерса с источником и интегральной дисперсией или уравнения Бюргерса-Фишера для исследуемой области параметров обладают эволюционной неустойчивостью решений по отношению к низкочастотным возмущениям и также ограничено применимы.

В ходе проведенного исследования было получено нелинейное уравнение, описывающее весь спектр возможный частот магнитоакустических волн в активной плазме с учетом диссипации, вызванной теплопроводностью. Аналитически были исследованы его ударноволновые и автоволновые решения. Показана эволюционная устойчивость предсказываемых структур. Исследована зависимость получаемых структур от различных управляющих параметров. Показано, что автоволновые ударные импульсы способны восстанавливать форму после взаимодействия с аналогичными структурами.

Работа частично поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности (проект № 3.1158.2017/4.6), государственного задания ФАНО (проект 0023-2016-0002), РФФИ и Правительства Самарской Области в рамках научных проектов № 17-42-630224, 16-41-630591

1. Molevich, N.E., et al.,. //Astrophysics and Space Science, 2011. V. **334**(1): P. 35-44.

Аннотация

Представлены результаты исследования низкочастотных излучений, возбуждаемых электрическим генератором, установленным на спутнике «Интеркосмос-24». Для этой цели был использован программно управляемый прибор возбуждения плазмы, частота которого изменялась от 0.5 до 19.5 кГц ступенями по 1 кГц и с амплитудой импульсов от 50 до 200 В через каждые 50 В. ОНЧ-приемник располагался на том же спутнике и был синхронизирован с генератором. Проведенный в работе анализ выявил возбуждение КНЧ-шумов, появление пунктирных сигналов типа свистов, а также увеличение длительности импульса, триггерные свисты и эффекты «эхо». Некоторые из этих явлений подобны процессам, возникающим в естественных условиях или стимулированным работой наземных длинноволновых передатчиков. В качестве возможного механизма наблюдаемых эффектов рассматривался ряд теоретических положений, используемых для объяснения естественных сигналов.

Ключевые слова: ОНЧ-КНЧ-излучения, спутник «Интеркосмос-24», электрический генератор

ГАМИЛЬТОНОВ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ 2D и 3D НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР СОЛИТОННОГО ТИПА В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Белашов В.Ю.[1], **Белашова Е.С.**[2]

[1]*КФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com*
[2]*КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия, bel_lena@mail.ru*

Аналитически изучается проблема устойчивости 2D и 3D солитонов и нелинейных волновых пакетов, которые описываются классом уравнений БК [1]:

$$\partial_t u + \mathrm{A}(t,u)u = f, \qquad f = \kappa\int_{-\infty}^{x}\Delta_\perp u dx, \qquad \Delta_\perp = \partial_y^2 + \partial_z^2, \tag{1}$$

где в случае, когда $\mathrm{A}(t,u) = \alpha u\partial_x - \partial_x^2(\nu - \beta\partial_x - \gamma\partial_x^3)$, имеем обобщенное уравнение Кадомцева-Петвиашвили (ОКП), которое при $\beta \equiv 4\pi nT/B^2 << 1$ и $\omega < \omega_B = eB/Mc$, $k\lambda_D << 1$ описывает распространение быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн в замагниченной плазме с $k_x^2 >> k_\perp^2$, $v_x << c_A$ вблизи конуса углов $\theta = \arctan(M/m)^{1/2}$. При этом функция u имеет смысл безразмерной амплитуды магнитного поля волны, $h = B_\sim / B$, коэффициенты определяются значениями параметров плазмы и углом $\theta = (\mathbf{B},\mathbf{k})$. Если же $\mathrm{A}(t,u) = 3s|p|^2 u^2\partial_x - \partial_x^2(i\lambda + \nu)$, уравнение (1) переходит в 3-мерное (3D) уравнение Шредингера с производной нелинейного члена (3-DNLS), которое при $\beta > 1$ описывает динамику альфвеновских волн, распространяющихся в направлении, близком к $\mathbf{B}$, $u = h = (B_y + iB_z)/2B|1-\beta|$, $\mathbf{h} = \mathbf{B}_\perp / B_0$, где $p = (1+ie)$, а e – эксцентриситет эллипса поляризации волны. Верхний и нижний знаки $\lambda = \pm 1$ отвечают волне с круговой правой и левой поляризацией соответственно, знак нелинейности учитывается коэффициентом $s = \mathrm{sgn}(1-p) = \pm 1$ при нелинейном члене; $\kappa = -r_A/2$, $r_A = v_A/\omega_{0i}$.

Уравнения (1) не являются в общем случае полностью интегрируемыми, и вопрос существования неодномерных солитонных их решений требует специального исследования, которое проводится на основе анализа трансформационных свойств гамильтонианов соответствующих уравнений [2]. Уравнения записываются в бездиссипативном случае в гамильтоновском виде: $\partial_t u = \partial_x(\delta \mathrm{H}/\delta u)$, и стационарные решения определяются из вариационной задачи [3]: δ (H + vP_x) = 0 ($P_x = (1/2)\int u^2 d\mathbf{r}$ – проекция импульса на ось x; v имеет смысл множителя Лагранжа), которая иллюстрирует тот факт, что все финитные решения уравнения (2) являются стационарными точками гамильтониана при фиксированном P_x. Исследуется ограниченность H (снизу) при фиксированном P_x.

В результате строго доказано, что уравнение ОКП может иметь как абсолютно, так и локально устойчивые решения в виде 2D и 3D солитонов, и найдены соответствующие условия на коэффициенты, т.е., в конечном счете, на параметры плазмы и БМЗ волны. В рамках модели уравнения 3-DNLS установлено, что оно может иметь 3D устойчивые решения в форме 3D альфвеновских солитонов, и также найдены условия для их существования.

1. Belashov V.Yu., Vladimirov S.V. Solitary Waves in Dispersive Complex Media. Theory, Simulation, Applications. Springer-Verlag GmbH & Co. KG, 2005. 305 p.
2. Белашов В.Ю. // ДАН СССР, 1991. Т. 320. № 1. С. 85.
3. Белашов В.Ю., Белашова Е.С. Солитоны: теория, моделирование, приложения. Казань: РИЦ «Школа», 2016. 270 с.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ АЛЬФВЕНОВСКИХ ВОЛН В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ ИЗОЭНТРОПИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВОЙ СРЕДЕ

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

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

В качестве возможного механизма возникновения альфвеновских волн большой амплитуды в нижних слоях солнечной атмосферы рассматривается параметрическая перекачка энергии от сильных магнитоакустических волн слабым альфвеновским волнам. Подобное взаимодействие было рассмотрено в работах [1,2], где показано, что в изоэнтропически неустойчивой тепловыделяющей плазме в областях с бета-плазмы, большей единицы, возможно эффективное усиление альфвеновских волн в результате параметрического распада магнитоакустических волн, распространяющихся вдоль магнитного поля. Еще одним примером параметрического взаимодействия является свинг-волновое взаимодействие (swing wave-wave interaction) между быстрыми магнитоакустическими волнами, ортогонально направленными к направлению магнитного поля, и альфвеновской волной, распространяющейся вдоль магнитного поля [3,4], механизм которого состоит в том, что магнитоакустическая волна периодически воздействует на скорость распространения альфвеновской волны через изменение компоненты продольного магнитного поля.

В данной работе рассмотрено развитие свинг-волнового взаимодействия в тепловыделяющей среде с конечной электрической проводимостью. Для описания ортогонального взаимодействия альфвеновской волны с быстрой магнитоакустической волной в слабо нелинейном приближении для амплитуды альфвеновской волны было получено уравнение, переходящее в уравнение Матьё в отсутствии тепловыделения и проводимости. Отсюда следует, что в бесконечно проводящих не тепловыделяющих средах в результате взаимодействия с быстрой волной будет происходить экспоненциальный рост амплитуды альфвеновской волны. При учете конечной проводимости появляются пороговое условие возникновения параметрического усиления альфвеновских волн и ограничение на время существования режима усиления.

Учет тепловыделения в среде может привести либо к еще большему затуханию быстрых МА волн и уменьшению времени существования параметрического усиления альфвеновских волн, либо, в изоэнтропически неустойчивых средах, напротив, к усилению быстрых МА волн, которое посредством параметрического взаимодействия с альфвеновскими волнами приводит к би-экспоненциальному росту амплитуды последних. Данный рост будет ограничен не учитываемой в настоящем слабо нелинейном рассмотрении потерей энергии МА волны в результате параметрической перекачки энергии в альфвеновскую волну. Подобные результаты для коллинеарной геометрии взаимодействия магнитогазодинамических волн были получены ранее в [1,2].

Работа частично поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности (проект № 3.1158.2017/4.6), государственного задания ФАНО (проект 0023-2016-0002), РФФИ и Правительства Самарской Области в рамках научных проектов № 17-42-630224, 16-41-630591.

1. D.I. Zavershinsky, N.E. Molevich // Tech. Phys. Lett. 40, 701(2014).
2. D. I. Zavershinsky, N.E. Molevich // Astrophysics and Space Science. 2015. V. 358. Iss.1.
3. T. V. Zaqarashvili, B. Roberts // Physical review E. 2002. 66, 026401.
4. B. M. Shergelashvili1, T. V. Zaqarashvili, S. Poedtsl, B. Roberts // A&A 429, 767–777 (2005)

КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОРСИОННЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ И МЕДЛЕННЫХ МАГНИТОЗВУКОВЫХ ВОЛН, СОЗДАВАЕМЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ СГУСТКАМИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ. ЧАСТОТА И СКОРОСТЬ РАЗЛЕТА СГУСТКОВ.

Березуцкий А.Г., Тищенко В.Н., Шайхисламов И.Ф., Мирошниченко И.Б.

ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, a.berezuckiy@yandex.ru

В работе исследуется механизм объединения волн (МОВ), позволяющий генерировать торсионные альфвеновские (АВ) и медленные магнитозвуковые волны (МВ), создаваемые периодическими плазменными сгустками и распространяющиеся вдоль силовых линий магнитного поля [1-4]. МОВ действует, если параметры сгустков удовлетворяю набору критериев. В настоящей работе исследуется влияние Альфвеновского числа Маха (M_A) на интенсивность АВ, а также безразмерной частоты (ω) повторения сгустков на объединение волн и их спектр. Критерии позволяют определить параметры плазменного источника в зависимости от свойств окружающего фона в лабораторном и в натурном эксперименте.

Методы исследования – численное моделирование на кластерах [1, 2] и эксперименты на стенде КИ-1 ИЛФ СО РАН [3, 4], где сгустки создавались в результате последовательного облучения мишени импульсами CO_2-лазеров с энергией Q~200 Дж.

С использованием численного моделирования получены следующие результаты. Интенсивные АВ и МВ формируются в диапазоне M_A~0.5÷2, максимальны при M_A~1. Определен диапазон частот ω_p~0.2÷0.4, в котором сгустки создают АВ и МВ. Увеличение количества сгустков сопровождается увеличением длины волн и смещением их спектра в низкочастотную область. В области $\omega >> \omega_p$ длина волн слабо зависит от количества сгустков. При $\omega << \omega_p$ формируется последовательность альфвеновских и медленных магнитозвуковых волн, спектр которых содержит линии на частоте повторения сгустков ω и их обертоны, что обуславливает затухание таких волн.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0307-2016-0002.

1. Тищенко В.Н., Шайхисламов И.Ф. // Квантовая электроника. 2014. Т. 44. № 2. С. 98-101.

2. Тищенко В.Н., Шайхисламов И.Ф., Березуцкий А.Г.// Альманах Московского государственного университета. 2015, С. 65.

3. Tishchenko V.N., Zakharov Yu.P., Shaikhislamov I.F., Berezutskiy A.G., Boyarintsev E.L., Melekhov A.V., Ponomarenko A.G., Posukh V.G., Prokopov P.A. // JETP Letters, 2016. V 104, N5, P. 293-296.

4. Тищенко В.Н., Березуцкий А.Г., Бояринцев Э.Л., Захаров Ю.П., Мелехов А.В., Мирошниченко И.Б., Пономаренко А.Г., Посух В.Г., Шайхисламов И.Ф.// Квантовая электроника. - 2017. - Т.47, N 9. - С. 849-852.

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОПОЛОСНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ PC1 ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ МАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ.

Е.Н. Ермакова, Д.С. Котик

НИРФИ ННГУ им. Н. И. Лобачевского, г. Н. Новгород, Россия, l.ermakova@nirfi.unn.ru

А.Г. Яхнин, Т.А. Яхнина

ПГИ, г. Апатиты, Россия, yahnin@pgia.ru

А.Г. Демехов

ПГИ, г. Апатиты; ИПФ РАН, г. Н.Новгород, Россия, andrei@appl.sci-nnov.ru

Исследованы особенности спектров поляризации долгоживущих многополосных излучений в диапазоне Pc1 на примере события, зарегистрированного 05-06.03.2011. Анализировались спектры поляризационного параметра и азимутального угла, определяющего пространственную ориентацию эллипса поляризации пульсаций Pc1. Использованы низкочастотные данные среднеширотных станций, высокоширотной станции Ловозеро, данные финской цепочки магнитометров и данные низкоорбитальных спутников NOAA по регистрации локализованных высыпаний энергичных протонов (ЛВЭП).

Обсуждается наблюдаемая в одном из событий ярко выраженная частотная зависимость поляризации в “гелиевой” полосе Pc1 (ниже экваториальной гирочастоты He+) и более однородное распределение поляризационного параметра и азимутального угла в “протонной” полосе (ниже экваториальной гирочастоты протонов) в период регистрации множественных ЛВЭП. Степень неоднородного распределения поляризации излучения Pc1 на разных станциях коррелирует с разбросом по геомагнитным долготам областей генерации ЭМИЦ волн, ассоциированных с локализованными по широте изолированными всплесками высыпаний энергичных (E>30 кэВ) протонов на широтах плазмопаузы. Более однородное распределение поляризации в “протонной” полосе могло быть связано с тем, что за генерацию этой полосы были ответственны источники волн, расположенные в более узком долготном секторе.

Обнаружено необычное различие в величинах азимутального угла ψ в “протонной” и “гелиевой” полосах Pc1 при регистрации одиночных источников на высоких широтах. Высказано предположение, что это различие могло быть связано с различной пространственной протяженностью области выхода излучения в ионосферу на частотах “гелиевой” и “протонной” полос.

Проанализирована возможность локации места выхода излучения Pc1 на землю по определению величин азимутального угла ψ в “гелиевой” полосе на разных наземных обсерваториях. Для среднеширотных станций большая ось эллипса поляризации была ориентирована, в основном, вдоль направления на вероятный источник (область выхода ЭМИЦ волн на Землю при распространении вдоль геомагнитного поля) с вариациями в небольшом секторе углов ($\pm 10\text{-}12^0$). Для высокоширотных станций, напротив, малые изменения направления на вероятный источник могли приводить к большим (до 60^0) изменениям угла ψ, и вектор магнитного поля мог быть ориентирован как почти вдоль направления на источник, так и под большими углами к нему. Таким образом, для этих станций корреляция между изменениями направления на источник и угла ψ отсутствовала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 15-42-02544-р_поволжье_а.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПЛАЗМОЙ НА КРУПНОМАСШТАБНОМ СТЕНДЕ "КРОТ": РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

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

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

Стенд «Крот» представляет собой высокочастотный индукционный источник низкотемпературной плазмы в объеме до нескольких десятков кубических метров. Установка характеризуется высокой степенью однородности плазмы, замагниченной или без магнитного поля, по всем трем измерениям; она позволяет проводить масштабное лабораторное моделирование ионосферных и магнитосферных явлений в приближении «безграничной» плазмы. В 2017 году выполнена существенная модернизация стенда «Крот» за счет создания нового генератора импульсного магнитного поля, а также проведена серия экспериментов по изучению распространения радиоимпульсов различных частотных диапазонов и создаваемых ими плазменных возмущений. В докладе представлены последние результаты, полученные на стенде.

Во-первых, исследованы бесстолкновительные эффекты взаимодействия с замагниченной плазмой коротких импульсов радиоизлучения, подводимых к антеннам различных типов, в том числе – в условиях электронного циклотронного резонанса (ЭЦР). Применительно к постановке активных экспериментов в ионосфере и магнитосфере изучены возмущения плазмы и магнитного поля, создаваемые при радиоимпульсном воздействии; установлены свойства неоднородных плазменных структур и магнитных возмущений, обусловленных формированием потоков укоренных электронов. При воздействии на плазму периодической последовательности радиоимпульсов в условиях ЭЦР определен спектр волновых векторов низкочастотного излучения, возбуждаемого в обширной плазменной области модулированным электронным потоком.

Во-вторых, на стенде «Крот» проведены первые в мировой практике успешные эксперименты по генерации и распространению сверхширокополосных электромагнитных импульсов излучения (СШП ЭМИ) в диапазоне длительностей 100 – 500 пс в плазме длиной около 5 м и диаметром более 1 м. На трассе распространения СШП ЭМИ исследованы эффекты дисперсионной трансформации амплитудно-волновой формы излучения в плазме без магнитного поля, а также при наличии внешнего магнитного поля в условиях, в которых частотный спектр импульсного сигнала включает частоту ЭЦР и ее гармоники. В связи с полученными экспериментальными результатами обсуждаются возможности лабораторного моделирования распространения сверхкоротких электромагнитных импульсов в околоземной плазме.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0035-2014-0028, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 16-02-01156-а.

ГЕНЕРАЦИЯ НИЖНЕГИБРИДНЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ЛУНОЙ

Извекова Ю.Н.[1,2,3], Морозова Т.И. [1,2], Попель С. И. [1,2,3]

[1]*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, popel@iki.rssi.ru*

[2]*МФТИ, г. Долгопрудный, Россия*

[3]*ВШЭ, г. Москва, Россия*

Рассматривается взаимодействие лунной плазменно-пылевой системы с магнитосферой Земли. Окололунная плазма представлена преимущественно заряженными частицами реголита и фотоэлектронами, магнитосферная плазма состоит из электронов и ионов. Параметры плазмы у поверхности Луны рассчитаны с использованием модели [1], согласно которой у лунной поверхности характерные концентрации пылевых частиц размером порядка 100 нм составляют 10^3 $см^{-3}$. Концентрации и температуры электронов плазмы хвоста магнитосферы Земли вблизи Луны были измерены космическим аппаратом ARTEMIS [2], согласно этим данным концентрации электронов и ионов магнитосферы на два-три порядка меньше соответствующих параметров солнечного ветра, температура ионов возрастает на два порядка по сравнению с температурой ионов солнечного ветра, температура электронов изменяется незначительно. Показано, что в присутствии магнитного поля возможна генерация нижнегибридных волн, при этом учитывается магнитное поле магнитосферы и лунные магнитные аномалии. Получены дисперсионные соотношения и инкременты неустойчивости нижнегибридных волн с учетом движения окололунной плазмы относительно земной магнитосферы. Обсуждается возможность распространения нижнегибридных солитонов у поверхности Луны.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 17-12-01458 «Методы исследований динамики пылевых частиц безатмосферных тел».

1. Попель С.И., Копнин С.И., Голубь А.П., Дольников Г.Г., Захаров А.В.,. Зеленый Л.М, Извекова Ю.Н. //Астрономический вестник. 2013. Т. 47. № 6. С. 455.

2. Vaverka, J., Richterová I., Pavlů J., Šafránková J., and Němeček Z., Astrophys. J., 2016, 825, 133.

ЕЩЕ ОДИН НОВЫЙ ВИД ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В АВРОРАЛЬНЫХ ШИРОТАХ

Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Турунен Т., Громова Л.И.

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

Применение цифровой фильтрации интенсивных импульсных атмосфериков при регистрации ОНЧ излучений (0.5-39 кГц) в авроральных широтах на финской станции Каннуслехто (Kannuslehto, L~5.5) позволило обнаружить новые, не известные ранее виды ОНЧ излучений на частотах выше 5-6 кГц. Помимо обсуждаемых прежде дневных всплесков высокочастотных дискретных ОНЧ излучений («птички»), был выявлен еще один новый вид квазипериодических излучений на необычно высоких (7-11 кГц) частотах, т.е. значительно выше экваториальной электронной гирочастоты на L~5.5 (f_{He} ~ 5.3 кГц). В отличие от атмосфериков обсуждаемые излучения были право-поляризованными. Детально рассмотрены два события. В одном из них динамический спектр излучений походил на серию повторяющихся каждые 20 минут «пуль» с очень резким, почти мгновенным окончанием. Во втором событии период повторения коротких (~ 1 мин) шумовых всплесков в полосе частот 9-10 кГц составлял около 3 мин при отсутствии геомагнитных пульсаций соответствующих периодов. Можно предположить, что рассмотренные ОНЧ излучения генерировались за счет циклотронной неустойчивости на более низких *L*-оболочках, по-видимому, внутри плазмосферы.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН № 28.

ELECTRON BEAM-PLASMA INSTABILITY IN THE RANDOMLY INHOMOGENEOUS SOLAR WIND.

V. Krasnoselskikh, C. Krafft, A. Voshchepynets, A. Volokitin

LPC2E/CNRS, Orléans, France, vkrasnos@gmail.com

We propose a new model that describes effects of plasma density fluctuations in the solar wind on the relaxation of the electron beams ejected from the Sun during the solar flares. The density fluctuations are supposed to be responsible for the changes in the local phase velocity of the Langmuir waves generated by the beam instability. We use the property that for the wave with a given frequency the probability distribution of density fluctuations uniquely determines the probability distribution of phase velocity of wave. We replace the continuous spatial interval by a discrete one, consisting of small equal spatial subintervals with linear density profile. This approach allows us to describe the changes in the wave phase velocity during the wave propagation in terms of probability distribution function. Using this probability distribution, we describe resonant wave particle interactions by a system of equations, similar to a well-known quasi-linear approximation, where the conventional velocity diffusion coefficient and the wave growth rate are replaced by the averaged in the velocity space. The averaged diffusion coefficient and wave growth rate depend on a form of the probability distribution function for the density fluctuations. This last distribution is obtained from the spectrum of the density fluctuations measured aboard ISEE satellites when they were in the solar wind. It was shown that the process of relaxation of electron beam is accompanied by transformation of significant part of the beam kinetic energy to energy of the accelerated particles via generation and absorption of the Langmuir waves. We discovered that for the very rapid beams with beam velocity $v_b > 15v_t$, where v_t is a thermal velocity of background plasma, the relaxation process consists of two well-separated steps. On first step the major relaxation process occurs and the wave growth rate almost everywhere in the velocity space becomes close to zero or negative. At the second stage the system remains close to the state of marginal stability long enough to explain how the beam may be preserved traveling distances over 1 AU while still being able to generate the Langmuir waves.

ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ, УСТАНОВЛЕННЫМ НА СПУТНИКЕ.

Ю.М. Михайлов

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

Представлены результаты исследования низкочастотных излучений, возбуждаемых электрическим генератором, установленным на спутнике «Интеркосмос-24». Для этой цели был использован программно управляемый прибор возбуждения плазмы, частота которого изменялась от 0.5 до 19.5 кГц ступенями по 1 кГц и с амплитудой импульсов от 50 до 200 В через каждые 50 В. ОНЧ-приемник располагался на том же спутнике и был синхронизирован с генератором. Проведенный в работе анализ выявил возбуждение КНЧ-шумов, появление пунктирных сигналов типа свистов, а также увеличение длительности импульса, триггерные свисты и эффекты «эхо». Некоторые из этих явлений подобны процессам, возникающим в естественных условиях или стимулированным работой наземных длинноволновых передатчиков. В качестве возможного механизма наблюдаемых эффектов рассматривался ряд теоретических положений, используемых для объяснения естественных сигналов.

ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗРАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ ПО ДАННЫМ ВЫСОКОШИРОТНЫХ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РАЗНЕСЕННЫХ ТОЧКАХ.

А.С. Никитенко, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, alex.nikitenko91@gmail.com

Результаты наземных наблюдений естественных шумовых ОНЧ излучений свидетельствуют о том, что не зависящие от амплитуды параметры этих излучений, такие как, например, азимутальный угол вектора Пойнтинга и индекс круговой поляризации, изменяются во времени случайным образом и, следовательно, характеризуются плотностями распределения вероятности. Для описания пространственного распределения интенсивности ОНЧ волн, приходящих из ионосферы к наземному наблюдателю, в геофизике часто используется термин «область выхода». Плотности распределения вероятности перечисленных выше параметров в большой степени определяются формой области выхода и ее расположением относительно точки наблюдения. В работе представлен метод оценки области выхода естественных ОНЧ излучений по данным наземных наблюдений, основанный на анализе измеренных плотностей распределения. Представлены результаты оценки положения и формы области выхода выделенных ОНЧ событий, зарегистрированных в обсерваториях Ловозеро и Верхнетуломский. Оценка проведена на основе сравнения плотностей распределения вероятности азимутального угла вектора Пойнтинга и индекса круговой поляризации, полученных в результате наземных наблюдений, и результатов моделирования распространения пространственно ограниченного областью выхода пакета случайных свистовых волн к земной поверхности. Область выхода располагалась на высоте 120 км. Моделирование распространения волнового пакета через ионосферу к земной поверхности проведено при помощи численного решения волнового уравнения в плоско-слоистой ионосферной плазме.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ГЕНЕРАЦИИ НИЖНЕГИБРИДНЫХ ВОЛН В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ

Пасманик Д.Л., Демехов А.Г.

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

Проведено теоретическое исследование генерации нижнегибридных (НГР) волн в плазме авроральной ионосферы потоками протонов с энергиями порядка 1 кэВ. Такие протоны с поперечной анизотропией могут возбуждать НГР волны на гармониках локальной протонной гирочастоты. Наиболее эффективно генерация происходит при выполнении так называемого условия двойного резонанса: $\omega_{LHR} = s\omega_H$, где ω_{LHR} – локальная частота нижнегибридного резонанса, ω_H – протонная гирочастота, s – целое число. В неоднородной плазме частота нижнегибридного резонанса, в отличие от гирочастоты, зависит не только от высоты, но и от координаты поперек магнитного поля. В результате возможно существование выделенных областей пространства, где выполнено условие двойного резонанса и которые будут генерировать шумовое НЧ излучение с полосовой (гармонической) структурой спектра.

В работе используются методы геометрической оптики, позволяющие учесть неоднородности распределения ионосферной плазмы как вдоль, так и поперек магнитного поля, при вычислении усиления волны вдоль её траектории распространения. Показано, что при реалистичных параметрах холодной плазмы и потоков энергичных частиц, усиление может достигать больших значений, обеспечивая формирование сигналов с полосовой структурой. На основе полученных результатов обсуждается возможность наблюдения подобных волн на наземных станциях.

ULF WAVES AS OBSERVED BY SWARM SATELLITE AND GROUND STATIONS

Martines-Bedenko V.A., Pilipenko V.A.

Institute of Physics of the Earth, Moscow ngmazur@mail.ru, enfedorov1@yandex.ru
Space Research Institute, Moscow pilipenko_va@mail.ru

We have examined simultaneous ULF activity in the Pc3-5 band at the meridional network of magnetic stations from AMBER and CARISMA/MACCS arrays and low-orbiting SWARM satellite. At the nighttime, Pc3 waves in the upper ionosphere and on the ground are nearly of the same magnitude and in-phase. The daytime Pc3 pulsations are several times more intense on the ground than in space, and they are nearly out-of-phase. Comparison of observational results with the existing notions on the MHD wave interaction with the system ionosphere - atmosphere - ground suggests that nighttime low-latitude Pc3 wave signatures are produced by magnetospheric fast magnetosonic mode. At the same time, daytime near-equatorial Pc3 waves still resist a quantative interpretation. We suppose that these waves are not produced by a compressional mode leakage through the ionosphere, but by oscillatory ionospheric current spreading towards equatorial latitudes.

This study is supported by the grant № 16-17-00121 from the Russian Science Foundation.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОТОННЫХ ВЫСЫПАНИЙ ВО ВРЕМЯ СЖАТИЯ МАГНИТОСФЕРЫ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ.

Попова Т.А., Яхнин А.Г., Яхнина Т.А.

ПГИ, г. Апатиты, Россия, tarkada@yandex.ru

Протонные сияния к экватору от овала сияний отображают область магнитосферы, где развивается ионно-циклотронная (ИЦ) неустойчивость. Сопоставления магнитосферных проекций таких протонных сияний с положением плазмопаузы, а также прямые наблюдения концентрации холодной плазмы показали, что развитие ИЦ неустойчивости на дневной стороне во время сжатия магнитосферы импульсами давления солнечного ветра происходит в области низких значений концентрации холодной плазмы, за плазмосферой.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФУЗИИ ЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭМИЦ ВОЛНАМИ В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ THEMIS

Попова Т.А.[1], Любчич А.А.,[1] Демехов А.Г.[1,2]

[1]*ПГИ, г. Апатиты, Россия, tarkada@yandex.ru*
[2]*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

По данным спутников THEMIS и Van Allen Probes проанализировано несколько случаев наблюдения ЭМИЦ волн в различных частотных интервалах (а именно, протонной, гелиевой и кислородной полосах). Отметим, что во время рассматриваемых событий наблюдались высыпания энергичных протонов на низкоорбитальных спутниках POES. Используя частотный профиль интенсивности ЭМИЦ волн, данные о величине магнитосферного магнитного поля и плотности холодной плазмы, были рассчитаны коэффициенты питч-угловой диффузии энергичных протонов на разных энергиях и питч-углах. Расчеты проводились в предположении, что холодная плазма содержит электроны, протоны, однократно ионизованные ионы гелия и кислорода. Результаты расчетов сопоставлялись с измеренными питч-угловыми распределениями потоков энергичных протонов. В целом, вид измеренных питч-угловых распределений согласуется с ожидаемым на основании расчета коэффициентов питч-угловой диффузии.

ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ СЕРПЕНТИННОЙ ЭМИССИИ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ХАРАКТЕРНЫМИ ПЕРИОДАМИ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Довбня Б.В., Потапов А.С.

ГО Борок ИФЗ РАН, Ярославская область, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru
ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru

Серпентинная эмиссия – уникальное явление в мире электромагнитных волн, непрерывно проникающих к земной поверхности из космического пространства. Излучение было обнаружено в 70-е годы прошлого столетия в Антарктиде на ст. Восток при анализе записей на магнитную ленту переменного электромагнитного поля. По своим свойствам обнаруженные колебания заметно отличались от известных типов геомагнитных пульсаций. Они были квазинепрерывны и могли часами, а иногда и сутками наблюдаться на полюсе при спокойной и умеренной геомагнитной обстановке. Наиболее заметное различие состояло в непрерывной модуляции несущей частоты излучения – за время от нескольких минут до 1 часа она могла изменяться на 1–2 октавы в диапазоне частот от 0.01 до 5 Гц, так что на спектрограмме излучение имело вид непрерывно извивающейся темной полосы, напоминающей ползущую змейку, что дало основание авторам назвать новое явление *серпентиной эмиссией* (*serpentine emission — SE*).

В данной работе по данным антарктической станции Восток за период с 1966 по 1971 годы исследуются свойства частотной модуляции геомагнитных пульсаций типа серпентинная эмиссия. Методом спектрального анализа колебаний выбранных событий выявлен ряд модуляционных периодов в интервале от 1 до 60 минут. Наиболее часто встречается 5-минутный период модуляции частоты SE. Проведено сравнение полученных результатов с результатами наблюдений колебательных движений атмосферы Солнца. Обнаружено соответствие периодов модуляции частоты SE периодам осцилляций солнечной фотосферы. Тем самым подтверждается высказанная ранее гипотеза о существовании генетической связи частотной модуляции эмиссии с пульсациями солнечной поверхности.

Работа выполнена в рамках Госзадания 0344-2016-0004 при частичной финансовой поддержке РФФИ, гранты 16-05-00631, 16-05-00056.

АЛЬВЕНОВСКИЕ ВОЛНЫ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И ЭФФЕКТ ТРОИЦКОЙ-БОЛЬШАКОВОЙ

Потапов А.С., Полюшкина Т.Н.

ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru

В конце 1960-х годов Троицкая и Большакова обнаружили интересный эффект воздействия ориентации межпланетного магнитного поля (ММП) на амплитудный режим дневных устойчивых геомагнитных пульсаций Pc3. Ими было показано, что пульсации исчезают при отклонении вектора ММП от линии Солнце-Земля на 90°. Позднее это явление было подтверждено в ряде работ других авторов, а найденный эффект был интерпретирован в рамках гипотезы о возбуждении пульсаций Pc3 перед фронтом околоземной ударной волны за счет неустойчивости потока отраженных от фронта ионов. Согласно этой гипотезе, возбуждаемые отраженными ионами волны сносятся солнечным ветром на ударный фронт и проникают через него и магнитопаузу в магнитосферу, вызывая колебания геомагнитного поля, регистрируемые на земле в виде пульсаций Pc3.

В данной работе на примере двух десятков 6-часовых интервалов наблюдения геомагнитных пульсаций типа Pc3 продемонстрировано воздействие изменений направления ММП на амплитуду пульсаций. Показано, что источником изменений конусного угла ММП часто являются альвеновские волны, распространяющиеся в солнечном ветре. Для анализа привлекались измерения геомагнитных пульсаций на среднеширотной обсерватории Узур и на трех космических аппаратах за пределами околоземной ударной волны. Результаты показывают, что влияние оказывают лишь волны с периодом более 40–60 мин в неподвижной относительно Земли системе координат. Альвеновская турбулентность более высокой частоты некогерентна, колебания носят хаотический характер, не согласованный по амплитуде и фазе ни между спутниками, ни с вариациями амплитуды Pc3. В отдельных случаях модуляция амплитуды пульсаций оказывается связанной с прохождением границы сектора ММП. Оценка направления распространения альвеновских волн показала, что преимущественно они распространяются от Солнца, но нормали волновых фронтов могут отклоняться от линии Солнце-Земля. Это вполне согласуется с ранее опубликованными результатами. Приведена статистика основных свойств колебательных структур в межпланетной среде, обнаруженных нами в период наблюдений.

Работа выполнена в рамках Госзадания 0344-2016-0004 при частичной финансовой поддержке РФФИ, гранты 16-05-00631, 16-05-00056.

ОРИЕНТАЦИЯ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ВЕРОЯТНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЯ УНЧ ИМПУЛЬСОВ В ПОЛЯРНЫХ ШАПКАХ

Потапов А.С., Довбня Б.В.

ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru
ГО Борок ИФЗ РАН, Ярославская область, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru

Волновая активность магнитосферы в ультранизкочастотном (УНЧ) диапазоне характеризуется тонкой реакцией на величину и ориентацию межпланетного магнитного поля (ММП). Давно и хорошо известна зависимость частоты дневных перманентных колебаний Pc3 от величины ММП [1–2]. Амплитуда Pc3, напротив, зависит от ориентации ММП, причем довольно специфическим образом (наблюдается так называемый эффект Троицкой-Большаковой, подробнее об этом см. в работе [3]). В дополнение к этому следует указать, что от ориентации ММП зависит частота колебаний Pc1–2 типа SE (*Serpentine emission*) в полярных шапках [4].

В данной работе поставлен вопрос о влиянии ориентации силовых линий межпланетного магнитного поля (ММП) на северо-южную асимметрию вероятности появления ультранизкочастотных (УНЧ) дискретных волновых пакетов Pi1 в полярных шапках. В зависимости от указанной ориентации область так называемого форшока (области перед околоземным ударным фронтом, силовые линии ММП в которой пронизывают фронт) располагается к югу, или к северу от плоскости геомагнитного экватора. Путем анализа данных антарктической обсерватории Восток показано, что в южной полярной шапке вероятность наблюдения Pi1 примерно в два раза выше при южной ориентации форшока, чем при северной. Результат свидетельствует о том, что, по крайней мере, заметная часть волновых пакетов Pi1 проникает в магнитосферу из межпланетной среды.

Работа посвящается памяти профессора В.А. Троицкой (1917–2010). Исследование выполнено в рамках Госзадания 0344-2016-0004 при частичной финансовой поддержке РФФИ, гранты 16-05-00631, 16-05-00056.

1. Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973. 208 с.
2. Потапов А.С. // Исслед. геомагн. аэрон. физ. Солнца 1974. Вып. **34**. С. 3–12.
3. Potapov A.S., Polyushkina T.N., Guglielmi A.V. // Planetary Space Sci. 2017. Submitted.
4. Guglielmi A., Potapov A., Dovbnya B. // Solar Phys. 2015. V. **290**. P. 3023.

ПРОТОННЫЕ СИЯНИЯ К ЭКВАТОРУ ОТ ОВАЛА КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ИОННО-ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ (КРАТКИЙ ОБЗОР)

А.Г. Яхнин[1], Т.А. Яхнина[1], Н.В. Семенова[1], Т.А. Попова[1], А.Г. Демехов[1] [2]

[1]*Полярный геофизический институт, Апатиты, ayahnin@gmail.com*
[2] *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, andrei@appl.sci-nnov.ru*

Представлен краткий обзор различных форм протонных сияний, наблюдавшихся на спутнике IMAGE к экватору от овала протонных сияний. Эти сияния вызваны высыпаниями энергичных протонов из земной магнитосферы при развитии ионно-циклотронной неустойчивости. Кроме рассмотренных ранее форм протонных сияний (пятен, дуг на вечерней стороне, дневных вспышек) описан новый вид - долгоживущие протонные сияния на дневной стороне. Приведена схема взаимосвязи различных протонных сияний к экватору от овала с распределением холодной плазмосферной плазмы.

РАЗВИТИЕ АНИЗОТРОПНЫХ МГД-СТРУКТУР В СРЕДАХ С ИЗОЭНТРОПИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Рящиков Д С. **Молевич Н.Е., Завершинский Д.И.**

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

В ходе текущего исследования было проведено двумерное численное моделирование эволюции шума в плазме с изоэнтропической (акустической) неустойчивостью. Результаты моделирования продемонстрировали возможность образования сильно анизотропных пространственно-временных структур, таких как страйп-структуры, в исследуемой среде.

Рассматриваемая среда описывалась с помощью системы уравнений идеальной магнитной гидродинамики, дополненной источником тепловыделения, зависящим от температуры и плотности, для учёта неадиабатических процессов нагрева и охлаждения (химические реакции, радиационное охлаждение и т.п.). Было проведено две серии численного моделирования: в первой серии пренебрегалось процессами диссипации, а во второй рассматривалось влияние анизотропного коэффициента теплопроводности на форму образующихся структур. В качестве начальных условий были заданы случайные флуктуации давления малой амплитуды. На границах исследуемой области были заданы периодические граничные условия.

В одномерном случае, наличие в среде изоэнтропической неустойчивости приводит к образованию ударноволновых импульсов, обладающих свойствами автоволн, и способных к восстановлению своей формы после взаимодействия с подобными структурами [1-2]. Однако одномерный анализ не учитывает, в частности, различие в направлениях фазовой групповой скорости и волн и его применимость для описания двумерных структур является существенно ограниченной. Проведенное в ходе исследование двумерное численное моделирование эволюции волн показывает, что магнитоакустические волны также образуют ударноволновые самоподдерживающиеся импульсы, способные к восстановлению своей формы.

Результаты моделирования показывают, что развитие шумоиндуцированных структур можно разделить на два характерных этапа. Так, на первом этапе моделирования различие инкрементов МГД-волн вдоль и поперёк магнитного поля может приводить к образованию страйп-структур, которые вытянуты перпендикулярно полю (бета плазмы $\beta < 1$) или вдоль поля (бета плазмы $\beta > 1$, сильная теплопроводность вдоль магнитного поля). На втором этапе в случае слабого магнитного поля ($\beta > 1$) формируется ячеистая структура, а в случае сильного магнитного поля ($\beta < 1$) становятся наиболее заметными ударные волны, распространяющиеся вдоль магнитного поля.

Таким образом, численное моделирование демонстрирует сильную зависимость формы формирующихся в изоэнтропической среде структур от величины внешнего магнитного поля и анизотропного коэффициента теплопроводности и показывает возможность образования страйп-структур, вытянутых как вдоль, так и поперёк линий внешнего магнитного поля. Полученные результаты могут найти применение при исследовании пространственно-временных структур, формирующихся в солнечной короне или межзвёздном газе.

Работа частично поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности (проект № 3.1158.2017/4.6), государственного задания ФАНО (проект 0023-2016-0002), РФФИ и Правительства Самарской Области в рамках научных проектов № 17-42-630224, 16-41-630591.

1. Zavershinskiy D.I., Molevich N.E., Ryashchikov D.S. // Procedia Engineering 2015. V. **10** . P.363-367.
2. Molevich N.E., Zavershinskiy D.I., Ryashchikov D.S. // Magnetohydrodynamics 2016. V. **2**. I.1. P. 191-198.

ВНЕШНЕМАГНИТОСФЕРНЫЕ РЕЗОНАНСЫ И ПЛАЗМЕННЫЕ СТРУИ: СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И МГД МОДЕЛИРОВАНИЯ

Савин С.П., Ванг Ч., Ли Х., Танг Б., Скальский А.А., Будаев В.П., Лежен Л.А., Козак Л., Бленцки Я.

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

Мы сравниваем данные динамического давления 27 марта 2005 г. со спутников Double Star, Cluster-4 и Geotail с МГД моделью Центра космической погоды Китайской академии наук. Cluster-4 из высокоширотного форшока вошел в магнитослой (МГС), остальные спутники были в низкоширотном МГС. Спутники регистрировали плазменные струи с динамическим давлением, превышающим давление в солнечном ветре, появление которых промодулировано внешнемагнитосферными резонансами в диапазоне 0.07-10 мГц.

Модельное динамическое давление в среднем хорошо соответствует экспериментальным данным (кроме данных с Cluster-4 над полярным каспом), но не воспроизводит плазменных струй. Вероятно, это связано с существенным влиянием кинетических эффектов на образование и динамику струй, чего, насколько нам известно, до сих пор не отмечалось. Хотя резонансы на спутниках проявляются, в основном, в модуляции регистрации струй, модельные данные также демонстрируют наличие локальных резонансов в МГС на частотах 0.07-3 мГц. Реальные и модельные частоты различаются, но мощность и характер кросс-корреляции между спутниками и форшоком/ МГС – достаточно близки. Т.е. резонансы качественно могут изучаться с помощью этой МГД модели, которая демонстрирует поверхностные волны на ударной волне и магнитопаузе, так что их природу планируется изучать именно с помощью модели.

Модель не воспроизводит резонансы на частотах 3-10 мГцб включая форешок. Мы предполагаем, что это связано с увеличением роли кинетических эффектов в генерации внешнемагнитосферных резонансов на этих частотах.

Реальные и модельные кросс-корреляции в выделенных диапазонах частот (до 96%) демонстрируют, что резонансы в форшоке могут контролировать возмущения в МГС, которые следуют за возмущениями в форшоке. Однако, в других частотных диапазонах явно существует и обратная связь (корреляции до 87%), когда возмущения видны сначала в МГС, а потом в форшоке. Это подтверждается и потоком вектора Пойнтинга в сторону Солнца на Cluster-4, наблюдаемого не только в МГС (как и на Double Star), но и в форшоке. Это свидетельствует о возбуждении резонансов сначала на ударной волне или в МГС с последующим включением форшока в резонансную замкнутую глобальную цепь с помощью волн (скорее всего – магнитозвуковых) с вектором Пойнтинга в сторону Солнца.

Специфичным механизмом передачи волновой энергии вверх по потоку в форшоке является модуляция отраженных от ударной волны ионов. При этом форма ударной волны должна быть искажена поверхностными резонансом самой ударной волны или резонансными волнами МГС и/ или магнитопаузы.

Реальные данные демонстрируют как положительные, так и отрицательные корреляции, когда между спутниками находится ударная волна. Для модели характерны положительные корреляции. Времена задержки часто близки к периодам внешнемагнитосферных резонансов, как реальных, так и модельных. Это согласуется с концепцией установления единой резонансной картины от форшока до ионосферы.

Работа поддержана ОФН15 РАН и Team Savin/ Wang ISSI.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫСЫПАНИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ ВНУТРИ АНИЗОТРОПНОЙ ЗОНЫ ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Семенова Н.В.[1], Яхнина Т.А. [1], Яхнин А.Г. [1], Демехов А.Г.[1,2]

[1]*Полярный геофизический институт, Апатиты, nadezhda.semenova@gmail.com*
[2]*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

Построены распределения вероятности наблюдения высыпаний энергичных протонов, связанных с ионно-циклотронной (ИЦ) неустойчивостью, в зависимости от AE-индекса геомагнитной активности. Эти высыпания регистрируются низкоорбитальными спутниками в зоне, где потоки энергичных частиц анизотропны. Показано, что при росте геомагнитной активности от слабой (AE<100 нТл) до умеренной (100<AE<300 нТл) вероятность наблюдения высыпаний в дневной области за геостационарной орбитой (где наблюдаются максимальные значения вероятности наблюдения) растет, а при высокой активности (AE>300 нТл) - уменьшается. Высказано предположение, что это является следствием двух конкурирующих факторов: 1) роста потока энергичных протонов в результате инжекций частиц во внутреннюю магнитосферу во время возмущений, и 2) уменьшения радиального градиента потока частиц, также связанного с инжекциями. Первый фактор ведет к росту инкремента ИЦ неустойчивости, а второй — к его уменьшению за счет уменьшения поперечной анизотропии в дневном секторе, которая вызвана расщеплением дрейфовых оболочек и поэтому зависит от радиального градиента потока частиц.

РАССЕЯНИЕ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ПРОВОДНИКАХ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

Широков Е.А.

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, evshirok@gmail.com

В работе анализируется рассеяние квазиэлектростатических волн, распространяющихся вблизи резонансного конуса в магнитоактивной плазме, на различных идеально проводящих объектах. Эта задача сводится к интегральному уравнению для распределения заряда, индуцированного электрическим полем заданной падающей волны, по поверхности проводника. Обсуждается корректность постановки задачи, рассматриваются свойства ядра интегрального уравнения.

Расчёты проводятся для случаев, которые соответствуют передающим и приёмным металлическим антеннам, размещённым на искусственных спутниках в околоземной плазме и позволяющим излучать или регистрировать квазиэлектростатические волны. Соответственно, результаты расчётов могут быть актуальны для планирования радиофизических экспериментов по излучению и приёму таких волн с помощью космических аппаратов, а также для анализа спутниковых данных по регистрации хоровых квазиэлектростатических излучений в радиационных поясах.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ СПУТНИКОВОЙ ПРИЁМНОЙ АНТЕННЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ХОРОВЫХ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Широков Е.А.[1], **Демехов А.Г.**[1,2]

[1] *ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, evshirok@gmail.com*
[2] *ПГИ, г. Апатиты, Россия*

В предыдущих работах (см., например, статью [1] и цитируемую там литературу) на основе теории антенн в плазме было показано, что эффективная длина приёмной антенны (электрического диполя) может значительно превышать её геометрическую длину при приёме квазиэлектростатических волн, распространяющихся вблизи резонансного конуса. Указанное отличие объясняется достаточно сильным переизлучением таких волн приёмной антенной.

Для применения развитой теории к анализу спутниковых данных по регистрации хоровых квазиэлектростатических излучений в свистовом диапазоне частот, генерируемых в результате сложных процессов при электронно-циклотронной неустойчивости в радиационных поясах, необходимо использовать модельный (эффективный) источник таких излучений. Этот источник проще всего выбрать в виде электрического диполя, параметры которого таковы, что характеристики поля его излучения совпадают с измеряемыми спутниковой приёмной антенной.

В данной работе анализируется, как эффективная длина l_{eff} приёмной антенны зависит от параметров модельного дипольного источника — от характерного пространственного масштаба этого источника и от расстояния τ между ним и приёмной антенной. Для расчётов используются данные спутников THEMIS. Показано, в частности, что эффективная длина спадает по закону $l_{\text{eff}} \propto \tau^{-1/2}$ при удалении источника от приёмной антенны.

1. Shirokov E. A., Demekhov A. G., Chugunov Yu. V., Larchenko A. V. Effective length of a receiving antenna in case of quasi-electrostatic whistler mode waves: Application to spacecraft observations of chorus emissions // Radio Sci. 2017. V. 52, No. 7. P. 884–895.

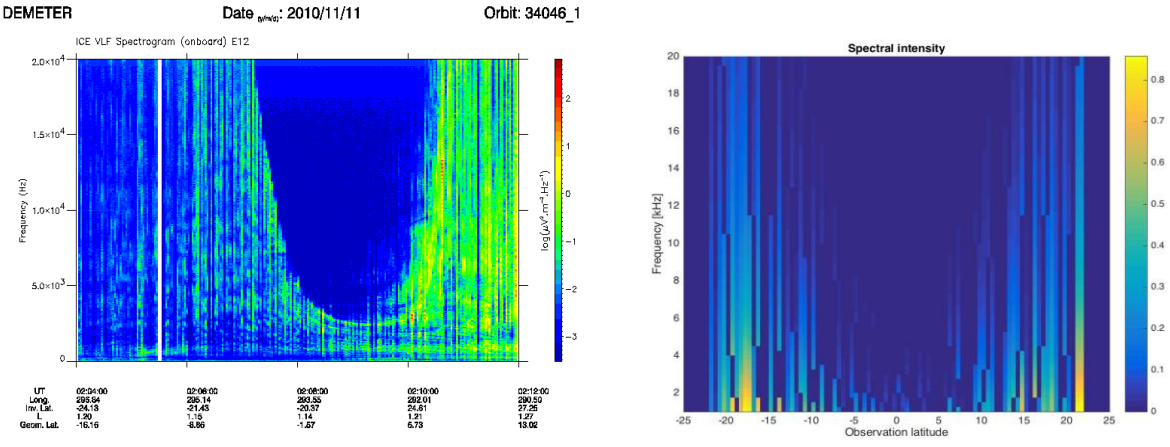
ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ЕСТЕСТВЕННЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В ПРИЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СПУТНИКА DEMETER.

Д. Р. Шкляр, **Е. Е. Титова, М. Парро**

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

Волновые измерения в ОНЧ диапазоне, выполненные на спутнике DEMETER, содержат многие известные и новые волновые явления, наблюдаемые в верхней ионосфере в диапазоне частот от сотен Гц до 20 кГц. Помимо хорошо известных сфериков и электронных и протонных свистов, генерируемых молниевыми разрядами, к ним относятся магнитосферные линейчатые излучения (magnetospheric line radiation), излучения с клиновидным спектром (wedge-like spectra), впервые зарегистрированные ионосферно-отраженные протонные свисты и многие другие виды излучений. Одним из необычных волновых явлений, также зарегистрированных на спутнике DEMETER, является излучение, имеющее U-форму спектра (U-shape spectrum), наблюдавшееся в ряде случаев на приэкваториальной части орбиты и не получившие до настоящего времени своего объяснения (Рис. 1а.) Согласно измерениям, такие спектры наблюдаются одновременно с необычно высокой концентрацией плазмы. Объяснение наблюдаемого спектра, предложенное в докладе, основано на предположении, что данное излучение формируется волнами, генерируемыми молниевыми разрядами, а вид спектра определяется особенностями распространения и затухания ОНЧ волн в приэкваториальной области верхней ионосферы. В силу рефракционных свойств ионосферы, излучение молниевых разрядов в приэкваториальной области имеет большие углы волновой нормали, лежащие, однако, внутри резонансного конуса практически для всех широт, за исключением области шириной порядка одного градуса вблизи экватора. Тем не менее, столкновительное затухание таких волн в ионосфере очень существенно, причем оно возрастает с ростом частоты, что и приводит к появлению частоты обрезания в спектре. Усиление эффекта с ростом плотности плазмы также находит естественное объяснение: с ростом электронной плазменной частоты уменьшается групповая скорость волн и, соответственно, возрастает пространственный коэффициент затухания. Поэтому, проходя одно и то же расстояние от области генерации до области наблюдения на спутнике, волны испытывают большее поглощение. Эти соображения подтверждаются численным моделированием спектрограмм, пример которого показан на Рис. 1б.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ – НЦНИЛ_а №16-52-16010.



(а) (б)

Рис. 1. (а) Спектрограмма излучения, зарегистрированная на спутнике DEMETER.
(б) Спектрограмма, полученная с помощью численного моделирования.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ РАДИОПОМЕХИ, как СРЕДСТВО ДИАГНОСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ларкина В.И.
ИЗМИРАН
larkina@izmiran.ru

Комплексный анализ результатов спутниковых измерений интенсивности низкочастотных электромагнитных излучений в звуковом диапазоне частот (100 Гц -20 кГц) (которые принято считать радиопомехами), потоков энергичных электронов, плотности и температуры ионосферной плазмы продемонстрировал реакцию ионосферной плазмы на процессы геомагнитных возмущений, подготовки активных сейсмических и медленных геодинамических процессов. Установлено изменение параметров ионосферной плазмы, особенно, интенсивности низкочастотных шумов, над регионами радиоактивных загрязнений. Предлагается схема глобального спутникового мониторинга для дистанционного зондирования экологической обстановки с целью выявления возмущений природного и техногенного характера

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ВОЛНЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ СГУСТКАМИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В РАЗРЕЖЕННОЙ ПЛАЗМЕ И В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Тищенко В. Н., Захаров Ю. П., Березуцкий А. Г., Бояринцев Э. Л., Пономаренко А. Г., Посух В. Г., Шайхисламов И. Ф., Мирошниченко И.Б.

Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия, tvn25@ngs.ru

Механизм объединения волн (МОВ) [1, 2], создаваемых периодическими сгустками лазерной плазмы, позволяет формировать интенсивные квазистационарные волны (КВ): в воздухе – инфразвук, а в магнитном поле в плазме одновременно два типа КВ – торсионную Альфвеновскую (АКВ) и медленную магнитозвуковую (МКВ), которые распространяются в магнитной силовой трубке [3, 4]. В магнитном поле в вакууме формируется аналог КВ - поток азимутально вращающейся плазмы [5]. Длина АКВ и МКВ линейно зависит от количества сгустков, радиус примерно равен динамическому радиусу (~R_d) сгустка.

Методы исследования. В экспериментах на стенде КИ-1 сгустки создавались при облучении мишени цугом лазерных импульсов с энергией ~ 200 Дж. В расчетах на кластерах (МГД модель) исследовалось формирование КВ большим количеством сгустков и распространение КВ на большое расстояние. Получены следующие результаты.

1. Критерии. Лазерные сгустки формируют КВ при выполнении набора безразмерных критериев: резонансная частота повторения сгустков равна ~0.3; нормированные на R_d ларморовский радиус ~1 и ионно-плазменная длина ~0.25, а их отношение превышает ~5; Альфвеновское число Маха M_A~1; отношение давления плазмы фона к давлению магнитного поля <1. В магнитном поле в вакууме критерии записываются для магнитной трубки, заполняемой двухкомпонентной плазмой сгустков. Критерии позволяют определить параметры сгустков в лабораторном или натурном эксперименте, в которых используется лазерная плазма или иные сгустки с M_A~1. Состояние работ - необходима экспериментальная проверка некоторых критериев и диапазона допустимых значений.

2. В отличие от волн, создаваемых одним мощным сгустком, АКВ и МКВ практически не затухают при распространении на расстояния ~$10^3 \cdot R_d$. КВ переносят энергию и продольный импульс (МКВ), азимутальный импульс и продольный ток (АКВ), электрическое и магнитное поля. Торможение КВ в фоне с высокой концентрацией нейтралов сопровождается генерацией тороидального вихря, акустико-гравитационных волн, сильных вариаций магнитного и электрического поля. Состояние работ - используемая в расчетах модель нуждается в уточнении, например, учет элементарных процессов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0307-2014-0002, при поддержке Программой Президиума РАН «Фундаментальные основы прорывных технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности».

1. Тищенко В.Н. Квантовая электроника, 2003, т.33, № 9, с. 823

2. Грачев Г.Н., Пономаренко А.Г., Тищенко В.Н. и др. Квантовая электроника. 2006, № 5.

3. В.Н. Тищенко, И.Ф. Шайхисламов, А.Г. Березуцкий. Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности: Альманах /Под редакцией ак. В.А. Садовничего, ак. Г.И. Савина, чл.-корр. Вл.В. Воеводина. М.: Издательство МГУ, 2014, с. 65 - 74

4. В.Н. Тищенко, Ю.П. Захаров, И.Ф. Шайхисламов, А.Г. Березуцкий, и др. ПЖЭТФ, 2016, т.104, в.5, с.302

5. В. Н. Тищенко, А. Г. Березуцкий, Э. Л. Бояринцев, Ю. П. Захаров, и др. Квантовая электроника, 2017, т. 47, № 9, с. 849.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, НАБЛЮДАЕМЫЕ ОДНОВРЕМЕННО НА СПУТНИКАХ VAN ALLEN PROBES И НА ЗЕМЛЕ

Е.Е. Титова, А.Г. Демехов, Ю. Маннинен, А.А. Любчич, Д.Л. Пасманик, А.В. Ларченко

ПГИ РАН, г. Апатиты, Россия, lena.titova@gmail.com

ОНЧ излучения часто характеризуются периодической или квазипериодической модуляцией интенсивности с периодами от нескольких секунд до минут, которую обычно связывают с нестационарными режимами электронной циклотронной неустойчивости свистовых волн в магнитосфере [1,2]. В докладе рассматривается задача о локализации источников квазипериодических (QP) ОНЧ излучений в магнитосфере, которую мы будем решать, используя результаты одновременных спутниковых (Van Allen Probes) и наземных наблюдений ОНЧ волн.

Спутники Van Allen Probes, орбита которых лежит преимущественно в экваториальной области внутренней магнитосферы, оснащены комплексом аппаратуры для анализа циклотронного взаимодействия свистовых волн с электронами радиационных поясов. На этих спутниках проводятся многокомпонентные измерения волновых полей в низкочастотном диапазоне 10 Гц - 20 кГц, а также параметров холодной и горячей плазмы, включая питч-угловые распределения электронов в широком диапазоне энергий 10^{-2} -10^{3} кэВ. Одновременные наблюдения ОНЧ излучений на Земле, позволяющие разделять пространственные и временные вариации на ИСЗ, проводились в северной Финляндии на станции Каннуслехто (L = 5.3).

Для 10 пролетов спутников Van Allen Probes показано, что области взаимно однозначного соответствия QP элементов на спутниках могут иметь значительные пространственные размеры в экваториальной области ($\Delta L \approx 2$), а проекции этих областей на Землю могут быть удаленны от станции КАН на несколько тысяч километров как по широте, так и по долготе. Большие пространственные масштабы наблюдения в магнитосфере QP элементов, коррелировавших с сигналами на Земле, могут быть связаны с неканалированным распространением в магнитосфере и возможностью многократного отражения ОНЧ волн от нижней ионосферы или областей, где их частота приближается к частоте нижнего гибридного резонанса.

Для того чтобы выделить события, в которых спутники пересекли области генерации QP излучений, мы использовали дополнительные условия, вытекающие из предположения о генерации этих сигналов в результате развития циклотронной неустойчивости. Во-первых, были выбраны пролеты спутников, в которых ОНЧ волны распространялись от экватора с малыми углами волновых нормалей по отношению к магнитному полю. Во-вторых, по данным о функции распределения энергичных заряженных частиц и параметрах холодной плазмы вдоль траекторий спутников были рассчитаны частотно-временные зависимости инкрементов циклотронной неустойчивости. Для трех пролетов спутников удалось найти области частотного соответствия инкремента и спектральных характеристик QP излучений, которые мы идентифицировали как возможные области их источника. Обсуждается влияние вариаций холодной плазмы на формирование области генерации QP излучений и на инкремент циклотронной неустойчивости.

1. Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю. Альфвеновские мазеры. Горький: ИПФ АН СССР, 190 стр., 1986.
2. Трахтенгерц В.Ю., Райкрофт М.Дж. Свистовые и альфвеновские циклотронные мазеры в космосе. М.: Физматлит, 344 стр., 2011.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ДРЕЙФОВЫЕ ВОЛНЫ В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

О.О. Царева (1, 2), G. Fruit (2), P. Louarn (2)

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, olga8.92@mail.ru

(1) ИКИ РАН
(2) IRAP University Paul Sabatier

Для понимания механизмов дестабилизации токового слоя в хвосте магнитосферы Земли были изучены дрейфовые электромагнитные волны, индуцированные неоднородностями плотности плазмы. Такие волны распространяются вдоль и поперек однородного и постоянного магнитного поля как малые возмущения на фоне однородного равновесного состояния.

Возмущенная функция распределения является решением линеаризованного уравнения Власова. Она позволила найти плотность тока и применить закон Ампера - Максвелла с кулоновской калибровкой.

Корни дисперсионного соотношения найдены аналитически и численно. Выяснилось, что плазма обладает тремя собственными модами: одной поперечной крутильной и двумя продольными, поскольку магнитные линии колеблются перпендикулярно и параллельно направлению распространения, соответственно. Две моды являются затухающими и одна неустойчивой с умеренным темпом роста.

Таким образом, было доказано, что наличие градиента плотности в однородно-замагниченной плазме приводит к возникновению неустойчивости электромагнитных волн. Аналогично проведено исследование резонансного взаимодействия электромагнитных флуктуаций с захваченными осциллирующими электронами в околоземном хвосте магнитосферы ($8\ R_E < L < 10\ R_E$) с высоким градиентом плотности и малой кривизной магнитных линий. Сравнение результатов 2х моделей позволяет лучше понять механизмы развития неустойчивости.

ВЛИЯНИЕ ДЛИННОВОЛНОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ НА ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ С ЛЕНГМЮРОВСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТЬЮ

Волокитин А.С., Крафft К.

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

Ленгмюровская турбулентность генерирует электромагнитные волны на фундаментальной плазменной частоте ω_p вследствие трансформации ленгмюровских волн на флуктуациях плотности в поперечные волны. Это может быть либо линейная трансформация на неоднородности плазмы, либо слияние ленгмюровской волны с ионнозвуковыми колебаниями с излучением электромагнитной волны на суммарной частоте $\omega_p+\omega_s$. Если в плазме существуют достаточно интенсивные и длинноволновые колебания плотности, то первый механизм может оказаться более эффективным. При этом природа низкочастотных колебаний не важна, а важен только их спектр, мы рассматриваем здесь случай свободных ионнозвуковых колебаний. Одним из доводов в пользу такой постановки задачи является то, что мы ограничиваемся рассмотрением ленгмюровских волн малой интенсивности, при которой они, вследствие малости силы ВЧ давления, не могут повлиять на колебания плотности плазмы, особенно в длинноволновой области.

Наш подход к расчету интенсивности излучения на первой гармонике плазменной частоты состоит в следующем (см. также [1]). Зная поле ленгмюровских волн и распределение колебаний плотности плазмы в заданном объеме плазмы нетрудно найти распределение высокочастотных токов в этом объёме, то есть источник излучения. Далее, используя хорошо известные в классической электродинамике решения в виде запаздывающих потенциалов можно определить поток вектора Пойтинга через поверхность, окружающую рассматриваемый объём [2], то есть определить скорость излучения из этого объёма. Однако здесь требуется учесть, что ленгмюровские волны распространяются по плазме, а не в вакууме и учесть дисперсию электромагнитных волн в плазме. Предположение о слабой интенсивности ленгмюровских волн и, соответственно, гораздо меньшей интенсивности электромагнитных, позволяет пренебречь потерями энергии электромагнитных волн на нелинейную трансформацию в волны на удвоенной частоте.

Необходимые для вычисления интенсивности электромагнитного излучения распределения плотности плазмы и поля ленгмюровских волн получаем на основе численного решения несамосогласованных уравнений Захарова в двумерном случае с периодическими граничными условиями. рассматривается эволюция спектра ленгмюровских волн в среде с внешними колебаниями плотности плазмы, длина которых значительно превышает характерные длины ленгмюровских волн. Результаты моделирования позволяют рассчитать пространственное распределение электрических токов с частотами, близкими к плазменной частоте. Используя эти данные и известные формулы для расчета излучения электромагнитных токов, эффективность излучения на первой гармонике плазменной частоты определяется в зависимости от уровня ленгмюровской турбулентности и параметров длинноволновых флуктуаций плотности плазмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №16-52-16010 НЦНИЛ_а..

1. Галеев А.А., Красносельских В.В. // Письма в ЖЭТФ, 1976, 24, 558-561
2. Ландау, Л. & Лившиц, Е., Теория поля, *Наука,* 1981

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ВЫСЫПАНИЙ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

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

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия (tyahnina@gmail.com)

Сопоставлены данные спутников POES о высыпаниях релятивистских (>1 МэВ) электронов (ВРЭ) за период июль-декабрь 2005 г. и аналогичный интервал 2009 г. В минимуме солнечной активности (2009 г.), который характеризуется низкой геомагнитной активностью, число зарегистрированных событий ВРЭ оказалось на полтора порядка меньше, чем в относительно активный период (2005 г.). Интенсивность ВРЭ в 2009 г. была в несколько раз ниже, чем в 2005 г. Хотя однозначной связи событий ВРЭ с возрастаниями индексов геомагнитной активности (например, с бухтами в AE-индексе) обычно не наблюдается, значения индексов, усредненные за некоторый интервал, коррелируют с числом событий ВРЭ в этом интервале. Вероятность наблюдения ВРЭ растет с ростом геомагнитной активности. Данные за оба периода показывают наличие трех типов ВРЭ, которые, вероятно, связанны с разными механизмами рассеяния частиц радиационного пояса в конус потерь [1, 2]. Геомагнитная активность существенно влияет на соотношение высыпаний различных типов и, соответственно, на вклад того или иного механизма в генерацию ВРЭ. В интервале 2005 г. доля событий, связанных с рассеянием частиц на «токовом слое» хвоста магнитосферы, составляла 34%, доля событий, связанных с рассеянием на плазмосферном хиссе или волнах вблизи верхне-гибридного резонанса - 51%, а доля ВРЭ, возможно связанных с рассеянием на ЭМИЦ волнах, 15%. В интервале 2009 г. соотношение ВРЭ этих типов составило 7%, 75%, и 18%, соответственно.

1. Yahnin, A. G., T. A. Yahnina, N. V. Semenova, B. B. Gvozdevsky, and A. B. Pashin (2016), Relativistic electron precipitation as seen by NOAA POES, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 8286–8299, doi:10.1002/2016JA022765.
2. Yahnin, A. G., T. A. Yahnina, T. Raita, and J. Manninen (2017), Ground pulsation magnetometer observations conjugated with relativistic electron precipitation, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, 9169–9182, doi:10.1002/2017JA024249.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН В ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ С МЕЛКОМАСШТАБНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Зудин И.Ю., Айдакина Н.А., Гущин М.Е., Заборонкова Т.М., Коробков С.В.

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

К настоящему моменту установлено, что высокочастотный нагрев может приводить к возбуждению возмущений концентрации и температуры плазмы по всей толщине ионосферы. Прямые спутниковые измерения свидетельствуют о возникновении крупно- и среднемасштабных возмущений с размерами поперек геомагнитного поля порядка 100 км и 10 км, соответственно [1,2]. Косвенные измерения, основанные на ряде особенностей распространения сигналов СДВ диапазона (3-30 кГц) сквозь возмущенную плазму, демонстрируют возникновение мелкомасштабных возмущений с поперечными размерами от 10 до 1000 м [3]. Свойства процессов переноса в замагниченной плазме позволяют предположить, что продольные размеры указанных неоднородностей значительно превышают поперечные, и сопоставимы с характерными масштабами неоднородности ионосферы вдоль геомагнитного поля.

В спутниковых экспериментах установлено, что возбуждаемые неоднородности оказывают значительное влияние на распространение СДВ волн: наблюдаются эффекты увеличения амплитуды низкочастотных волн над возмущенной областью, а также существенное расширение пространственного спектра волн, преимущественно – в электрическом поле [2,3]. В работе [3] показано, что уширение пространственного спектра связано с возбуждением мелкомасштабных неоднородностей.

Настоящий доклад посвящен численному двумерному моделированию распространения волн СДВ диапазона в плазме верхней ионосферы при наличии мелкомасштабных неоднородностей, параметры которых выбраны близкими к характеристикам, определенными из результатов спутниковых экспериментов [3]. В численных экспериментах обнаружены различные особенности низкочастотных волн, включая расширение пространственного спектра и режимы каналированного распространения, подобные наблюдаемым на спутниках. Расчеты демонстрируют принципиальную связь между этими эффектами; показано, что для их возникновения часто достаточно самого факта наличия мелкомасштабных неоднородностей ионосферы. Дается качественная интерпретация полученных результатов на основании точных аналитических решений, включая обобщение на трехмерный случай.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант №16-02-01156-а.

1. В.Л. Фролов, В.О. Рапопорт, Г.П. Комраков и др.// Письма в ЖЭТФ 2008. Т. **88.** С. 908-913.

2. В.Л. Фролов, В.О. Рапопорт, Е.А. Шорохова и др.// Письма в ЖЭТФ 2015. Т. **101.** С. 342-346.

3. V.O. Rapoport, V.L. Frolov, S.V. Polyakov, et. al.// J. Geophys. Res. 2010. V. **115.** A10322.

ИОНОСФЕРА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕИЯ ВОЛН В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ В ОКРЕСТНОСТИ ЭЦР

Костров А.В., Малышев М.С., Назаров В.В.

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

Авроральное километровое радиоизлучение (АКР) – это мощное циклотронное излучение, генерируемое в приземной плазме и распространяющееся от Земли. Алогичное излучение было обнаружено у Юпитера, Сатурна, Урана, спутника Юпитера ИО. Фактически, данное излучение является характерным свойств планет, обладающим собственным магнитным полем. Крайне важным является вопрос трансформации и выхода данного излучения из планетарных магнитосфер через неоднородную плазму, содержащую структуры с различными пространственными масштабами. Согласно спутниковым измерениям генерация АКР происходит на частотах близких к электронно-циклотронному резонансу (ЭЦР) в авроральной магнитосфере Земли в области с пониженной концентрацией плазмы (каверна), где электронная плазменная частота ω_{pe} становится существенное меньше гирочастоты электронов ω_{ce}.

В данной работе представлены экспериментальные результаты по исследованию излучения и распространения собственных волн магнитоактивной плазмы на частотах близких к ЭЦР в неоднородной плазме, а также их выхода из плазмы в свободное пространство. Эксперименты проводились на крупномасштабном плазменном стенде “Ионосфера” (ИПФ РАН), позволяющем осуществлять многопозиционные измерения волновых полей в неоднородной магнитоактивной плазме больших размеров. В экспериментах исследовались условия излучения и диаграмма направленности электрических и магнитных антенн, помещенных в плазму, на частотах вблизи ЭЦР. Установлено, что в окрестности ЭЦР в случае, когда частота сигнала $\omega < \omega_{ce}$, происходит увеличение амплитуды сигнала, излученного из плазменного столба. Данный эффект наблюдается только в случае выполнения условия $\omega_{pe} < \omega_{ce}$, В случае, когда $\omega > \omega_{ce}$, наблюдается “отсечка” излучаемого сигнала. Установлено, что максимум диаграммы направленности в окрестности ЭЦР направлен почти поперек магнитного поля и его ширина не превышает 30^0. Излучение вдоль магнитного поля не наблюдалось, что связано с “отсечкой сигнала”. Теоретический анализ поверхности волновых векторов в магнитоактивной плазме в окрестности ЭЦР был проведен с учетом тепловых поправок на основе решения бикубического уравнения для показателя преломления. Показано, что вблизи ЭЦР поверхность волновых векторов обужается в направлении магнитного поля, то есть возбуждаются квазипродольные волны. При этом групповая скорость этих волн направлена поперек магнитного поля.

На основе теоретического анализа и экспериментальных результатов можно сделать вывод о том, что в неоднородной ионосферной плазме источник АКР находится в более плотной плазме вне самой каверны, где $\omega_{pe} < \omega_{ce}$. Далее это излучение переносится поперек магнитного поля в авроральную каверну, где после серии отражений от границ каверны начинает распространяться вдоль плазменного дакта наверх от Земли и регистрируется на спутниках.

Поведение ионосферных неоднородностей во время геомагнитной бури 27-28 мая 2017 года

Оводенко В.Б.[1 2], Захаренкова И.Е.[1], Клименко М.В.[1 3], Тютин И.В.[2 4], Успенский М.В. Котова Д.С.[1 3] Ратовский К.Г. , Чирик Н.В.[1 3], Клименко В.В.[1]

[1] Западное отделение ИЗМИРАН РАН, г. Калининград, Россия;
[2] ОАО «НПК «НИИДАР» , г. Москва, Россия;
[3] БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия;
[4] НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.
[5] Финляндский метеорологических институт, г. Хельсинки, Финляндия;
[6] ИСЗФ РАН, г. Иркутск, Россия;

С геомагнитной бурей связана цепочка событий и явлений, происходящих в космической среде. Высокоскоростная плазма солнечного ветра проникает в околоземное космическое пространство, деформируя структуру магнитосферы Земли и передавая возмущение в систему термосфера-ионосфера. Ионосфера Земли играет ключевую роль в космической радиосвязи, радиолокации, навигации и эксплуатации спутниковых навигационных систем. В работе представлен анализ ионосферных неоднородностей различных масштабов над Норильском во время геомагнитной бури 27-28 мая 2017 года. Неоднородности электронной концентрации в F области и внешней ионосфере наблюдались с помощью приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем, спутников Swarm и DMSP. Радар УКВ диапазона регистрировал интенсивное авроральное обратное рассеяние на высотах E области сразу же после окончания начальной фазы геомагнитной бури. В то же время наблюдались значительные колебания TEC на приемнике ГНСС в Норильске. По данным ионозонда было зафиксировано появление аврорального E слоя и наличие неоднородностей на этих же высотах, вплоть до полного поглощения радиосигнала за счет попадания станции в область аврорального овала. Использование описанной выше базы данных совместно с наземными и спутниковыми данными магнитных измерений дает возможность исследовать взаимосвязь и причины появление ионосферных неоднородностей различных масштабов на различных высотах (в области E, F2 слое и верхней ионосфере).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №17-77-20009.

Performance of NeQuick-2 Model and IRI-Plas 2017 Model during Solar Maximum year in 2013-2014 over Global Equatorial and Low latitude Regions

K, Iluore, F.N, Okeke

Department of Physics, Anchor University, Department of Physics and Astronomy University of Nigeria, Nsukka

ABSTRACT: This paper inspect the prediction Capability of Nequick-2 model and the latest version of International Reference ionosphere IRI Extended to the Plasmasphere (IRI-Plas 2017) model in predicting the Total electron content (TEC) over eight different equatorial and low latitude regions across the globe during solar maximum year 2013-2014. In all, the diurnal and the seasonal variations agree fairly well with GPS-TEC in all the station although with some upward and downward offsets. The observed GPS-TEC shows the presence of winter anomaly which is high in December (DecSol) and Low in June solstices (June sol).The monthly and seasonal variations of the NeQuick-2 model TEC with IRI-Plas 2017 model has been compared with the GPS-TEC. From the prediction errors, it shows that the monthly and seasonal variation of the IRI-Plas 2017 Overestimate GPS-TEC in all the regions when compared with NeQuick -2 models except in Addis Ababa station where there is a good agreement with the GPS-TEC. The NeQuick -2 model, in general performed better when compared with IRI-Plas 2017 in months and in season. These models exhibit latitudinal variation and showed a seasonal trend. The main problem of the NeQuick-2 model TEC representation is not situated in the Plasmaspheric part, its absence in NeQuick-2 model or its presence in IRI Plas 2017 model, the main source of the resulted discrepancies is still in the IRI topside ionosphere representation.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДВУХТОЧЕЧНАЯ ТРАЕКТОРНАЯ ЗАДАЧА В ИСКУССТВЕННО-ВОЗМУЩЕННОЙ ИОНОСФЕРЕ

Афанасьев Н.Т., Чудаев С.О.

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

В настоящее время существует возможность управления процессом передачи радиосигналов в ионосферном канале с помощью различного типа искусственных воздействий. Актуальным является выявление функциональных связей между характеристиками сигнала и параметрами искусственно-возмущенного канала для прогнозирования оптимальных условий прохождения сигнала и улучшения его качества. С другой стороны, изменения характеристик сигнала, вызванные искусственными воздействиями, могут быть использованы для восстановления свойств и структуры этих воздействий.

Расчет статистических траекторных характеристик радиосигнала на трассе, проходящей через искусственно-возмущенную ионосферу, можно выполнить на основе численных методов, задавая отдельную реализацию среды как совокупность неоднородностей с пространственным положением, посеянным с помощью датчика случайных чисел. Для каждой реализации пространственного распределения неоднородностей на основе системы лучевых уравнений рассчитываются траекторные характеристики сигнала при фиксированном расстоянии между пунктами излучения и приема. Набирая ансамбль реализаций траекторных характеристик и проводя усреднение по всем реализациям искусственно-возмущенной среды, можно получить статистические моменты этих характеристик. Однако при таком подходе для каждой реализации среды необходимо проводить пристрелку траекторий в заданную точку наблюдений. Этот способ требует значительных затрат машинного времени и для высокой точности пристрелки трудно реализуем.

Аналитические методы позволяют получить явные приближенные решения двухточечной траекторной задачи в искусственно-возмущенной ионосфере и избежать трудностей численных методов, связанных с большим количеством вычислений. Однако аналитические методы обладают рядом недостатков, таких как медленная сходимость решений и ограничение применимости. Кроме того, результатом аналитического решения являются сложные интегральные выражения, которые удается привести к простому виду лишь в редких случаях.

В работе получено решение стохастической двухточечной траекторной задачи в искусственно-возмущенной ионосфере на основе численно-аналитического метода расчета, сочетающего относительную простоту получения аналитических результатов и универсальность численных методов. Предложена методика оперативной оценки частотно-углового режима передачи радиосигналов в искусственно-возмущенных условиях. Разработанный аппарат математического моделирования использован для дистанционной диагностики ионосферного канала с неоднородностями антропогенной природы.

ОПЕРАТИВНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФЛУКТУАЦИЙ ДОПЛЕРОВСКОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ РАДИОСИГНАЛА В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ ИОНОСФЕРЕ

Афанасьев Н.Т., Чудаев С.О.

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

Для оценки характеристик радиосигнала в ионосферном канале, подверженном не только пространственным, но и временным случайным воздействиям, требуются дополнительные расчеты флуктуаций рабочей частоты сигнала, связанных с эффектом Доплера [1]. Оперативный расчет ожидаемых статистических доплеровских характеристик сигнала имеет большое значение для прогнозирования надежности связи между корреспондентами, для точностных измерительных задач, а также задач диагностики параметров ионосферного канала.

Ранее в работах [2,3] нами было проведено математическое моделирование флуктуаций доплеровского сдвига частоты радиосигнала при распространении в хаотическом нестационарном ионосферном канале, в среднем горизонтально-однородном. Между тем имеется ряд прикладных задач, когда горизонтальная изменчивость регулярной составляющей среды канала имеет принципиальное значение при оценке флуктуаций доплеровских характеристик радиосигнала. В частности, существенное влияние на процессы распространения и рассеяния декаметровых радиосигналов в канале Земля-ионосфера оказывают горизонтальные градиенты электронной концентрации околоземной плазмы в периоды восхода и захода Солнца [1].

В настоящей работе предложена методика оперативного расчета средних и флуктуационных характеристик доплеровского смещения частоты сигнала в горизонтально-неоднородном ионосферном канале со случайными неоднородностями. Используется приближение геометрической оптики и метод возмущений. Основу методики составляет одновременное численное интегрирование дифференциальных уравнений для лучей и дисперсии доплеровского сдвига частоты. Хаотическое движение неоднородностей учтено в рамках гипотезы о переносе замороженной турбулентности. Предложенная методика расчета средних и флуктуационных характеристик доплеровского сдвига частоты сигнала позволяет значительно снизить затраты машинного времени по сравнению с методом статистических испытаний. С другой стороны, проводя измерения дисперсии доплеровского сдвига частоты принятого радиосигнала, полученную систему дифференциальных уравнений можно использовать для реконструкции случайных воздействий на ионосферный канал.

Приведены примеры работы методики для оперативного предсказания среднеквадратического значения доплеровского смещения частоты сигнала в нестационарном горизонтально-неоднородном ионосферном канале со случайными неоднородностями.

1. Благовещенский Д.В., Жеребцов Г.А. Высокоширотные геофизические явления и прогнозирование коротковолновых радиоканалов. М.: Наука, 1987. 272 с.
2. Агеева Е.Т., Афанасьев Н.Т., Ким Д.Ч., Михайлов Н.И. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники 2014. № 1(31). С.33.
3. Агеева Е.Т., Афанасьев Н.Т., Ким Д.Ч., Михайлов Н.И.// Вестник Воронежского государственного технического университета 2014. Т.10. № 1. С.71.

ЗАПОЛНЕНИЕ ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЫ ТЕПЛОВОЙ ПЛАЗМОЙ ПО ДАННЫМ ИОНОСФЕРНОГО РАДАРА

В.И. Бадин

ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк, 108840; badin@izmiran.ru

Наблюдения ультранизкочастотных (УНЧ) колебаний высокоширотных электрических полей посредством доплеровских измерений скорости дрейфа ионосферной плазмы радарами когерентного рассеяния позволили обнаружить эффект резонансного поглощения УНЧ волн магнитосферным МГД резонатором. Поглощение энергии фоновых УНЧ колебаний происходит за счет возбуждения собственных колебаний магнитных силовых линий, т.е. резонансных стоячих альвеновских волн. Обработка измерений включает усреднение данных вдоль каждого луча радара, вычисление быстрого преобразования Фурье усредненных данных и последующий вариационный анализ спектральной мощности сигнала. Анализ позволяет не только обнаружить эффект резонансного ультранизкочастотного поглощения (РУНЧП) на качественном уровне точности, но и произвести количественную оценку минимальной частоты резонансного поглощения, которая представляет собой нижнюю частотную границу резонансного континуума магнитных силовых линий.

Обработка доплеровских измерений проекта STARE обнаружила как достаточно высокие (около 5 мГц), так и сравнительно низкие (ниже 3 мГц) значения минимальной частоты РУНЧП. Собственные частоты магнитогидродинамического (МГД) резонатора зависят в первую очередь от длины магнитных силовых линий, но зависят также от плотности плазмы во внешней магнитосфере, которая изучена недостаточно. По этим причинам, первоначальная цель данной работы состояла в проверке возможности объяснить обнаруженное низкое значение минимальной частоты РУНЧП повышением плотности плазмы во внешней магнитосфере, т.е. эффектом заполнения магнитных трубок тепловой плазмой ионосферного происхождения. Для этого был выбран двухмесячный интервал пониженной солнечной активности декабря 2003 г. – января 2004 г. и сравнительно спокойных условий между двумя сильными магнитными бурями. Оказалось, что в течение указанного периода минимальная частота РУНЧП варьировала между значениями 3 и 4 мГц. Такой результат не противоречит представлениям о повышенном значении плотности плазмы в указанный период. Однако выраженного процесса заполнения магнитных трубок, т.е. последовательного медленного понижения минимальной частоты РУНЧП обнаружить не удалось.

Альтернативное объяснение сосуществования высоких и низких значений минимальной частоты РУНЧП состоит в возможности различных режимов обтекания магнитосферы солнечным ветром в зависимости от условий в межпланетном пространстве. Различные режимы обтекания магнитосферы солнечным ветром могут приводить, например, к различным геометрическим формам магнитопаузы, что в конечном итоге приведет к различной длине силовых линий, примыкающих к магнитопаузе. Предварительный анализ показывает, что возможна положительная корреляция минимальной частоты РУНЧП с *By* и *Bz* составляющими межпланетного магнитного поля (ММП). По-видимому, значение минимальной частоты РУНЧП зависит от того, в каком секторе ММП происходит пересоединение магнитных силовых линий.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 17-05-00427) и Программой 28 Президиума РАН.

РЕАКЦИЯ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ НАГРЕВ – РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СТЕНДЕ СУРА

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

НИРФИ ННГУ им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, nv_bakhm@nirfi.unn.ru

Одним из активно обсуждаемых вопросов нагревных экспериментов является природа механизмов возникновения возмущений в нижней ионосфере при модификации F_2-слоя мощной радиоволной [1,2]. Для ответа на этот вопрос были проведены целенаправленные эксперименты на нагревном стенде СУРА (56.1°N; 46.1°E) с использованием разных режимов воздействия на ионосферу. Их целью было исследование отклика нижней ионосферы на ее искусственное возмущение при вертикальном зондировании возмущенной области пробными радиоволнами. Эксперименты проводились весной, летом и осенью в 2011–2017 гг. в утренние, дневные и вечерние часы. Нагрев ионосферы осуществлялся мощными радиоволнами обыкновенной или необыкновенной поляризации на частотах 4.3, 4.7 или 5.6 МГц в зависимости от ионосферных условий. Эффективная мощность излучения составляла 50–120 МВт. Использовались длительности нагрева от 5 с до 15 мин. с паузами между импульсами излучения от 2 до 30 мин. Мощные радиоволны отражались в *F*-слое ионосферы. Антенна нагревного стенда была ориентирована либо в зенит, либо наклонена на 12^o к югу. Диагностическая установка частичных отражений излучала пробные радиоволны линейной поляризации частотой 2.95 МГц, антенна установки имела зенитную диаграмму направленности. Во время сеансов нагрева на высотах ниже и выше высоты зеркального отражения пробной волны в течение 3–20 с развивались «дополнительные» сигналы пробных радиоволн обеих поляризаций, похожие на диффузные отражения, которые коррелировали с периодом воздействия на ионосферу и возникали как при длительных (5–15 мин.), так и при коротких (5–10 с) временах нагрева. Анализ показал, что на пробные волны частотой 2.95 МГц наиболее вероятно оказывало влияние возмущение *E*-слоя и нижней части слоя F_1. При коротких нагревах у «дополнительных» сигналов наблюдался эффект последействия, когда амплитуда сигнала достигала максимального значения через 5–10 с после окончания нагрева, и эффект накопления, когда наблюдался рост амплитуды сигнала с ростом номера импульса нагрева. Такие особенности эффектов нагрева могли, вероятно, обеспечиваться развитием плазменных неустойчивостей. Появление во время нагрева «дополнительных» сигналов могло быть вызвано ростом при нагреве электронной концентрации в *E*-слое и усилением его неоднородной структуры. Выявлена зависимость наблюдаемых явлений от состояния ионосферы. Наклонная ориентация антенны стенда не привела к усилению эффекта нагрева.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 3.1844.2107/4.6 (проведение экспериментов в 2017 г.) и № 5.8092.2017/8.9 (обработка экспериментальных данных).

1. Бахметьева Н.В. и др. // Известия вузов. Радиофизика. 2012. Т. 55. № 1–2. С. 106.
2. Sergeev E. N., et al. // Radiophys. Quantum Electron. 2017. V. 59. No. 11. P. 876.

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ, ВЕРИФИЦИРОВАННЫЕ ПО РАДИОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ ГФО МИХНЕВО

Беккер С.З., Козлов С.И., Ляхов А.Н.

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, susanna.bekker@gmail.com

В последние несколько лет активно разрабатывается вероятностно-статистический подход к моделированию ионосферы Земли. Методы вероятностно-статистического моделирования учитывают нерегулярность описываемой среды и позволяют получить полную информацию о ее состоянии в различных гелиогеофизических условиях [1].

На данный момент на примере D-области ионосферы обоснованы и опробованы в первом приближении два типа моделей указанного типа: эмпирически-статистический и детерминированно-вероятностный. Суть первого из них заключается в обработке экспериментальных банков данных электронной концентрации с определением средних значений, среднеквадратических отклонений и законов распределения исследуемой величины. Далее независимо для различных гелиогеофизических условий с помощью генератора случайных чисел разыгрывается N профилей электронной концентрации согласно полученным плотностям вероятности распределения Ne. Количество N определяется сходимостью решения. Полученные профили используются в качестве среды для расчета распространения радиоволны. Детерминированно-вероятностная модель базируется на системе уравнений ионизационно-рекомбинационного цикла D-области ионосферы. Наиболее изменчивые или вовсе неизвестные параметры уравнений варьируются согласно их законам распределения, полученным из обработки большого объема экспериментальных данных, в основном спутниковых. На выходе, как и при предыдущем подходе, мы имеем плотности вероятности распределения электронной концентрации в различных гелиогеофизических условиях. Получение вероятностных полей ионосферных параметров не является самоцелью, а необходимо в первую очередь для решения задач распространения радиоволн, в рамках данной работы – СДВ-ДВ диапазона. Поэтому обязательным заключительным этапом работы является расчет радиофизических параметров с последующим их сопоставлением с экспериментальными данными.

Главной сложностью при построении эмпирически-статистической модели D-области ионосферы является острая нехватка экспериментальных банков данных электронной концентрации во всем разнообразии гелиогеофизических условий. Основная проблема детерминированно-вероятностной модели заключается в отсутствии достоверной информации о поведении наиболее значимого параметра ионизационно-рекомбинационного цикла – скорости ионизации. Наиболее сложно решить это проблему на высотах, где скорость ионизации в первую очередь определяется ионизацией NO линией Lα, так как банки данных высотного распределения окиси азота отсутствуют. Поэтому в качестве опорных величин для расчета были взяты результаты ракетных экспериментов по измерении концентрации NO, а розыгрыш осуществлялся на основании обработанных спутниковых данных оптической эмиссии NO, полученной радиометром SABER, установленном на спутнике TIMED.

Результаты расчета радиофизических параметров по теоретически полученным плотностям вероятности распределения электронной концентрации были сопоставлены с экспериментальными данными ГФО Михнево. На данный момент по данным 2009 года для дневных и ночных часов магнитного локального времени и четырех сезонов сравнение проведено только на среднеширотной трассе DHO (Германия) – Михнево (Московская область). В ближайшее время планируется полный и независимый анализ работоспособности построенных моделей на трех трассах (среднеширотная, меридианная, полярная) в года различной солнечной активности.

1. Козлов С.И., Ляхов А.Н., Беккер С.З. Основные принципы построения вероятностно-статистических моделей ионосферы для решения задач распространения радиоволн. // Геомагнетизм и аэрономия. г. Москва, 2014. Т. 54. № 6. С. 767-779.

СРАВНЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СЦИНТИЛЛЯЦИИ GPS СИГНАЛОВ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Белаховский В.Б.[1], **Джин Я.**[2], **Милош В.**[2]

[1] – *Полярный геофизический институт, г. Апатиты, belakhov@mail.ru*
[2] – *Университет Осло, физический факультет, г. Осло*

В данной работе произведено сравнение воздействия высыпаний авроральных частиц и “патчей” полярной шапки (polar cap patch) на сцинтилляции GPS сигналов в полярной ионосфере. Был использован сцинтилляционный GPS приемник на станции Ny-Ålesund, принадлежащий университету Осло. Наличие высыпаний заряженных частиц и “патчей” полярной шапки определялось по данным радара EISCAT 42m на архипелаге Шпицберген, луч которого направлен вдоль геомагнитного поля. Было проанализировано около 100 случаев за 2010-2017 года, когда были доступны одновременные наблюдения на радаре EISCAT 42m и GPS приемнике. Для отдельных случаев были использованы оптические наблюдения полярных сияний Полярного геофизического института, университета Осло на архипелаге Шпицберген. Были рассмотрены различные типы высыпаний: высыпания в утреннем, дневном секторах, высыпания в ночном секторе во время суббури, высыпания, связанные с приходом межпланетной ударной волны. Все рассмотренные типы ионосферных возмущений приводят к росту фазового индекса сцинтилляций, при этом амплитудный индекс сцинтилляций менялся очень слабо. Для высыпаний в утреннем, дневном секторах, “патчей” полярной шапки, высыпаний, связанных с приходом межпланетной ударной волны, фазовый индекс сцинтилляций достигал значений в пределах 1 радиана. Для высыпаний же во время суббури фазовый индекс сцинтилляций достигал наибольших значений (около 3 радиан). Таким образом, суббуревые высыпания заряженных частиц приводят к наиболее сильным сцинтилляциям GPS радиосигналов в полярной ионосфере.

ЭФФЕКТЫ ГИРОРЕЗОНАНСА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ КВ РАДИОВОЛН НЕОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ВЫСОКОШИРОТНУЮ *F*-ОБЛАСТЬ ИОНОСФЕРЫ

Благовещенская Н.Ф., Борисова Т.Д., Калишин А.С., Йоман Т., Хаггстром И.

ААНИИ Росгидромет, г. Санкт Петербург, Россия, nataly@aari.nw.ru

Анализ различных нелинейных явлений в *F*-области высокоширотной ионосферы, вызванных инжекцией мощных КВ радиоволн необыкновенной поляризации (Х-мода) в направлении магнитного зенита, позволил впервые экспериментально обнаружить эффект электронного гирорезонанса при ступенчатом изменении частоты нагрева f_H вблизи пятой гармоники гирочастоты электронов (5*fce*).

Результаты базируются на экспериментах, выполненных на КВ нагревном комплексе в г. Тромсе, северная Норвегия (69.6ºN, 19.2ºE) с максимальной эффективной мощностью излучения до 1200 МВт, принадлежащим Европейской научной ассоциации EISCAT (European Incoherent Scatter Scientific Association). Детально анализировалось поведение и интенсивности различных спектральных компонент в спектре узкополосного искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в полосе 1 кГц, которое регистрировалось на расстоянии 1200 км от нагревного комплекса, ленгмюровских и ионно-акустических плазменных волн (непосредственно регистрируемых в спектрах EISCAT радара некогерентного рассеяния радиоволн как усиленные нагревом плазменные и ионно-акустические линии) и мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН) в зависимости от частоты отстройки мощной Х-волны относительно 5*fce*.

На частотах нагрева ниже 5*fce* в спектрах узкополосного ИРИ наблюдались очень интенсивные спектральные компоненты, сдвинутые вверх и вниз по частоте относительно частоты нагрева, которые могут быть ассоциированы с электростатическими ионными циклотронными волнами и их гармониками (ионные бернштейновские волны, ИБВ). При приближении частоты нагрева к 5*fce* ИБВ сначала подавляются, а затем при f_H =5*fce* исчезают. Одновременно с исчезновением ИБВ происходит резкое усиление интенсивностей ленгмюровских и ионно-акустических волн (усиленных нагревом плазменных и ионно-акустических линий в спектрах радара некогерентного рассеяния радиоволн), сопровождаемое возрастанием интенсивности МИИН. На частотах нагрева выше частоты пятой гармоники гирочастоты электронов (f_H > 5*fce*) интенсивности МИИН и ленгмюровских и ионно-акустических плазменных волн оставались высокими, в то время как возобновление появления гармоник ионных циклотронных волн не происходило.

Результаты наблюдений свидетельствуют, что при $f_H < 5fce$ одновременно существует ускорение электронов как вдоль, так и поперек магнитного поля, в то время как при $f_H \geq 5fce$ наблюдается очень сильное ускорение электронов только вдоль магнитного поля.

ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛ ПОТОКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ КОМПАКТНЫХ ВНУТРИ-ОБЛАЧНЫХ РАЗРЯДОВ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА МИКРО-СПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»

Богомолов А.В.[1], Позаненко А.С.[3], Минаев П.Ю.[3], Выборнов В.И.[3], Черненко А.М.[3], Долгоносов М.С.[3], Готлиб В.М.[3], Климов С.И.[3], Богомолов В.В.[1,2], Гарипов Г.К.[1], Панасюк М.И.[1,2], Свертилов С.И,[1,2], Яшин И.В.[1]

1 – НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, aabboogg@sinp.msu.ru

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

3 – ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Микро-спутник «Чибис-М» был выведен на околоземную орбиту с параметрами близкими к параметрам орбиты МКС (высота 513 км, наклонение 51^{o}) 25 января 2012 г. в качестве попутной нагрузки на грузовом корабле «Прогресс». Он успешно функционировал в течение более 2.5 лет. Научная аппаратура, установленная на спутнике, включала радиочастотный анализатор (РЧА), регистрировавший электромагнитное излучение в частотном диапазоне 26 – 48 МГц и детектор жесткого рентгеновского и гамма-излучения (РГД), детектировавший гамма кванты в диапазоне энергий 0.02 – 1.0 МэВ. Наряду с режимом мониторных наблюдений, в эксперименте с прибором РГД был реализован «по-событийный» режим, когда по триггерному сигналу записывалась и затем передавалась на Землю информация о времени регистрации и энергии каждого детектируемого кванта. В качестве триггерных сигналов в приборе РГД могли использоваться, как внутренний триггер, вырабатываемый самим прибором по заданному критерию отбора полезных событий, так и внешний триггер, поступавший от других приборов комплекса научной аппаратуры, в том числе и от прибора РЧА. Поскольку триггерный сигнал РЧА мог, в частности, инициализироваться радиоизлучением компактных внутриоблачных разрядов (Compact Intra-cloud Discharge, CID), в эксперименте есть возможность регистрировать одновременно не только радио сигналы, ассоциированные с CID, но и гамма-всплески из атмосферы Земли (Terrestrial Gamma-Ray Flash, TGF), возможно, сопровождающие CID.

Было отобрано несколько десятков событий такого рода, когда триггерный сигнал прибора РЧА, обусловленный радио излучением CID, запускал «по-событийную» запись гамма-квантов прибором РГД. Ни в одном из этих случаев не было зарегистрировано значимого по сравнению с фоном увеличения скорости счета гамма-квантов после триггера РЧА. Для того, чтобы улучшить верхний предел на поток гамма-квантов от CID было сделано суммирование всех событий, связанных с регистрацией гамма-квантов по триггеру РЧА, вызванному CID относительно времени срабатывания триггера РЧА. В результате получена оценка верхнего предела на интенсивность TGF, возможно, сопровождающих CID. Полученная оценка дает поток гамма-излучения в несколько раз меньше величины, типичной для TGF, регистрируемых в экспериментах на космических обсерваториях CGRO, RHESSI и Fermi. В свою очередь это ставит под сомнение однозначную связь TGF с компактными внутриоблачными разрядами.

НАБЛЮДЕНИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ИЗ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЯХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СПУТНИКАХ «ВЕРНОВ» И «ЛОМОНОСОВ»

Богомолов А.В.[1], Богомолов В.В.[1,2], Гарипов Г.К.[1], Июдин А.Ф.[1], Максимов И.А.[1], Минаев А.В.[1], Панасюк М.И.[1,2], Петров В.Л.[1], Свертилов С.И.[1,2], Яшин И.В.[1], Позаненко А.С.[3], Минаев П.Ю.[3], Выборнов В.И.[3], Климов С.И.[3], Черненко А.М.[3]

1 – НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, aabboogg@sinp.msu.ru

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

3 – ИКИ РАН, г. Москва, Россия

В ходе космических экспериментов на спутниках «Вернов» и «Ломонсов проводились наблюдения вспышек гамма-излучения из атмосферы Земли. Спутник «Вернов» был выведен 8 июля 2014 г. на солнечно-синхронную орбиту с небольшим эксцентриситетом - высота перицентра 640 км, высота апоцентра 830 км, наклонение 98.4°, период обращения 100 мин. Спутник «Ломоносов» был выведен 28 апреля 2016 г. также на солнечно-синхронную орбиту, круговую с высотой 490 км, наклонением 98.4° и периодом обращения 90 мин.

Наблюдения вспышек гамма-излучения из атмосферы Земли осуществлялись в обоих экспериментах с помощью однотипных детекторов. В состав аппаратуры РЭЛЕК на спутнике «Вернов» входил спектрометр жесткого рентгеновского, гамма-излучения и электронов ДРГЭ, включавший четыре высокочувствительных сцинтилляционных фосвич-детектора NaI(Tl)/CsI(Tl) суммарной площадью ~500 см^2, направленных в надир и обеспечивавших регистрацию рентгеновских и гамма-всплесков в диапазоне от 10 кэВ до 3 МэВ. На спутнике «Ломоносов» для регистрации вспышек гамма-излучения и вариаций потоков магнитосферных электронов используется прибор БДРГ, состоящий из трех идентичных блоков детектирования и блока электроники. Детекторы прибора БДРГ полностью аналогичны детекторам блоков ДРГЭ-1(2) прибора ДРГЭ аппаратуры РЭЛЕК на спутнике «Вернов». В обоих экспериментах предусмотрена как непрерывная запись скорости счета регистрируемых частиц и квантов с временным разрешением 1 с, так и запись времени регистрации каждого гамма-кванта с точностью 15 мкс («Вернов») и 1 мс («Ломоносов»), а также их энергии. Это позволяет не только проводить детальный анализ переменности, но и сопоставлять временные профили с результатами измерений других космических аппаратов и наземных измерений.

Предполагается, что вспышки гамма-излучения из атмосферы Земли могут быть связаны с высотными электрическими разрядами. Особенности орбит космических аппаратов «Вернов» и «Ломоносов» позволили вести наблюдения в различных областях околоземного пространства, включая полярные регионы, ранее не исследованные. Это создало уникальную возможность исследовать проявления высотных разрядов, включая вспышки гамма-излучения в областях, заведомо далеких от зон активного грозообразования в экваториальных областях. Обсуждаются результаты подобных наблюдений и возможная связь вспышек гамма-излучения, наблюдаемы в высокоширотных областях, с высыпаниями магнитосферных электронов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВСПЫШЕК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ИЗ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В МУЛЬТИ-СПУТНИКОВОМ ПРОЕКТЕ «УНИВЕРСАТ-СОКРАТ»

Богомолов А.В.[1], Богомолов В.В.[1,2], Гарипов Г.К.[1], Горбовской Е.С.[3], Жильченко К.С.[1,2], Июдин А.Ф.[1], Казначеева М.А.[1,2], Калегаев В.В.[1], Климов П.А.[1], Климов С.И.[4], Липунов В.М,[2,3], Максимов И.А.[1], Минаев А.В,[1], Оседло В.И.[1], Панасюк М.И.[1,2], Петров В.Л.[1], Салеев К.Ю.[1,2], Свертилов С.И.[1,2], Троицкая Ю.А.[1,2], Яшин И.В.[1]

1 – НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, aabboogg@sinp.msu.ru

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

3 – ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия

4 – ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Обсуждается новый космический проект МГУ имени М.В. Ломоносова «Универсат-СОКРАТ» по созданию группировки спутников для мониторинга в реальном времени в околоземном космическом пространстве: радиационной обстановки; потенциально – опасных объектов естественного (астероиды, метеоры) и техногенного происхождения (космический мусор), а также космических и атмосферных гамма-всплесков, вспышек оптического и ультрафиолетового излучения из атмосферы Земли.

Комплекс научной аппаратуры для изучения вспышек из атмосферы Земли в УФ и оптическом диапазонах должен включать пространственно-чувствительный спектрометр – малый линзовый телескоп (МЛТ) с высоким временным разрешением для измерения спектра вспышек оптического излучения и детекторы УФ и ИК излучения ДУФИК – аналог детекторов на спутниках «Татьяна» и «Вернов». Измерение спектра необходимо для определения типа и высоты генерации вспышек, а также выделения молниевых разрядов по характерной линии 777 нм и по отсутствию сигнала в области линии поглощения кислорода – 762 нм). В конструкции прибора предусмотрено до 16-ти спектральных каналов. Прибор ДУФИК должен состоять из трех фотоумножителей, входные окна которых закрыты светофильтрами, обеспечивающими работу в разных спектральных диапазонах – инфракрасном (600-800 нм), ближнем УФ (240-400 нм), солнечно-слепом (100-300 нм). Кроме того в его состав должен входить оптический детектор на основе микроканальной пластины (МКП), обеспечивающий регистрацию излучения в диапазоне от дальнего УФ до мягкого рентгеновского.

Комплекс научной аппаратуры для мониторинга в гамма-диапазоне должен включать три широконаправленных сцинтилляционных детектора гамма-излучения для контроля верхней атмосферы и обзора неба в диапазоне 10-3000 кэВ и трековый гамма-спектрометр высокого разрешения и чувствительности. Оси трех гамма-детекторов должны быть перпендикулярны друг другу и направлены вдоль взаимно перпендикулярных ребер куба, как бы образуя Декартову систему координат. При этом главная диагональ куба должны быть ориентирована в надир. Трековый гамма-спектрометр высокого разрешения и чувствительности представляет собой комбинацию позиционно-чувствительного детектора (ПЧД) с кодирующей маской. В состав прибора также входит годоскопический узел на основе сцинтилляционных волокон. Ось прибора должна быть ориентирована вдоль оси «надир – зенит», при этом со стороны кодирующей маски прибор должен быть ориентирован в зенит, а со стороны годоскопического узла – в надир. Эффективная площадь гамма-спектрометра ~250 см^2, диапазон энергий 50-5000 кэВ (в режиме кодирования 50-1000 кэВ), угловое разрешение ~2^o, поле зрения полного кодирования ±25^o градусов. Гамма-телескоп дает возможность проводить проверку появления точечного источника и, таким образом, отделять гамма-всплески различной природы от высыпаний частиц.

ИЗУЧЕНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ЭФФЕКТОВ В ИОНОСФЕРЕ КАСПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ РАКЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Чернышов А.А. [1], **Ильясов А.А.** [1], **Могилевский М.М.** [1], **Спичер А.** [2], **Милош В.** [2]

[1] *Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия, achernyshov@iki.rssi.ru*
[2] *Университет города Осло, Норвегия*

Плазменные неоднородности возникают на различных масштабах в ионосфере. Изучение явлений и процессов, отвечающие за появление неоднородностей, важно не только с точки зрения теории физики плазмы, но и в контексте космической погоды, поскольку такие возмущения могут влиять на радиосвязь и навигационные системы. Прогресс в исследовании мелкомасштабной турбулентности не происходил так быстро для полярных областей, как для экваториальных и до сих пор нет единого объяснения образования мелкомасштабных возмущений. Для исследования плазмы на малых масштабах в ионосфере высоких широт и каспа, в работе используются измерения с высоким разрешением, полученные в норвежском эксперименте ICI (Investigation of Cusp Irregularities). Применяя данные ракетного эксперимента ICI-3, показано, что вся область, связанная с обратными течениями (reverse flow event) в каспе, имеет высокую степень структурирования при наличии мелкомасштабных неоднородностей, различных токовых сдвигов, высыпаний энергичных частиц. В численном моделировании в качестве исходных данных использовались ракетные измерения и дано теоретическое объяснение полученных результатов. Неустойчивость, вызванная неоднородным распределением плотности энергии, может объяснить наблюдаемые возмущения и показано, что неустойчивость возбуждает электростатические ионные циклотронные волны в широком диапазоне частот, что может привести к возникновению мелкомасштабной турбулентности. Неустойчивость, вызванная неоднородным распределением плотности энергии, может возникать как вторичный процесс на вихрях, созданные развитием неустойчивости Кельвина-Гельмогольца. Также использовался метод локальной перемежаемости, базирующийся на вейвлет преобразовании, для анализа нерегулярных структур электрического поля во время полета ракеты. Наблюдается соответствие между наибольшим инкрементом данной плазменной неустойчивости и областей с высоким уровнем перемежаемости.

Зимняя аномалия в критической частоте E-слоя ночной полярной ионосферы

Деминов М.Г., Деминова Г.Ф.

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

Анализ данных ионосферных станций позволил установить, что возможна зимняя аномалия в критической частоте E-слоя foE ночной полярной ионосферы, когда foE местной зимой становится больше, чем местным летом, при прочих равных условиях. Для станции, расположенной за полярным кругом, это означает, что foE в полярную ночь может быть больше, чем в полярный день.

Ранее это явление было обнаружено в медиане foE [1, 2]. Анализ показал, что зимняя аномалия в foE чаще наблюдается при средней геомагнитной активности. Основной причиной этой аномалии, по-видимому, является асимметрия зима/лето в потоках энергии ускоренных электронов, с которыми связаны дискретные полярные сияния. Для типичных средних условий это ускорение чаще возникает над областью с низкой проводимостью ионосферы на геоцентрических расстояниях 1.5-2.5 R_E.

Для типичных средних условий основная часть потока энергии электронов в ночную авроральную область обеспечивается так называемыми диффузными электронами, с которыми связаны диффузные полярные сияния [3]. Потоки энергии диффузных электронов в ночную авроральную область почти симметричны для северного и южного полушарий. На основе моделирования получено, что ионизация атмосферы диффузными электронами не приводит к возникновению отчетливого максимума концентрации электронов ионосферной плазмы на высотах области E ионосферы, когда по данным ионосферных станций не удается определить foE. Ускоренные электроны, с которыми связаны дискретные полярные сияния, приводят к формированию E-слоя с отчетливым максимумом концентрации электронов ионосферной плазмы. Поэтому случаи наблюдения foE в ночные часы по данным ионосферных станций в значительной степени связаны с потоками энергии ускоренных электронов. Это означает, что данные foE по ионосферным станциям могут служить дополнительным инструментом исследования свойств таких ускоренных электронов в полярной ионосфере.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 17-05-004279) и Программой 28 Президиума РАН.

1. Деминов М.Г., Деминова Г.Ф. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 57. С. 628. 2017.
2. Деминов М.Г., Деминова Г.Ф. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 58. С. 66. 2018.
3. Newell P.T., Sotirelis T., Wing S. // J. Geophys. Res. V. 114, A09207, doi:10.1029/2009JA014326. 2009.

IONOSPHERIC TEC VARIABILITY NEAR THE EQUATORIAL ANOMALY CREST AS INDICATOR OF IMPACT FROM ABOVE AND BELOW

Devi M., Barbara A.K., Ruzhin Yu.Ya., Depueva A., Depuev V.

Gauhati University, Guwahati, Assam, India, md555gu@gmail.com

The paper presents a broad review on earthquake and magnetic storm time effects seen as manifestations in different forms in electron content of the ionosphere, received at Guwahati (26°10′N, 91°45′E), an Appleton Anomaly Crest station through GPS setup. A few significant factors that will be of prime discussions are:

(1) **Shape Factor (SF)**: The contribution of equatorial anomaly effect in shape factor of TEC is highlighted by identifying SF of quiet (Q-day) and disturbed days (D-day). The presentation displays how TEC features manifested as SF, can be adopted to understand role of solar geomagnetic effects on ionospheric dynamics and the system physics at different seasons.

(2) **Scintillation Index factor (SI)**: The small scale structures seen as scintillation over TEC profiles, are associated with sharp decay process of density specially with high SF. It is explained in the paper that such phenomenon being the result of RT instability due to dumping of plasma from equator to Guwahati, the modification in TEC enhancement and fast decay leading to generation of small scale irregularities are the result of manifestation of Appleton type ExB anomaly.

(3) **Storm time special space factor**: The paper presents that storm (Dst < -100nT) induced manifestation in TEC seen as dwarf shaped profiles with depletion 80% from the average quiet day magnitudes (low SF) have the origin at the magnetosphere contributed mainly by disturbance dynamo electric fields (DDEFs). It is also demonstrated that the westward electric filed inhibiting the equatorial anomaly also plays a role in this manifestation process.

(4) **Earthquake time wavelike structures**: A number of earthquakes (M>6.0) are examined and the resultant observation of abnormal electron content values along with wave like undulating features of 1 hour to 2 hour duration displayed by a few satellites are presented. By utilizing the azimuthal status of these satellites, the location of an epicenter is identified and sources of such situation are shown to have associated mainly with earthquake modified tropospheric Radio Refractive Index (RRI) and that the development of the wave structures are manifestation of gravity waves, supported by Froude number.

This study is a part of the Project 17-55-45094 supported by Department of Science and Technology (India) and Russian Foundation for Basic Research.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ – ПРОГНОЗ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ МИССИИ ВЕНЕРА-Д

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

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

В научную программу исследований миссии Венера-Д включен радиофизический эксперимент, в котором для изучения явлений в газовой оболочке анализируют возмущения радиоволн на линии связи между космическим аппаратом (КА) и Землей. Основным оборудованием для проведения эксперимента является бортовая система радиосвязи и наземная система слежения, управления и связи с КА в дальнем космосе. Важная задача подготовки радиофизических исследований состоит в том, чтобы оптимизировать системы связи и слежения для обеспечения радиоэкспериментов. Необходимо улучшить важнейшие параметры радиотехнической системы и усовершенствовать методы наблюдений по сравнению с предыдущими экспериментами, в результате чего возрастет информативность экспериментальных данных. Как следствие, ряд фундаментальных сведений о Венере будет получен с хорошей точностью и будет показано, что существуют новые, потенциально важные методы, основанные на достижимой в настоящее время точности измерений.

Метод радиозатмений использует связь вызываемых средой изменений частоты и мощности радиоволн с профилем показателя преломления газовой оболочки для определения ее параметров. Метод дисперсионного интерферометра, основанный на различии фазовых скоростей распространения радиоволн разных диапазонов в диспергирующей среде, выделяет вариации фазы сигнала, обусловленные только влиянием плазмы, что увеличивает точность определения вертикальных профилей концентрации электронов и температуры атмосферы. Определение характеристик ионосферы и атмосферы планеты проводят по вариациям мощности и частоты радиосигналов, распространяющихся сквозь газовую оболочку в процессе сближения радиолинии с планетой.

Установлено, что у сферической слоистой среды есть важное свойство. В эксперименте радиопросвечивания прозрачной газовой оболочки, стратифицированной полем тяжести, изменение плотности потока энергии прямо пропорционально градиенту угла отклонения волнового вектора от первоначального направления, если применима геометрическая оптика. Поэтому зарегистрированные вариации мощности радиоволны $X(t)$ прямо пропорциональны скорости изменения ее частоты. Обнаруженное свойство можно выявить только в сферически слоистой среде, если уровень аппаратурного шума низкий, отсутствуют дифракционные эффекты, нет поглощения и рассеяния радиоволн. Разработанный метод анализа открывает перспективы решения новых задач диагностики системы *атмосфера-ионосфера*. Используя неэнергетические параметры (изменения частот сигналов), можно вычислить прогнозируемые рефракционные изменения $X_0(t)$ двух сигналов и сравнить их с энергетическими параметрами $X(t)$. Наличие корреляции между $X_0(t)$ и $X(t)$ позволяет выделить на фоне сходных по форме помех малые вариации показателя преломления в стратифицированных слоях, т.к. случайные флуктуации энергетического и неэнергетического параметров статистически независимы. Разница между $X_0(t)$ и $X(t)$ характеризует затухание сигнала парами серной кислоты в атмосфере Венеры.

На основе радиозатменных экспериментов с КА Венера-15,-16 и Venus Express выполнен анализ радиоэффектов, которые можно зарегистрировать в миссии Венера-Д, и представлен прогноз возможности изучения динамики многослойных структур в атмосфере и ионосфере Венеры, их связи с волновыми процессами и солнечной активностью.

Работа выполнена при частичной поддержке программы № 1.7П Президиума РАН.

КОРРЕЛИРОВАННЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ГНСС И РАДИОСИГНАЛОВ ОНЧ ДИАПАЗОНА

Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Ляхов А.Н., Поклад Ю.В., Ряховский И.А.

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, boris.gavrilov34@gmail.com

Функционирование важнейших радиотехнических систем (телекоммуникации, навигация, систем связи, управления и др.) критически зависит от состояния и динамики ионосферы Земли. Получение объективной информации о параметрах ионосферы и прогнозирование возмущений среды распространения радиосигналов являются актуальной проблемой сегодняшней геофизики. В зависимости от частотного диапазона радиосигналов, на их распространение оказывают влияния различные области ионосферы. Область F имеет решающее значение для распространения высокочастотных (ВЧ) волн. Состояние и динамика областей D и E определяют условия распространения низкочастотных (ОНЧ и КНЧ) волн [1]. Целый ряд систем используют одновременно НЧ и ВЧ каналы связи, поэтому получение согласованных данных об одновременных возмущениях в верхней и нижней ионосфере является важной фундаментальной и прикладной проблемой.

Для выявления ионосферных эффектов в F-области используются измерения полного электронного содержания ионосферы (ПЭС), получаемые путем обработки данных мировых спутниковых навигационных систем. Возмущения нижней ионосферы исследованы значительно менее детально, что связано с ограниченными возможностями применения ионозондов и радаров некогерентного рассеяния на этих высотах. Известно использование для изучения нижней ионосферы радиосигналов ОНЧ-диапазона. Оба метода эффективны, но применяются изолировано и не дают возможности исследовать взаимосвязь между возмущениями верхней и нижней ионосферы. Современные физико-математические модели также не дают достаточно надежных результатов прогноза параметров ионосферы и термосферы, особенно в возмущенных условиях.

С целью комплексного решения задачи дианостики состояния ионосферы на разных высотах, был разработан метод синхронной регистрации вариаций ПЭС ионосферы и измерений фаз и амплитуд сигналов СДВ-ДВ-радиостанций на глобальных и региональных трассах. Возможности нового метода синхронного детектирования плазменных неоднородностей в верхней и нижней ионосфере позволили исследовать пространственно-временные вариации электронной плотности в F, D и E слоях ионосферы и динамику возмущённых областей в горизонтальном и вертикальном направлении, вызванных сильнейшей магнитной бурей 24-го цикла солнечной активности 17 марта 2015 г. (St. Patrick’s Day magnetic storm) [2].

Дальнейшее развитие данного подхода в методическом плане позволит уточнить физические механизмы передачи возмущений в ионосфере и обеспечить возможность учета этих эффектов при разработке и совершенствовании прогностических моделей ионосферы.

Работа выполнена в рамках Государственных заданий № 014620140014 и № 014620150017 и Программы Президиума РАН I.31П. «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности».

1. Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Ряховский И.А., Поклад Ю.В., Ермак В.М. // Геомагнетизм и аэрономия, 2015, т.5, № 4, с. 466−472.

2. Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Ляхов А.Н., Поклад Ю.В., Ряховский И.А. // Геомагнетизм и аэрономия, 2017, т.57, № 4, с. 500-509.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ НА ВЫСОТЕ ПОЛЕТА СПУТНИКА ТРАБАНТ

Готлиб В.М.[1], **Долгоносов М.С.**[1], **Чернышов А.А.**[1], **Чугунин Д.В.**[1], **Могилевский М.М.**[1], **Каредин В.Н.**[1]

[1]*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия, gotlib@iki.rssi.ru*

Современные навигационные спутниковые системы GPS, ГЛОНАС позволяют получить интегральные характеристики ионосферы в радиальном направлении Космос-Земля. Вопрос о локальных характеристиках ионосферы Земли на высотах полета спутников гораздо меньше изучен. Данные об этих характеристиках могут быть востребованы для целей межспутниковой навигации, для некоторых специальных задач. Проект ТРАБАНТ, предполагающий запуск двух близко летящих спутников с борта Международной Космической Станции, позволяет решить задачу получения таких характеристик. При этом информация о плотности плазмы содержится в сдвиге фаз излучаемых с одного спутника и принимаемых другим спутником сигналов. При обмене радиосигналами по сдвигу фаз возможно будет определить среднюю электронную концентрацию вдоль линии спутник-спутник и относительную вариацию концентрации с точность в несколько процентов. В данной работе приведены теоретические оценки и численные расчеты получаемой разности фаз для различных частот при характерных ионосферных параметрах (зима-лето, ночь-день, географическая область) в зависимости от дистанции между двумя спутниками. Рассматривается пример аппаратурного решения задачи. Предлагаемые подходы могут быть использованы для исследования ионосферных неоднородностей как естественного происхождения, так и искусственной ионосферной турбулентности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА СТЕНДЕ HAARP С ПОМОЩЬЮ РАДАРА MUIR И ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Грач С.М., Сергеев Е.Н., Шиндин А.В.

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

В экспериментах на нагревном стенде HAARP по воздействию на ионосферу мощных радиоволн на частотах, близких к 4-й гармонике электронной циклотронной частоты f_{ce}, выполненных в марте 2011 г. обнаружено и исследовано образование слоя искусственной ионизации, опускающегося на 5-30 км от уровня отражения ($h_0 \approx 210$ км) волны накачки (ВН) при её излучении в направлении магнитного зенита [1]. ВН излучалась в режиме чередования импульсов (τ = 20 мс, T = 1 с, длительность 4 мин.) и квазинепрерывных (КН) посылок (τ = 160 мс, T = 200 мс, длительность 1 мин.) с эффективной мощностью $P_{эфф}$ = 1.7 ГВт последовательно на 6-ти частотах $5730 \le f_0 \le 5880$ кГц, а также в режиме свипирования f_0 диапазоне 5930→5730→5930 кГц в течение 80 с [2,3]. Одновременно, в паузы излучения ВН, осуществлялось зондирование ионосферы на частоте f_0 короткими пробными импульсами с длительностью τ = 100 мкс. Эксперимент проводился с помощью измерений характеристик искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), наблюдений отражения/рассеяния коротких импульсов и искусственной плазменной линии (ИПЛ) в спектре радара MUIR. Вывод о возникновении слоёв искусственной ионизации сделан на основе: а) появления дополнительного отражения пробных импульсов на меньших высотах, б) уменьшения высоты наблюдения ИПЛ и в) смещения компоненты BUM_D в спектре ИРИ к частоте волны накачки f_0 с линейным уменьшением его отстройки $\Delta f = f_{BUM} - f_0 \approx f_0 - 4f_{ce}(h)$ на 40-60 кГц, что соответствует снижению высоты генерации BUM_D в силу отрицательного высотного градиента $f_{ce}(h)$ (–0.65 кГц/км для $h \approx 200$ км). К сожалению, во время эксперимента с КН излучением ВН радар MUIR работал в течение всего 2,5 сеансов. Новый подобный эксперимент был поставлен в марте 2013 г. с использованием чередования непрерывного (1 мин.) и импульсного (τ = 20 мс, T = 1 с, 1 мин.) излучения ВН в диапазоне $5730 \le f_0 \le 5960$ кГц последовательно на 12 частотах. Результаты измерений ИПЛ представлены в [4].

В данном докладе представлены предварительные результаты совместного анализа данных одновременных измерений ИПЛ и ИРИ в этом эксперименте, данные измерений ИРИ любезно предоставлены авторам коллегами из Naval Research Laboratory, США. Результаты эксперимента 2013 г. в целом подобны полученным в 2011 г. В спектре ИРИ при $f_0 > 4f_{ce}$ наряду со стационарной компонентой BUM_S появляется приближающийся к частоте ВН со временем BUM_D, который генерируется, скорее всего, в спускающемся слое искусственной ионизации и исчезает, когда слой спускается до высот h, где $f_0 < 4f_{ce}(h)$. Уменьшается также высота (дальность до области генерации) ИПЛ. В то же время, в отличие от эксперимента [1] спуск искусственного слоя прекращается не на высоте h_c, где $f_0 = 4f_{ce}$, а приблизительно на 8 км ниже. Интенсивность ИПЛ увеличивается при спуске её генерации на высóты $h < h_c$. Эти факты соответствуют результатам экспериментов по быстрому свипированию [3] при уменьшении частоты f_0 во времени.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 14-12-00706п, при частичной поддержке РФФИ, проект № 16-02-00798.

1. Sergeev E. et al. // Phys. Rev. Lett. 2013. V. **110**. P. 065002.

2. Грач С.М. и др. // Доклады РАН, Серия: Физика 2014, Т. **454**. С. 526.

3. Грач С.М. и др. // Сборник тезисов докладов 9-й ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе» Москва ИКИ РАН 10-14 февраля 2014. С. 48.

4. Mishin E.V. et al. // J. Geophys. Res. Space Physics 2016. V. **121**. P 3497.

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ НАКЛОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ИОНОСФЕРНУЮ ПЛАЗМУ ИЗЛУЧЕНИЕМ СТЕНДА HAARP

Грач С.М., Сергеев Е.Н., Шиндин А.В., Смолина В.П.

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

В марте 2011 г. на стенде HAARP была проведена серия экспериментов по исследованию искусственной ионосферной турбулентности с помощью измерений искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) при различных углах наклона диаграммы направленности (ДН) антенной системы стенда к вертикали. Основное внимание уделялось направлениям в зенит (вдоль вертикали) и в магнитный зенит (МЗ), вдоль магнитного поля, наклон ДН 14,2º от вертикали к югу в плоскости магнитного меридиана. Кроме этого, был проведен эксперимент с последовательным изменением угла наклона ДН к вертикали в этой плоскости в пределах от –28º (на север) до + 28º (на юг), с шагом 7º. Для каждого значения угла осуществлялось свипирование частоты волны накачки f_0 в диапазоне 5930→5730→5930 кГц (вблизи 4-й гармоники электронной циклотронной частоты) в течение 80 с.

Прием ИРИ осуществлялся в трех пунктах, расположенных вдоль магнитного меридиана в 113 км (**A**), в 82 км (**B**) и 11 км (**C**) к югу от стенда HAARP. Некоторые результаты этих исследований представлены в настоящем докладе.

1. При воздействии в зенит и в магнитный зенит были исследованы динамика и спектры на начальной стадии воздействия на ионосферу (с длительностью импульса волны накачки ≤ 50 мс). Установлено, в частности, что при вертикальном воздействии спектр ИРИ имеет форму типа “continuum” шириной до 80 кГц в области отрицательных отстроек без наличия особенностей. Подобная форма спектров сохраняется и с уменьшением мощности в 64 раза и соответствует измерениям, выполненным на стенде Сура [1]. При воздействии в направлении МЗ к 20 мс в спектрах ИРИ появляется ряд узких эквидистантных максимумов на отстройках ±8, ±16 кГц, наиболее выраженных для более удаленных пунктов наблюдений. Эти отстройки близки к первой и второй гармоникам нижнегибридной частоты в области взаимодействия ВН с ионосферной плазмой. В п. **C** (вблизи стенда) интенсивность ИРИ при вертикальном воздействии превышает интенсивность при накачке в МЗ на ~ 3-4 дБ, тогда как в п. **A**, наиболее удалённом от стенда, имеет место обратная картина: интенсивность ИРИ при воздействии в МЗ больше на ~10 дБ.
2. При больших временах воздействия в направлении МЗ при генерации «верхнегибридных» компонент ИРИ возникает слой дополнительной ионизации, который проявляется в спектрах ИРИ через появление дополнительной компоненты, т.н. «динамического» BUM_D [2]. Поскольку ДН антенны HAARP достаточно широка (~14º на использованных частотах), генерация BUM_D в описанном эксперименте наблюдалась при углах наклона +7º, +14º (наиболее интенсивно) и +21º, когда МЗ попадал в ДН. При этом для угла +14º наблюдалось некоторое ослабление остальных «верхнегибридных» компонент ИРИ.
3. С увеличением наклона ДН на север интенсивность ИРИ уменьшалась на всех приёмных пунктах, особенно заметно в п. **A**. При максимальном наклоне ДН на юг интенсивность ИРИ в п. **A** заметно увеличивалась.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 14-12-00706п, при частичной поддержке РФФИ, проект № 16-02-00798.

1. Frolov V.L., Sergeev E.N., Komrakov G.P., et al. //JGR, 2004. V. 109. P. A07304.
2. Sergeev E. Grach S., Shindin A. et al. //Phys. Rev. Lett. 2013. V. **110**. P. 065002.

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАЗМЕННЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ОБСТАНОВКА (1ЭТАП)» НА БОРТУ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС.

Грушин В.А., Климов С.И., Киров Б., Корепанов В.Е., Салаи Ш., Сегеди П., Белова И.Э., Белякова Л.Д., Гречко Т.В., Лапшинова О.В., Новиков Д.И.

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

Эксперимент Обстановка 1 этап проводился на РС МКС в период с 19 апреля 2013 г по 9 мая 2015 г. В составе плазменно-волнового комплекса, установленного на поверхности МКС, были, в частности, приборы: Зонд Ленгмюра-ЗЛ (Болгария), феррозондовый магнитометр-ДФМ (Россия), два комбинированных волновых зонда-КВЗ-1 и КВЗ-2 (Украина) в сочетании со спектроанализатором ПСА-О (Венгрия).

Зонд Ленгмюра, благодаря гибкому алгоритму измерений, позволил получить вольтамперные характеристики в широком диапазоне потенциалов плазмы в ближней окрестности МКС. При этом в телеметрию передавалась только информация, пригодная к дальнейшей обработке. Магнитометр ДФМ, благодаря двум диапазонам измерений, позволил фиксировать как низкочастотные вариации магнитного поля в широком диапазоне амплитуд, так и среднечастотные колебания (до 16 Гц) после фильтрации низкочастотной составляющей. Комбинированные волновые зонды соединили в компактной конструкции датчики индукции магнитного поля, потенциала электрического поля и величины тока плазмы. Спектроанализатор ПСА-О (название в Венгерской аббревиатуре ШАШ-3) оцифровывал показатели трёх параметров комбинированных зондов с частотой 40 кГц и получал дискретные Фурье спектры по выборкам из 1024 точек. В режиме мониторинга записывались спектры и проводился анализ данных на наличие событий которые описывались на языке амплитуд на выделенных частотах. По триггерам событий записывались фрагменты волновой формы сигналов датчиков.

ЗЛ имеет свой поток телеметрических данных, который требуется выделить из последовательности телеметрических кадров плазменно-волнового комплекса. Вольт-амперные характеристики строятся симметрично вверх-вниз от точки плавающего потенциала – где имеет место нулевой суммарный собранный зондом ток. Вторая характерная точка – где происходит переход от участка преимущественного электронного тока к току насыщения - находилась с помощью дифференцирующего фильтра Савицкого-Голея. Оценки изменения ионной концентрации и электронной температуры выполнены посредством линейной и экспоненциальной аппроксимации соответствующих участков вольтамперной характеристики с последующей калибровкой по средним известным значениям параметров ионосферы на высоте орбиты МКС. По величинам плавающего потенциала и вторичным вычисленным параметрам прослеживаются процессы локального затенения датчика ЗЛ и перехода «день ночь» для всей МКС. Интерес для изучения представляют случаи локального роста потенциала на ночном участке орбиты.

ДФМ позволил фиксировать моменты скачкообразного возрастания сильных токов в системах МКС в ритме переходов по орбите из тени на солнце. Влияние дипольного поля на показания ЗЛ не удалось оценить на фоне локальных затенений датчика ЗЛ конфигурацией МКС. Усиление высокочастотной электромагнитной активности по данным КВЗ синхронизируется с уменьшением числа успешных измерений ЗЛ. Участки высокой и низкой электромагнитной активности стабильно повторяются на последовательных витках в одном магнитном локальном времени.

СВЯЗЬ ВНУТРЕННИХ АТМОСФЕРНЫХ ВОЛН И НАКЛОННЫХ СПОРАДИЧЕСКИХ E_s СТРУКТУР В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Губенко В.Н., Кириллович И.А., Павельев А.Г.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, vngubenko@gmail.com

Радиозатменные измерения спутников CHAMP/GPS были использованы для исследования спорадических E-слоев в высокоширотной ионосфере Земли. Параметры ионосферных структур определялись на основе анализа высотных вариаций эйконала (фазового пути) и интенсивности радиозатменного сигнала CHAMP, зарегистрированного на GPS-частоте 1575,42 МГц. Данный способ позволил оценить пространственное смещение плазменных слоев по отношению к перигею радиолуча, определить величины углов наклона слоев к локальному горизонту, а также найти высотные поправки их расположения [1, 2].

Распространение мелкомасштабной атмосферной волны модулирует структуру сформированного горизонтального спорадического E-слоя, а также приводит к вращению вектора градиента плотности плазмы в направлении вектора распространения внутренней волны. Полагая, что внутренняя гравитационная волна с параллельным плоскости ионизации слоя фазовым фронтом обусловливает угол наклона спорадического E-слоя, мы разработали новый метод определения характеристик атмосферных волн, связанных с наклонными спорадическими структурами в ионосфере Земли [3]. При восстановлении волновых параметров были использованы дисперсионное и поляризационные соотношения для внутренних волн в атмосфере планеты [4 – 7].

Определены ключевые характеристики анализируемых атмосферных волн, такие как: собственные частота и период, вертикальная и горизонтальная длины волн, собственная вертикальная и горизонтальная фазовые скорости, угол между направлением волнового вектора и локальной вертикалью [3]. Найдено, что исследуемые внутренние волны имеют период от 35 до 46 минут и собственную вертикальную фазовую скорость от 1.4 до 2.0 м/с, что хорошо согласуется с результатами независимых экспериментов и данными моделирования спорадических E-слоев на высоте ~100 км в полярной шапке Земли [8]. Разработанный новый метод существенно расширяет возможности радиозатменного мониторинга для исследования взаимосвязей между внутренними атмосферными волнами и спорадическими слоистыми структурами в ионосферах Земли и планет.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-02-00313) и Программы Президиума РАН № 28 (подпрограмма «Солнечная и другие планетные системы»).

1. Pavelyev A.G., Liou Y.A., Zhang K. et al. // Atmos. Meas. Tech. 2012. V. **5**. P. 1–16.
2. Pavelyev A.G., Liou Y.A., Matyugov S.S. et al. // Atmos. Meas. Tech. 2015. V. **8**. P. 2885–2899, DOI: 10.5194/amt-8-2885-2015.
3. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Kirillovich I.A., Liou Y.-A. // Advances in Space Research 2017 (available online 13 October 2017), DOI: https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.10.001.
4. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Andreev V.E. // J. Geophys. Res. 2008. V. **113**. D08109, DOI :10.1029/2007JD008920.
5. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R., Pavelyev A.A. // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. **4**. P. 2153–2162, DOI : 10.5194/amt-4-2153-2011.
6. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R., Andreev V.E. // Cosmic Res. 2012. V. **50**. P. 21–31, DOI : 10.1134/S0010952512010029.
7. Gubenko V.N., Kirillovich I.A., Pavelyev A.G. // Cosmic Res. 2015. V. **53**. P. 133–142, DOI: 10.1134/S0010952515020021.
8. MacDougall J.W., Plane J.M.C., Jayachandran P.T. // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2000. V. **62**. P. 1169–1176.

ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ТОЛЩИ ИОНОСФЕРЫ В ОБЛАСТЯХ ГЛАВНОГО ПРОВАЛА И ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АНОМАЛИИ В ИОНИЗАЦИИ

Гуляева[1] Т.Л., Станиславска[2] И., Пустовалова[1] Л.В.

[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, gulyaeva@izmiran..ru; pustoval@izmiran.ru*
[2]*Центр Космических Исследований ПАН, Варшава, Польша, stanis@cbk.waw.pl*

Региональные карты полного электронного содержания TEC и критической частоты foF2 использованы для оценки экстремальных значений эффективной толщи ионосферы τ, представляющей ионосферную модель в виде пластины со значением TEC и постоянной максимальной плотностью электронов NmF2, пропорциональной foF2 (τ = TEC/NmF2). В расчетах использованы карты foF2, производимые ЦКИ [1] для регионов Европы с координатами [-10:90°E, 35:70°N] и Австралии [80:0°S, 110:180°E], и соответствующие части глобальных карт GIM-TEC производства JPL. Климатическая модель ионосферы и плазмосферы IRI-Plas [2] показывает аномально высокие значения τ в области ночного провала в ионизации на суб-авроральных широтах, а также ночью вблизи экватора - в отличие от экваториальной аномалии в ионизации, наблюдаемой в дневных условиях. Глобальное поведение τ показывает полугодовую волну с максимумами в летнее и зимнее солнцестояние и минимумами в равноденствие - в отличие от максимумов foF2 и TEC, наблюдаемых в равноденствие. Изменения глобальных средних значений τ в 23-24 солнечных циклах обнаруживают максимумы на подъеме и спаде солнечной активности. Рассмотрено поведение толщи ионосферы для серии геомагнитно-ионосферных бурь в минимуме солнечной активности (1995-1996 и 2017гг) и вблизи солнечного максимума (2002г). Увеличение толщи τ в главной фазе геомагнитных бурь наблюдается при отрицательной фазе ионосферной бури в параметрах TEC и foF2 [1]. Экстремальное увеличение мгновенных значений τ выше реалистичных пороговых значений позволяет оценить диспропорцию наблюдаемых параметров TEC и foF2 и скорректировать их ассимиляцию трехмерной моделью ионосферы и плазмосферы IRI-Plas.

1. Gulyaeva T.L., Stanislawska I. // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2005. V. 67. P. 1307-1314.
2. Gulyaeva T.L., Arikan F., Hernandez-Pajares M., Stanislawska I. // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2013. V. 102. P. 329-340.

СИНХРОННЫЕ ВАРИАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ И ИОНОСФЕРНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ КОРОНАЛЬНОЙ МЕГА-ДЫРЫ В ТЕЧЕНИЕ 24 ОБОРОТОВ СОЛНЦА В 2015-2017 гг

Гуляева Т.Л., Гуляев Р.А.

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, gulyaeva@izmiran.ru; rgulyaev@izmiran.ru

Корональные дыры наблюдаются в крайнем ультрафиолете и мягком рентгеновском излучении на диске Солнца как участки с пониженной яркостью по сравнению с окружающими областями солнечной атмосферы. В работах [1-2] были исследованы особенности эволюции долгоживущей гигантской корональной мега-дыры (КМД) от её рождения в Кэррингтоновском обороте CR2165 (06/2015) до исчезновения CR2188 (03/2017). Эта долгоживущая КМД простирается от северного полюса к экватору, и в максимуме развития доходит до 30° южной широты. В данной работе использован индекс Pch [3], построенный по наблюдениям SOHO EIT 284 Å, на основе которого был разработан метод прогноза скорости солнечного ветра (Vsw) по интенсивности свечения в корональной дыре в окрестности центрального меридиана на Солнце [10°E,10°W], [30°N, 30°S]. Индекс Pch=Σ1/b, где b представляет собой яркость пикселей в пределах указанной области. Изменения индекса Pch [3] вблизи центра диска Солнца по наблюдениям яркости в линии Fe XII 193Å соответствуют изменениям площади КМД [1] в день пересечения ею центрального меридиана. Нами проведен анализ показателя эмиссии водорода в линии 1216 Å Lyman-α, значений скорости солнечного ветра Vsw, геомагнитных индексов AE и Dst и ионосферных параметров критической частоты foF2, полуденного глобального среднего полного электронного содержания TEC по глобальным картам GIM-TEC, глобального электронного содержания GEC и планетарного индекса ионосферной возмущенности Wp. Наблюдаются синхронные изменения солнечных и ионосферных параметров на спаде солнечного цикла SC24. Результаты анализа представлены в докладе.

1. Андреева О.А., Малащук В.М., Ахтемов З.С., Жигалкин Р.К. // Солнечная и солнечно-земная физика - 2017. Санкт-Петербург, Пулково, 2017. С. 29-32.

2. Ахтемов З.С., Перебойнос В.А., Штерцер Н.И. // Солнечная и солнечно-земная физика - 2017. Санкт-Петербург, Пулково, 2017. С. 33-36.

3. Luo B., Zhong Q., Liu S., Gong J. // Solar Phys. 2008, V. 250, P. 159-170.

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ "ПУЗЫРИ": ВЛИЯНИЕ ТЕРМОСФЕРНЫХ ВЕТРОВ, МОДУЛИРОВАННЫХ ПРИЛИВНЫМИ ВОЛНАМИ DE3

Л.Н. Сидорова, С.В. Филиппов

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

Ранее было выдвинуто предположение о возможном влиянии тропосферного источника на долготные распределения экваториальных плазменных "пузырей", наблюдаемых на высотах верхней ионосферы. При этом полагали, что основным проводником этого влияния являются термосферные ветры, модулированные тропосферными приливными волнами DE3. Вывод основывался на обнаружении высокой степени корреляции ($R \cong 0.79$) вариаций долготного распределения плазменных "пузырей" и плотности нейтральной атмосферы (Сидорова и Филиппов, Геомагнетизм и аэрономия, 2016). В настоящей работе предположение о влиянии термосферных приливных ветров на плазменные "пузыри" на этапе их генерации подвергнуто дальнейшей проверке. Для этого проанализированы долготные распределения частоты наблюдения плазменных "пузырей", полученные на разных ионосферных высотах (~600 км, ROCSAT-1; ~1100 км, ISS-b), и выявлено их принципиальное подобие. Проведен сравнительный анализ этих распределений с долготным профилем девиаций зонального термосферного ветра (~400 км, CHAMP), модулированного приливной волной DE3, и выявлена их значительная корреляция ($R \cong 0.72$). На основе известной модели генерации плазменных «пузырей» (модель Кудеки) получена приближенная оценка возможного влияния приливных волн DE3 на генерацию "затравочных" возмущений. Сделан вывод о том, что долготные вариации зонального ветра, связанные с приливными волнами DE3, могут оказывать влияние на долготные вариации частоты появления первоначальных "затравочных" возмущений, эволюционирующих далее в плазменные "пузыри".

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ПЕРИОД МОЩНОГО ЧИЛИЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 г.

Ишкова Л.М., Ружин Ю.Я., Бершадская И.Н.

IZMIRAN, г. Москва, г. Троицк, ishkova@izmiran.ru

По данным сети станций GPS проведен анализ пространственно-временных возмущений полного электронного содержания (ПЭС) в протяженных областях ионосферы южно-американского региона (λ=45°÷105°W, ϕ=25°N÷60°S) в период мощного чилийского землетрясения 17.09.2015 г. (M=8.3).

Приведены оценки величин аномальных возмущений полного электронного содержания относительно десятидневного медианного уровня ПЭС (для конкретных моментов местного времени), пространственных масштабов областей ионосферы (доходившие до нескольких тысяч километров), в которых имели место аномальные возмущения ПЭС, их длительностей в течение суток.

Проведено сопоставление характеристик возмущений ПЭС в рассмотренный период с аналогичными результатами оценок возмущений ПЭС в периоды мощных чилийских землетрясений 27.02.2010 г. (M=8.8) и 01.04.2014 (M=8.2).

Исследование реакции среднеширотной ионосферы сопряженных областей на космическую погоду

Бикташ Л.З.

Проведено исследование вклада ионосферных токов в геомагнитные вариации в сопряженных областях среднеширотной ионосферы. Пространственные и временные вариации параметров среднеширотной ионосферы изучены наиболее детально. Считается, что основными процессами, определяющими уровень электронной концентрации в среднеширотной ионосфере, являются фотоионизация, диссоциативная рекомбинация и диффузионный перенос плазмы вдоль геомагнитных силовых линий. Во время магнитных бурь наблюдаются существенные изменения пространственно-временной структуры среднеширотной ионосферы называемые ионосферными бурями. Тем не менее, вопрос о вкладе ионосферных токов в геомагнитные вариации активно обсуждается. Например, явления, связанные с полугодовыми геомагнитными вариациями, наблюдаемые в равноденствие объясняются и ориентацией дипольной оси Земли, и эффектом Рассела-Мак Феррона, и высокими значениями гелиосферной широты Земли, когда наблюдаются высокоскоростные потоки солнечного ветра. По-видимому, все эти явления вносят определенный вклад в ионосферные вариации и необходимо выделить наиболее эффективный механизм, объясняющий полугодовые вариации. В этой связи, в работе рассмотрено поведение как спокойной так и возмущенной ионосферы в зависимости от сезона, уровня солнечной активности по данным геомагнитных и ионосферных обсерваторий Лампедузы, Германуса и Цунеба.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗИМНЕЙ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ, ВКЛЮЧАЮЩАЯ ПРОВАЛ ИОНИЗАЦИИ

Карпачев А.Т.[1], Клименко М.В.[2,3], Клименко В.В.[2], Чирик Н.В.[2,3], Жбанков Г.А.[4]

[1]*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Московская обл., Россия, karp@izmiran.ru*

[2]*КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru, maksim.klimenko@mail.ru*

[3]*БФУ им. Иммануила Канта, Калининград, Россия, wsaad@mail.ru*

[4]*НИИ Физики, Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, zhbankov_ga@rambler.ru*

Построена эмпирическая модель *foF*2 в высокоширотной зимней ионосфере северного и южного полушарий в интервале географических широт 40-85°. Модель справедлива для спокойных условий Кр=2 для всех уровней солнечной активности в диапазоне *F*10.7=70-200. Модель охватывает период ноябрь-февраль в северном полушарии и май-август в южном. Модель охватывает все часы местного и соответственно мирового времени. Модель построена по данным внешнего зондирования на спутнике Интеркосмос-19, данным радиозатменных наблюдений в экспериментах GRACE, CHAMP и COSMIC и данным прямых измерений на спутнике CHAMP. Абсолютные значения foF2 определялись по данным внешнего зондирования со спутника Интеркосмос-19 и радиозатменных наблюдений, а также дополнительно контролировались по модели IRI. Таким образом, в модели косвенно учтены и данные наземного зондирования, т.е. для построения модели были фактически использованы все доступные ионосферные данные. Долготные вариации *foF*2 определялись по данным спутника Интеркосмос-19 для высокой солнечной активности и CHAMP для низкой активности. Долготные вариации положения минимума провала также определялись по данным Интеркосмос-19 и CHAMP. Широтные вариации в области ионосферного провала определялись по данным CHAMP и радиозатменным данным. В результате модель впервые воспроизводит структуру ионосферного провала – его положение и форму на разных долготах. Поэтому модель может быть использована в задачах распространения радиоволн на высокоширотных трассах. В целом модель гораздо более точно, чем IRI, описывает долготные и широтные вариации foF2 в зимней ионосфере. Модель установлена на сайте ИЗМИРАН: http://www.izmiran.ru/ionosphere/sm-mit/ и доступна для использования и тестирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 17-77-20009.

ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА ДАННЫМИ РАДИОЗАТМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Карпачев А.Т. [1], **Чирик Н.В.** [2,3], **Клименко М.В.** [2,3], **Клименко В.В.** [2]

[1]*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Московская обл., Россия, karp@izmiran.ru*

[2]*КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru, maksim.klimenko@mail.ru*

[3]*БФУ им. Иммануила Канта, Калининград, Россия, wsaad@mail.ru*

Распределение электронной концентрации в ионосфере Земли играет ключевую роль в распространении коротковолновых радиосигналов и оказывает существенное влияние на космическую радиосвязь, радиолокацию, навигацию и работу навигационных спутниковых систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS. Для описания состояния ионосферы ранее был создан ряд эмпирических моделей, использующих различные, отличающиеся друг от друга методы и подходы, алгоритмы построения и наборы экспериментальных данных, предназначенных для решения различных научных и прикладных задач. Международная справочная модель ионосферы (IRI - International Reference Ionosphere) описывает климатическое состояние ионосферы и успешно используется на протяжении вот уже более 40 лет при решении различных прикладных задач [1]. Существующие опции модели IRI предназначены для расчета параметров максимума F2 слоя ионосферы и основаны, главным образом, на данных измерений наземных станций. В [2] отмечается, что модель IRI испытывает наибольшие трудности при описании состояния и структуры высокоширотной ионосферы. Модель главного ионосферного провала (ГИП) [3] описывает климатическое состояние критической частоты F2 слоя ионосферы, foF2, в высокоширотных областях ночной зимней ионосферы. Основной целью данного исследования является оценка качества воспроизведения распределения электронной концентрации в F2 слое высокоширотной ионосферы Земли с помощью различных эмпирических моделей. Для этого мы провели сравнение результатов расчетов, полученных с использованием URSI опции модели IRI, эмпирической модели MIT (Main Ionospheric Trough) с данными спутниковых радиозатменных наблюдений. В отличие от наземных методов измерений спутниковые наблюдения, почти полностью покрывающие поверхность Земли, лучше подходят для построения глобальной модели ионосферы, а также для проведения исследований пространственно-временного поведения параметров ионосферы. Нами создана база данных спутниковых измерений электронной концентрации в F области ионосферы, в которую вошли радиозатменные измерения на спутниках CHAMP, GRACE и COSMIC. Ионосферные радиозатменные измерения начали проводиться в 2001 году и продолжают проводиться до настоящего времени. В ходе выполнения данной работы был создан пакет программ, который позволяет обрабатывать и систематизировать результаты радиозатменных наблюдений для последующего использования их в научных исследованиях или для решения прикладных задач. В дальнейшем результаты обработки данных радиозатменных наблюдений планируется использовать для построения глобальной эмпирической модели электронной концентрации в ионосфере Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 17-77-20009.

1. Bilitza D., Altadill D., Zhang Y., Mertens C., Truhlik V., Richards P., McKinnell L.A., Reinisch B. // J. Space Weather Space Clim. 2014. V. 4, A07.

2. Themens, D.R., Jayachandran P.T., Galkin I., Hall C. // J. Geophys. Res. Space Physics 2017. V. 122, 9015–9031.

3. Karpachev A.T., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Pustovalova L.V. // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2016. V. 146. 149–159.

ИССЛЕДОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР НА СОЛНЕЧНО-СИНХРОННОЙ ОРБИТЕ СПУТНИКА РЭЛЕК/*ВЕРНОВ*.

Климов[1] С.И., В.А. Грушин[1], П.А. Климов[2], В.Е. Корепанов[3], Я. Лихтенбергер[4], И.Н. Мягкова[2], Д.И. Новиков[1], Л.А. Осадчая[1], М.И. Панасюк[2], С.И. Свертилов[2], Ч. Ференц[4]

[1]ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sklimov@iki.rssi.ru
[2]НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия
[3]ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина
[4]Университет Этвёша, г. Будапешт, Венгрия

Научная программа спутника РЭЛЕК/*Вернов* (запущен 8.VII.2014, солнечно-синхронная орбита, апогей - 830 км, перигей - 640 км, наклонение – 98.4°, орбитальный период 100 минут) направлена на исследование потоков магнитосферных релятивистских электронов и спектров излучений КНЧ-ОНЧ диапазонов по одной электрической и 3-м магнитным компонентам [1]. Для этих исследований был использован метод комбинированной волновой диагностики [2], основанный на проведении одновременных измерений электрических и магнитных полей, колебаний токов в плазме; использовании идентичных методов бортовой обработки сигналов для всех измеряемых параметров; возможности изменения частотно-временного разрешения измеряемых параметров в зависимости от режима работы бортовой системы телеметрии спутника.

Сформирована база данных мониторинговых (до нескольких десятков часов) измерений спектров *E, Bx*, *By*, *Bz* в диапазоне 0.01-40 кГц (Рис. 1). Каждый спектр отражает среднее значение в течение 6.5 с. Эти спектры каждые 16 секунд записываются в память низкочастотным волновым комплексом НЧА [1], и далее в сеансе связи передаются на Землю.

В работе проведен анализ наблюдаемых волновых структур, условно названных (см. рис.1): haystack (стожки), IBE (интенсивные широкополосные эмиссии) и oblique (наклонные), по которым, в частности, проведен (рис. 2) совместный синхронный анализ ОНЧ <15кГц с потоками электронов E = 235–300 keV [3] - нижняя панель Рис. 2.

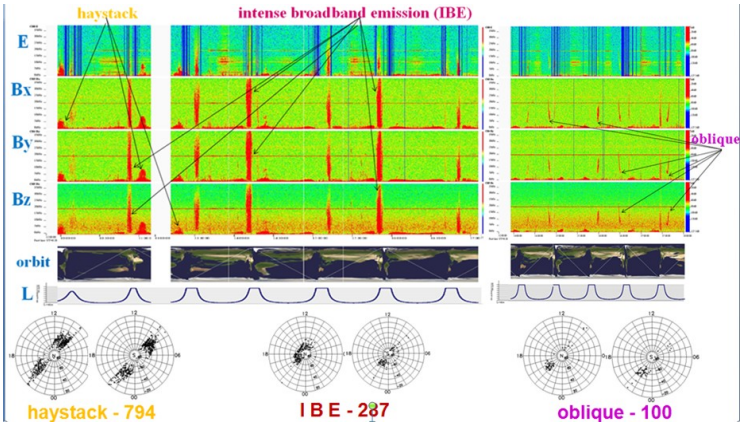


Рис. 1.

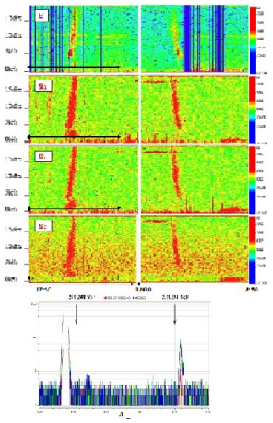


Рис. 2.

1. *Панасюк М.И., С.И. Свертилов, и др.* Эксперимент на спутнике *Вернов*: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере земли. Ч. II. Первые результаты. Космические исследования, 2016, том 54, № 5, с. 369–376.
2. *Klimov S.I., Nozdrachev M.N., Petrukovich A.A, et al.* Combined wave diagnostics - a new tool for the plasma turbulence studies. COSPAR COLLOQUIUM'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques, Beijing China, 15-19 April 1996, Abstracts, P. 18-19.
3. Мягкова И.Н. и др. Динамика потоков электронов в зазоре между радиационными поясами в ноябре–декабре 2014 года по данным ИСЗ *Вернов*. Космические исследования 55(1):75-82, 2017.

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ КОРРЕКЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПРИЕМНИКОВ СИГНАЛОВ ГНСС В СРЕДНЕ- И ВЫСОКОШИРОТНОМ РЕГИОНАХ ДЛЯ РАЗНЫХ СЕЗОНОВ 2014 ГОДА

Котова Д.С. (1,2), Оводенко В.Б., Ясюкевич Ю.В., Клименко М.В., Мыльникова А.А., Ратовский К.Г., Андреева Е.С.

(1) КФ ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия;

(2) БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, darshu@ya.ru

В работе исследуется вопрос применимости предложенного метода коррекции эмпирических ионосферных моделей (IRI-Plas и NeQuick), основанных на International Reference Ionosphere (IRI) модели. Суть метода коррекции заключается в минимизации невязки между экспериментальными данными абсолютного наклонного полного электронного содержания (ПЭС), полученными по данным глобальных навигационных спутниковых систем, и модельными расчетами ПЭС для той же геометрии луча (азимут и угол места) от спутника до приемника, расположенного на поверхности Земли [1,2].

Рассматриваются результаты модельной коррекции в средне- и высокоширотном регионах. Был выбран 2014 год, соответствующий средней солнечной активности. Рассматривались магнитоспокойные дни весеннего и осеннего равноденствия, летнего и зимнего солнцестояния. Для проверки адекватности предложенного метода коррекции проведено сравнение полученных результатов с данными наблюдений станций вертикального зондирования ионосферы, а также с данными высокоорбитальной и низкоорбитальной радиотомографии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-77-20009) и программы повышения конкурентоспособности «5-100» БФУ им. И.Канта. Экспериментальные данные получены с использованием оборудования ЦКП "Ангара" (ИСЗФ СО РАН).

1. Ovodenko V.B., Trekin V.V., Korenkova N.A., Klimenko M.V. // Adv. Space Res. 2015. V. **56(5)**. P. 900-906. doi 10.1016/j.asr.2015.05.017.

2. Ясюкевич Ю. В., Оводенко В. Б., Мыльникова А. А., Живетьев И. В., Веснин А. М., Едемский И. К., Котова Д. С. // Вестник ПГТУ. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. № **2(34)**. С. 19-31. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.2.19.

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ВОЛНОВОГО ИМПЕДАНСА ПОЛЯ ИОНОСФЕРНОГО ИСТОЧНИКА

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

ПГИ, г. Апатиты, Россия, alexey.larchenko@gmail.com

Знание параметров нижней ионосферы является важным как для фундаментальных исследований физических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли, так и для решения практических задач, таких как учет влияния нижней ионосферы на результаты электромагнитного зондирования земной коры при поиске углеводородов, организация связи с подводными лодками в КНЧ диапазоне и прогноз устойчивости КВ радиосвязи.

Эксперименты по нагреву ионосферы мощным модулированным КВ сигналом позволяют создать источник электромагнитных волн СНЧ/ОНЧ диапазона в нижней ионосфере. Результаты наземных измерений поля такого источника на расстоянии в несколько длин волн от области нагрева могут быть использованы для исследования эффектов возбуждения и распространения низкочастотных волн в волноводе Земля–ионосфера и зондирования D- и E- слоев ионосферы с целью измерения профиля электронной концентрации. В работах [1,2] показана возможность оценки профиля электронной концентрации нижней ионосферы по наземным измерениям фазовых скоростей сигналов ионосферного источника при помощи их сравнения с численным решением волнового уравнения. Результаты решении такого рода обратной задачи, могли бы быть более полными и достоверными, если бы удалось включить в анализ не только измерения скорости, но и измерения поляризации и волнового импеданса.

В докладе рассматриваются результаты наблюдений поляризаций и волнового импеданса СНЧ-ОНЧ сигналов по данным регистрации на высокоширотной сети станций ПГИ в обс. «Верхнетуломский» (68.6° N, 31.79° E), «Ловозеро» (67.97° N, 35.02° E). Результаты наблюдений сравниваются с результатами моделирования распространения СНЧ-ОНЧ волн в волноводе Земля-ионосфера и рассматривается возможность применения этих параметров для оценки профиля электронной концентрации нижней ионосферы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-35-00413.

1. Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Благовещенская Н.Ф., Ларченко А.В., Григорьев В.Ф., Пильгаев С.В. // Геомагнетизм и аэрономия 2017. Т. 57. № 6. С. 751-759.

2. Лебедь О.М., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Филатов М.В., Никитенко А.С., Федоренко Ю.В. // Гелиогеофизические исследования в Арктике Сборник трудов конференции. Полярный геофизический институт 2016. С. 34-37.

ОЦЕНКА ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫСОКОШИРОТНОЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ОНЧ ДИАПАЗОНЕ ПРИ НАГРЕВЕ СТЕНДОМ EISCAT/HEATING

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

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, olgamihsh@yandex.ru

Эксперименты по нагреву высокоширотной ионосферы мощным модулированным коротковолновым сигналом позволяют создать источник электромагнитных волн СНЧ/ОНЧ диапазона в ионосфере и с его помощью исследовать эффекты распространения низкочастотных волн в волноводе Земля–ионосфера. В данной работе мы представляем результаты оценок профилей электронной концентрации ионосферы N_e на высотах 50-100 км во время эксперимента, проводимого ААНИИ в октябре 2016 г. на стенде EISCAT/Heating (Норвегия). Нахождение профилей N_e выполнялось путем сравнения фазовых скоростей TE01 и TEM волноводных мод, полученных с помощью моделирования, с экспериментом. Мы использовали измерения электромагнитного поля на станциях ПГИ «Ловозеро» и «Верхнетуломский» на частотах 1017 Гц и 3017 Гц. Моделирование компонент электромагнитного поля на земной поверхности и фазовых скоростей во время эксперимента нагрева выполнялось с помощью полно-волнового метода для набора профилей N_e. Данный набор был получен путем модификации базового профиля, рассчитанного с помощью модели IRI-2016 для времени эксперимента, с сохранением его формы и непрерывности. Обсуждаются свойства решений обратной задачи оценки профилей N_e и полученные результаты.

ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ НАТЕКАНИЯ И КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ РС МКС В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Лисаков Ю. В.

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

На Российском сегменте МКС в космическом эксперименте (КЭ) "Импульс 1" (ИЗМИРАН) прибором ККЭП (Комплекс Контроля Электрических Параметров) проводились измерения токов натекания на плоские зонды и измерения квазистационарного электрического поля датчиками вибрационного типа. Анализировались измерения, выполненные двумя комбинированными датчиками, размещенными непосредственно в приповерхностной зоне КА. Апертура 1-го датчика была направлена на Землю (в надир), апертура 2-го датчика была направлена приблизительно против вектора скорости (в "след"). Диапазон измеряемых прибором токов составлял ±1÷±13нА (площадь зонда 6.25 $см^2$), плотность тока ±0.16÷±2.08нА/$см^2$. Двухполярные квазипостоянные электрические поля представлялись в телеметрических единицах. В эксперименте измерялись эффекты взаимодействия заряженной компоненты среды (ионосферы), окружающей сверхбольшой движущийся объект – КА. Характер взаимодействия определяется текущей динамикой ионосферы. Общие, постоянно наблюдавшиеся особенности поведения измеряемых токов и полей при движении КА по орбите состоят в следующем. Во-первых, на освещенных участках орбит токи имеют положительные значения, существенно превышающие средние, на неосвещенных – токи принимают значения, ниже средних, иногда переходящие в область отрицательных значений, в измеряемых электрических полях наблюдаются более сложные зависимости величин и полярности. Во-вторых, в относительно высоких широтах южного и северного полушарий в вечернем и раннем утреннем секторах MLT достаточно регулярно наблюдаются характерные границы структур ГИП (Главный ионосферный провал) и ГДВ (Граница диффузных вторжений), в которых измеряемые токи и электрические поля очевидно антикоррелируют. Кроме того, вблизи полуденного меридиана в диффузной зоне в измеряемых параметрах так же наблюдается характерная структура с достаточно резкими границами. В-третьих, в дневное местное время в приэкваториальной области (при входе и выходе) достаточно регулярно (но, не всегда) наблюдается характерная структура в измеряемом токе и квазистационарном электрическом поле – экваториальная Геомагнитная аномалия (ЭА). Измерения выполнялись в период 12.02.2010–21.01.2011гг. В работе анализировались измерения, включающие более 170 телеметрических сеансов. Были проанализированы более 11000 часов измерений токов натекания и квазипостоянных электрических полей с дискретностью 1с и привязкой UT к каждой точке. Данные измерений, геофизические и орбитальные данные были собраны в электронный альбом. С учетом специфики МКС (сверхбольшие размеры КА, сложнейшая пространственная конфигурация) подобные измерения, тем не менее, вполне пригодны для мониторинговых исследований некоторых особенностей ионосферы на уровне слоя F2 с временным масштабом от 1 с.

НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ ЭВОЛЮЦИИ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ В АКТИВНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

[1,2,3]Лосева Т.В., [4]Голубь А.П., [1]Косарев И.Б., [1,2]Ляхов А.Н., [1]Поклад Ю.В., [1]Гаврилов Б.Г., [1,2]Зецер Ю.И., [2,3]Черменин А.В.

[1]Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия, losseva@idg.chph.ras.ru
[2]Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия,
[3]Центр фундаментальных и прикладных исследований ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва, Россия
[4]Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

ИДГ РАН провел ряд активных геофизических ракетных экспериментов с инжекцией плазменных струй в ионосферу Земли. Целью этих экспериментов являлось исследование: процессов взаимодействия плазменных потоков с геомагнитным полем; процессов генерации ионосферных возмущений разных масштабов; свечения возмущенной области. Инжекция плазменных струй с известными параметрами позволяет верифицировать теоретические модели взаимодействия потоков плазмы со средой в максимально контролируемых условиях эксперимента, выгодно отличаясь от анализа данных мониторинга естественных процессов.

Задача интерпретации данных наблюдений требует определения параметров плазмы и ее оптических характеристик на начальной стадии инжекции. Решение этой задачи возможно только в радиационно-газодинамической постановке (РГД), так как тепловое излучение существенно влияет на динамику плазмы, а его часть, испускаемая на большие расстояния от струи, является одной из основных причин ионизации, возбуждения и генерации интенсивного свечения воздуха.

В настоящей работе представлена количественная оценка роли переноса излучения на начальной стадии инжекции алюминиевой струи в активном геофизическом ракетном эксперименте ФЛАКСУС в земной атмосфере на высоте 140 км. Анализ лабораторных данных по инжекции алюминиевой струи в разреженный воздух различной плотности в специальной взрывной вакуумной камере позволил создать достаточно простую физико-математическую РГД модель, в рамках которой было проведено численное моделирование начальной стадии динамики высокоскоростной алюминиевой струи в натурных условиях. Модель учитывает РГД-процессы в веществе струи и в воздухе, распространение на большие расстояния теплового излучения, испущенного высокотемпературной плазмой. Численное моделирование проводилось с использованием таблиц термодинамических и оптических характеристик алюминия, полученными в настоящих исследованиях, и известных ранее таблиц воздуха.

Сравнение данных наблюдений по величинам плотности потока излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах показало хорошее согласие с данными расчетов. Показано, что учет переноса теплового излучения существенно влияет на параметры плазмы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0146-2014-0002.

НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ ЭВОЛЮЦИИ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ В АКТИВНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

[1,2,3]Лосева Т.В., [4]Голубь А.П., [1]Косарев И.Б., [1,2]Ляхов А.Н., [1]Поклад Ю.В., [1]Гаврилов Б.Г., [1,2]Зецер Ю.И., [2,3]Черменин А.В.

[1]Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия, losseva@idg.chph.ras.ru
[2]Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия,
[3]Центр фундаментальных и прикладных исследований ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва, Россия
[4]Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

ИДГ РАН провел ряд активных геофизических ракетных экспериментов с инжекцией плазменных струй в ионосферу Земли. Целью этих экспериментов являлось исследование: процессов взаимодействия плазменных потоков с геомагнитным полем; процессов генерации ионосферных возмущений разных масштабов; свечения возмущенной области. Инжекция плазменных струй с известными параметрами позволяет верифицировать теоретические модели взаимодействия потоков плазмы со средой в максимально контролируемых условиях эксперимента, выгодно отличаясь от анализа данных мониторинга естественных процессов.

Задача интерпретации данных наблюдений требует определения параметров плазмы и ее оптических характеристик на начальной стадии инжекции. Решение этой задачи возможно только в радиационно-газодинамической постановке (РГД), так как тепловое излучение существенно влияет на динамику плазмы, а его часть, испускаемая на большие расстояния от струи, является одной из основных причин ионизации, возбуждения и генерации интенсивного свечения воздуха.

В настоящей работе представлена количественная оценка роли переноса излучения на начальной стадии инжекции алюминиевой струи в активном геофизическом ракетном эксперименте ФЛАКСУС в земной атмосфере на высоте 140 км. Анализ лабораторных данных по инжекции алюминиевой струи в разреженный воздух различной плотности в специальной взрывной вакуумной камере позволил создать достаточно простую физико-математическую РГД модель, в рамках которой было проведено численное моделирование начальной стадии динамики высокоскоростной алюминиевой струи в натурных условиях. Модель учитывает РГД-процессы в веществе струи и в воздухе, распространение на большие расстояния теплового излучения, испущенного высокотемпературной плазмой. Численное моделирование проводилось с использованием таблиц термодинамических и оптических характеристик алюминия, полученными в настоящих исследованиях, и известных ранее таблиц воздуха.

Сравнение данных наблюдений по величинам плотности потока излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах показало хорошее согласие с данными расчетов. Показано, что учет переноса теплового излучения существенно влияет на параметры плазмы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0146-2014-0002.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И ВАРИАЦИЙ ПЛОТНОСТИ МЕЗОСФЕРЫ ПО РАДИООТРАЖЕНИЯМ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ

Р.Ю. Лукьянова[1,2], А.Е. Козловский[3]

[1] *ГЦ РАН, г. Москва, r.lukianova@gcras.ru*
[2] *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*
[3] *Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Финляндия*

Источниками космической пыли и микротел являются астероиды и кометы. Пылевые частицы из пояса астероидов и затухающие кометные хвосты являются источниками спорадических метеоров, когда как кометы, которые пересекали орбиту Земли сравнительно недавно, порождают концентрированные метеорные потоки. Отражения от ионизованных следов метеоров, сгорающих в атмосфере, детектируются радарами в нижних слоях ионосферы на высотах 70-110 км. Анализ данных измерений метеорного радара позволяет выделить потоки на фоне спорадических метеоров. Обнаружено, что метеоры, относящиеся к потокам, производят ионизацию на существенно большей высоте, чем спорадические метеоры. Эффект может быть обусловлен большей скоростью и/или меньшей плотностью вещества, из которого состоят потоковые метеоры. Затухание сигнала метеорных радиоотражений контролируется процессом амбиполярной диффузии. Анализ ненасыщенных метеорных следов показывает, что ниже максимума метеорных отражений (~90 км) имеет место значительное отклонение в поведении метеоритной плазмы из теоретических предсказаний, основанных только на амбиполярной диффузии. Эффект обусловлен тем, что на этих высотах происходит дополнительная нейтрализация плазмы в химических реакциях с атмосферными газами. Сравнение со спутниковыми измерениями плотности атмосферы показывает, что высоты, на которых детектируется наибольшее число отражений (или на которых время затухания метеорного эха максимально), хорошо коррелируют с изменениями высоты изобар в мезосфере в ходе как сезонных, так и короткопериодных вариаций.

FEATURES of THE EQUATORIAL ANOMALY BEHAVIOR along THE MERIDIAN 100˚W

Maltseva O.A., Niketenko T.V., Sergeeva M.A.

НИИФ ЮФУ, г. Ростов-на-Доу, Россия, mal@ip.rsu.ru
SCiESMEX, Instituto de Geofisica, Unidad Michoacan, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Antigua carretera a Patzcuaro 8701, Morelia, Michoacan, Mexico, tes19@mail.ru

One of ways of ionospheric studying is the research of behaviour of its parametres along a certain meridian. The majority of papers concerns zones 30° E, 75° E, 100-120°E, the area 100°W was studied less. In the present paper the emphasis becomes on behaviour of the total electron content (TEC) in the field of equatorial anomaly (EA) in 2001-2017. Research of behaviour TEC in the EA region draws a special attention as in this area TEC reaches the greatest values. The previous researches in other longitudinal zones have revealed following features of behaviour TEC in zone EA: 1) dependence on solar activity (growth with its increase), 2) the hysteresis phenomenon when values on an ascending branch differ from values of descending period, 3) seasonal dependence with semiannual and winter anomalies, 4) asymmetry between hemispheres, 5) the response to distributions. The following results are obtained on each of these directions. For points 1 and 2 results are presented on an example of station of Mexico City (19.3°N, 99.1°W). Dependence on solar activity can be described by a line of linear regression from index F10.7 and index F10.7(81) averaged for 81 day: TEC=0.4614* F10.7-8.6919, TEC=0.4735*F10.7(81)-10.14 with correlation coefficients 0.9 and 0.91. For a hysteresis estimation, similar lines have been constructed separately for ascending branches (01.1999-09.2001, 01.2009-02.2014) and descending branches (10.2001-12.2008, 03.2014-12.2016) with correlation coefficients 0.89 and 0.91. Both lines are very close, but on ascending branches variability TEC is higher. For values of TEC in crests a situation is other and depends both on a hemisphere, and from LT. If for the Asian region the strengths of EIA crest during ascending period were smaller than those during descending period for a meridian 100˚W ascending period is characterized by great values for F10.7> 100 for day-time (LT=15) values in both hemispheres. For LT=23 and the northern crest, TEC is higher on a descending branch, for a southern crest on the contrary. As well as on other meridians, seasonal dependence of TEC in crests and in a trough is characterized by spring and autumn maxima and summer and winter minima. If winter anomaly is considered as summer values are less than winter ones these features are the most clearly in a maximum of solar activity. The relation of crests TEC(N)/TEC(S) is less in day conditions (average value 1.12), than at night (average value 1.3). This result is confirmed by a behaviour of values TEC(N)/F10.7 and TEC (S)/F10.7 subtracting the effect of solar activity. Asymmetry between hemispheres (point 4) is observed constantly. It is confirmed by the results mentioned above. A primary cause is change of a neutral wind. For an illustration of the response to disturbances a number of cases (strong and two moderately intense geomagnetic storms) is considered in details: July and August 2004, May 2017. Behaviour of EA is often allocated during the main phase and a recovery phase. Some results coincide with observed on other longitudes: increasing of northern crest during the main phase of moderate disturbance and especially large increasing of a southern crest on a recovery phase in May 2017 (relations of TEC in a crest to TEC in a trough are N/T=2.49, S/T=1.35, relation of TEC of crests is N/S=1.84). At comparison with results for satellite CHAMP have obtained, that for all flights in 4-7 UT (21-24 LT) over a meridian 100°W (20 flights in August 2004) have been obviously expressed two crests with higher electron concentration in northern hemisphere. Corresponding dependences of TEC at full qualitative coincidence are completely smoothed. The interesting fact is found: behaviour of TEC some days prior to disturbances differs from behaviour in days of disturbances a little, especially it concerns the periods of small Dst (>-30nT) when weak amplification and alignment of crests are observed (concrete examples are resulted).

ВОЗБУЖДЕНИЕ в верхней ионосфере электромагнитного поля УНЧ диапазона молниевым разрядом

Мазур Н.Г., Пилипенко В.А., Фёдоров Е.Н.

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, ngmazur@mail.ru

В работе исследована возможность передачи энергии, выделяемой в результате грозовой активности, в верхнюю ионосферу в виде УНЧ электромагнитных волн и роль в этом процессе ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) и ионосферного БМЗ волновода. С помощью разработанной численной модели теоретически рассчитаны частотные спектры возмущений, возникающих на различных уровнях от земной поверхности до ионосферных высот в диапазоне от долей Гц до нескольких Гц в результате разряда молнии в нижней атмосфере. Этот диапазон содержит типичные частоты как ИАР, так и ионосферного БМЗ волновода.

В качестве модели распределения ионов в ионосфере для расчёта её проводимости использована модель ионосферы IRI, дополненная атмосферной моделью MSIS. Расчёты проводились для ночного времени, поскольку именно в это время передача энергии из атмосферы в верхнюю ионосферу наиболее эффективна.

Молниевый разряд моделируется точечным токовым диполем и дельта-функцией по времени. Решение уравнений Максвелла ищется в виде преобразования Фурье по времени и по горизонтальным координатам. Преобразованные уравнения (система обыкновенных дифференциальных уравнений по вертикальной координате z) дополнены импедансным условием на поверхности Земли и условием излучения при $z \to \infty$. С использованием двумерной матрицы импеданса $\mathbf{Z}$, связывающей горизонтальные компоненты электрического и магнитного полей ($\mathbf{E}_\tau = \mathbf{Z}\mathbf{B}_\tau$) граничные условия сверху и снизу переносятся на уровень диполя, что позволяет свести решение поставленной краевой задачи к решению задачи Коши, осуществляемому численно методом Рунге-Кутта на основе стандартного кода RKF45.

Численное моделирование показало, что в результате молниевого разряда возбуждается взаимосвязанная система волн, охватывающая как ИАР, так и ионосферный БМЗ волновод. Рассчитаны частотные спектры в заданной точке в ионосфере на различных расстояниях от источника, а также временная форма генерируемого импульса. Также рассчитана вертикальная и горизонтальная структура поля на заданной частоте. Показано, что спектры горизонтальных компонент (как электрических, так и магнитных) обладают резонансной структурой. Спектральная амплитуда внутри ИАР колеблется в зависимости от высоты над Землёй в соответствии в расположением узлов и пучностей стоячей альвеновской моды.

Обсуждается возможность обнаружения УНЧ отклика на отдельный молниевый разряд на низкоорбитальных спутниках. Представляется, что имеющиеся наблюдения относятся к более высокочастотному диапазону (порядка 100 Гц и выше), а для УНЧ диапазона данные крайне скудны. По нашей оценке, амплитуды электрических и магнитных импульсов на высоте 500 км, производимых молниевым разрядом с зарядовым моментом $M_Q = 10^3$ Кл·км должны составлять около 3 мВ/м и 3 нТ, соответственно. Для регистрации таких возмущений требуется оснащение спутников магнитометрами и электрическими датчиками с достаточно высокой чувствительностью.

Работа выполнена при поддержке гранта 18-05-00108 Российского Фонда Фундаментальных Исследований.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ВОЛН В ВАРИАЦИЯХ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРАЛЬНОЙ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

Медведева И.В., **Ратовский К.Г.**

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

Представлена методика оценки атмосферной и ионосферной изменчивости, позволяющая анализировать проявление активности волн различного временного масштаба в большом диапазоне высот верхней атмосферы. В качестве характеристики атмосферной изменчивости используется изменчивость температуры атмосферы на высоте мезопаузы (Tm), полученной из спектральных наблюдений гидроксильного излучения (полоса OH(6-2) 834.0 нм, высота максимума излучения ~87 км) в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.8°N, 103.1°E, Торы). В качестве характеристики ионосферной изменчивости используется изменчивость максимума электронной концентрации (NmF2), полученной по данным Иркутского дигизонда DPS-4 (52.3° N, 104.3°E). Исследованы и сопоставлены сезонные вариации изменчивости Tm и NmF2 в различных временных периодах: межсуточные вариации ($T > 24$ час), приливные вариации ($8 \text{ час} \leq T \leq 24$ час), а также вариации с периодами внутренних гравитационных волн ($T < 8$ час). В результате, выявлены основные закономерности сезонного поведения изменчивости температуры атмосферы в области мезопаузы (Tm) и максимума электронной концентрации F-области ионосферы (NmF2) над Восточной Сибирью. В сезонном ходе межсуточных вариаций атмосферной и ионосферной изменчивости наблюдаются хорошо выраженные максимумы в зимние месяцы, возможной причиной которых могут быть внезапные стратосферные потепления (ВСП), влияющие на состояние верхней нейтральной атмосферы и ионосферы [1].

При помощи данной методики проведен анализ изменчивости Tm и NmF2, вызванной проявлением активности волн различных временных масштабов, в период внезапного стратосферного потепления в феврале 2016 г, и сопоставление со средними сезонными значениями. Обнаружено, что в области мезопаузы во время ВСП наблюдалось усиление температурной изменчивости вследствие активности планетарных волн и приливов до ~ 200%, ВГВ до ~500% по сравнению со средними значениями для февраля месяца. В F2-области ионосферы наблюдались значительные положительные возмущения максимума электронной концентрации NmF2 в послеполуночные часы, не связанные с геомагнитной активностью, которые в основном проявлялись в приливном диапазоне. Максимальное положительное значение ΔNmF2 в приливном диапазоне было в ~2.5 раза выше, чем полученное усреднением по 2008-2015 гг. для февральского ночного периода. Выявленные эффекты могут быть вызваны интенсификацией активности атмосферных волн в результате действия стратосферного потепления. Полученные результаты подтверждают связь между нижней и верхней атмосферой.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00192-а. В работе были использованы экспериментальные данные ЦКП «Ангара», полученные в рамках проекта II.16.1.2 Программы ФНИ государственных академий на 2013-2020 годы.

1. Medvedeva I., Medvedev A., Ratovsky K., Shcherbakov A., Tolstikov M. // Adv. Sp. Res. 2015. **V. 56** (9). P. 1877–1885, http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2015.06.008.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НАД ВОСТОЧНОЙ СИБИРЬЮ ВО ВРЕМЯ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

Ратовский К.Г., Медведева И.В.

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

Проведен статистический анализ ионосферных возмущений над Восточной Сибирью во время внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Статистика основана на данных о максимуме электронной концентрации NmF2, полученных на Иркутском дигизонде DPS-4 (52.3 N, 104.3 E). Для анализа температуры атмосферы во время ВСП были использованы спутниковые данные Aura MLS v3.3 и данные реанализа MERRA. В качестве начала ВСП были выбраны дни, соответствующие реверсу среднезонального ветра на широте 60 N и высоте 10 гПа в случае мажорных ВСП и дни, соответствующие максимальной температуре на высоте 10 гПа в точке (52.3 N, 104.3 E) случае минорных ВСП. Далее анализировались вариации ото дня ко дню возмущений NmF2 (dNmF2) в окрестности начала ВСП. Возмущение NmF2 представляло собой процентное отклонение наблюдаемых значений NmF2 от их медианных значений. Для выявления положительных и отрицательных ионосферных эффектов ВСП рассматривались вариации среднедневных и средненочных dNmF2. Для анализа изменений волновой активности использовались вариации интенсивности возмущений NmF2 в диапазоне периодов внутренних гравитационных волн (ВГВ) (периоды T <8 часов) и в приливном диапазоне (периоды T от 8 до 24 часов). Волновая активность рассчитывалась как среднеквадратичное значение dNmF2 по одним суткам в соответствующем диапазоне периодов. Всего было рассмотрено 9 мажорных ВСП, 7 минорных ВСП и смешанный вариант, состоящий из 6 мажорных ВСП и 7 минорных ВСП, с определением начала ВСП как в случае минорных событий (т.е. по максимальной температуре на высоте 10 гПа в точке (52.3 N, 104.3 E)). В среднедневных возмущениях NmF2 не было выявлено отчетливого положительного либо отрицательного отклика ионосферы на события ВСП. В случае минорных ВСП и в смешанном случае было обнаружено усиление волновой активности в приливном диапазоне в дни, соответствующие началу ВСП и вблизи него. В смешанном случае и для мажорных ВСП было обнаружено уменьшение волновой активности в диапазоне периодов ВГВ после начала ВСП.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00594-а. В работе были использованы экспериментальные данные ЦКП «Ангара», полученные в рамках проекта II.16.1.2 Программы ФНИ государственных академий на 2013-2020 годы.

МОДУЛЯЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ГЕНЕРАЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАПЫЛЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Морозова Т.И.[1,2], **Копнин С.И.**[1,2], **Попель С.И.**[1,2]

[1]*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*
[2]*Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область, Россия*
timoroz@yandex.ru

Описан механизм формирования неоднородностей электронной и ионной концентраций в запыленной ионосфере в результате развития модуляционного взаимодействия электромагнитных волн, связанного с возбуждением возмущений, имеющих частоты в области пылевых звуковых волн. Определены инкременты и пороги развития модуляционной неустойчивости, при которых происходит эффективное формирование неоднородностей компонент запыленной ионосферной плазмы. В рамках предложенного метода в качестве примера определены масштабы неоднородностей электронной концентрации в запыленной ионосфере, возникающей в результате развития модуляционной неустойчивости в случае монохроматических электромагнитных волн от нагревного стенда HAARP для положительно заряженных пылевых частиц на высотах 80 и 100 км. Показана возможность возбуждения достаточно интенсивных неоднородностей электронной и ионной концентраций ($\delta n_{e(i)}/n_{e(i)} \sim 0.05$) на высотах 80 и 100 км в результате развития модуляционного взаимодействия.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект #17-12-01458). Т.И. Морозова выражает благодарность фонду развития теоретической физики «Базис».

ДИНАМИКА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, СТИМУЛИРОВАННЫХ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ СТЕНДА «СУРА», ПО СОВМЕСТНОМУ АНАЛИЗУ ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО СВЕЧЕНИЯ

Насыров И.А.[1], Грач С.М.[2], Когогин Д.А.[1], Шиндин А.В.[2]

[1]*Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия, igor.nasyrov@kpfu.ru*
[2]*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru.*

В работе [1] при помощи численных расчётов показано, что искусственное оптическое свечение должно генерироваться в областях с повышенными интенсивностью волны накачки и плотностью энергии плазменных волн и, следовательно (вследствие самофокусировки, либо фокусировки на естественных неоднородностях), пониженной электронной концентрацией.

В настоящем докладе представлены результаты одновременных измерений полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы на трассе распространения сигналов GPS и искусственного оптического свечения ионосферы в красной линии атомарного кислорода (λ=630 нм), выполненных при воздействии на ионосферу радиоизлучением стенда «Сура».

Данные для анализа были получены в период с 2010 по 2017 гг. в экспериментах на стенде «СУРА» при использовании различных режимов воздействия на ионосферу мощным радиоизлучением. В силу сложности проведения измерений подобного рода всего за этот период удалось провести 5 синхронных сеансов измерений.

Регистрация сигналов навигационных спутников осуществлялась с помощью специализированного приёмника сигналов от глобальных радионавигационных спутников систем (GPS/ГЛОНАСС) «Prego-T», а оптического свечения – с помощью ПЗС камеры S1C, оснащенной светосильным объективом HC-2 и соответствующим светофильтром. Приборы располагались в непосредственной близости от антенной системы стенда «Сура».

Установлено, что при пересечении траекторией распространения сигнала «навигационный спутник - GPS приёмник» пятна искусственного свечения максимальная яркость последнего на луче зрения оптического прибора (ПЗС-камеры) на навигационный спутник наблюдалась в области минимума ПЭС. Таким образом, получено экспериментальное подтверждение гипотезы о том, что наиболее сильное электрическое поле волны накачки и, соответственно, наиболее сильные плазменные волны, ускоряющие электроны до потенциала возбуждения оптических уровней, сосредоточены в области с пониженной электронной концентрацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (№№ 14-12-00706; 17-72-2018) и РФФИ (№17-302-50013 «мол_нр»).

1. Грач С.М. и др. //Известия вузов. Радиофизика. 2012. Т.55, №1-2. С.36-56.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ

Насыров И.А., Когогин Д.А., Белашов В.Ю., Загретдинов Р.В., Петрова И.Р.

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия, igor.nasyrov@kpfu.ru

Движение солнечного терминатора (СТ) является уникальным явлением, так как это хорошо прогнозируемое, повторяющееся событие, характеристики которого достаточно полно изучены. В монографии [1] при помощи теоретических исследований и численно-модельных расчётов показано, что в утреннем и в вечернем секторах СТ на градиентах основных параметров верхней атмосферы (температура, давление и т.п.) могут генерироваться солитоноподобные «предвестники» фронта с периодами ~40-60 мин, масштабы которых для зимнего и летнего сезонов существенно различны и определяются множеством факторов, таких как высота, геомагнитная широта, величина дисперсии (зависящая от значений ионосферных параметров *F*-слоя), а также особенностей в изменениях ионосферных характеристик конкретного суточного цикла. В области верхней атмосферы, там, где ионизация атмосферного газа достигает значительных величин, волновые движения нейтральных молекул оказывают существенное влияние на заряженную компоненту, это приводит к возникновению перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), которые, в частности, могут быть зарегистрированы при помощи радиопросвечивания возмущенной области сигналами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

В докладе приводятся результаты обработки экспериментальных данных, полученных на Поволжской региональной сети ГНСС станций [2] во время прохождения СТ. Показано, что: во-первых, генерация солитоноподобных волновых возмущений происходит как на переднем, так и на заднем фронте СТ; во-вторых, генерация крупномасштабных ПИВ на границе СТ происходит не ежедневно, и количество таких случаев сильно варьируется в зависимости от сезона года; в третьих, солитоноподобные волновые возмущения в ПЭС, генерируемые прохождением СТ в восходные периоды наблюдаются чаще, чем во время захода Солнца (рис. 1).

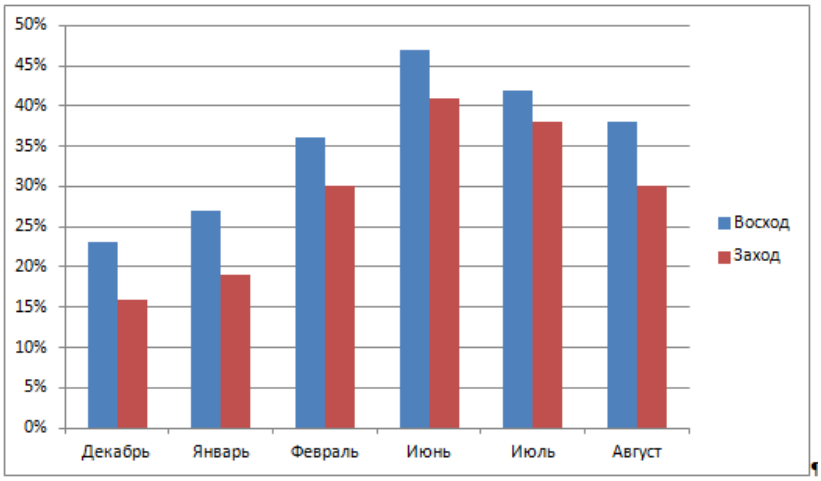


Рис. 1. Количество случаев регистрации крупномасштабных ПИВ при прохождении СТ по данным Поволжской региональной сети ГНСС станций

1. Белашов В.Ю., Белашова Е.С. Солитоны: теория, моделирование, приложения. – Казань: РИЦ «Школа», 2016 – 270 с.
2. Загретдинов Р.В., Бахтиаров В.Ф. //Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем: Программа, тезисы и доклады V международной научно-практической конференции. Казань. - 2016. - С. 132-138.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНОГРАММ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Носиков И.А., Клименко М.В., Бессараб П.Ф., Жбанков Г.А., Иванова В.А., Подлесный А.В., Сомина Е.Р.

БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия, inosikov@stud.kantiana.ru

В работе представлены результаты численных расчетов ионограмм наклонного зондирования с использованием международной справочной модели IRI – 2007 и численной модели расчета радиотрасс. Показаны примеры синтеза ионограмм на средне и высокоширотных радиотрассах и проведено сравнение с результатами экспериментов. Особенностью работы является использование вариационного метода для решения задачи о расчете радиолучей между пунктами передачи и приема сигналов, основанного на принципе Ферма. Продемонстрированы преимущества использования прямого вариационного метода перед традиционными методами для синтеза ионограмм в диапазонах частот вблизи минимально и максимального применимых частот.

Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности «5-100» БФУ им. И. Канта и при финансовой поддержке гранта РНФ №17-77-20009.

ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧИ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ СИГНАЛАМИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ТРАССАХ СПУТНИК-СПУТНИК И СПУТНИК-ЗЕМЛЯ

Павельев А.Г., Матюгов С.С., Павельев А.А., Губенко В.Н., Ануфриев В.А.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, alxndr38@mail.ru

Высокое качество и стабильность излучаемых глобальными космическими навигационными системами (НС) радиополей в сочетании с современными возможностями определения положения и скорости низкоорбитальных и навигационных спутников позволяют создавать и применять новые методы радиоголографии для изучения трехмерной структуры ионосферы. Опорный сигнал создается численно на основе имеющихся данных траекторных измерений излучающего и низкоорбитального спутника, регистрирующего при движении на определенном участке орбиты радиоголограмму - запись амплитуды и фазы прошедшего через околоземную среду сигнала на частотах НС [1,2].

Представлены теоретические и экспериментальные результаты решения прямых и обратных задач, примененных для изучения эффектов распространения радиоволн и дистанционного зондирования околоземного пространства. Обобщены векторные уравнения Стрэттона-Чу, полученные ранее в предположении об однородности среды, для описания связи электромагнитных полей на поверхности и внутри неоднородного пространства. Обоснован теоретически и подтвержден экспериментально эффект закономерной связи между интенсивностью сигнала и вариациями фазового пути, доплеровской частоты и ускорения эйконала. Создан одночастотный метод измерения поглощения радиоволн на трассах связи спутник-спутник.

Решение прямых задач основано на полученных нами аналитических сооношениях для частотной функции передачи неоднородной среды, которые применяются для описания дисперсионных искажений при распространении сквозь ионосферу модулированных сигналов. Проведено сопоставление результатов моделирования искажений сигналов дециметрового диапазона с экспериментальными данными при распространении радиоволн на трассах спутник-спутник и спутник-Земля.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы 7 Президиума РАН.

1. Павельев А.Г., Матюгов С.С., В.М. Смирнов В.М., Яковлев О.И. // Известия ВУЗов. Физика. Т. 59. №12/2. С. 38-44. 2016
2. Матюгов С.С., Яковлев О.И., Павельев А.Г., Павельев А.А., Ануфриев В.А. // Изв. вузов. Радиофизика. 2017. Т. 60. № 5. С.387-395

ULF ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE UPPER IONOSPHERE EXCITED BY LIGHTNING

Mazur N.G., Fedorov E.N., Pilipenko V. A.

Institute of Physics of the Earth, Moscow ngmazur@mail.ru, enfedorov1@yandex.ru
Space Research Institute, Moscow pilipenko_va@mail.ru

We examine a possibility of ULF wave energy leakage from the thunderstorm activity into the upper ionosphere and a role of the ionospheric Alfven resonator (IAR) in this process. We have theoretically calculated with developed numerical model the ULF spectra on the ground and at ionospheric altitudes in the ULF frequency range 0.1-6.0 Hz excited by a lightning stroke in the lower atmosphere. This frequency band comprises typical frequencies of the IAR and the ionospheric wavegude. The spectra of magnetic and electric components are shown to reveal the spectral resonant structure in the upper ionosphere. The feasibility of the detection of ULF response in the upper ionosphere to isolated lightning stroke by low-orbiting satellites with magnetic or electric sensors onboard is discussed.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЭМИССИОННЫХ СЛОЕВ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ С БОРТА МКС

Платов Ю.В., Кучми С., Николайшвили С.Ш., Песке Т.

ИЗМИРАН РАН, г. Москва, Россия, yplatov@mail.ru

Понятие «эмиссионные слои верхней атмосферы» вошло в терминологию, принятую в физике верхней атмосферы в семидесятых годах прошлого века после визуальных наблюдений с пилотируемых космических аппаратов неоднородных светящихся слоев над ночным горизонтом Земли. Первоначально наблюдатели описывали этот эффект как наличие (2-3 слабосветящихся слоев толщиной 1.5 – 2°, расположенных на высотах до 8° над ночным горизонтом. В ряде случаев отмечалось наличие тонкой, цветной вертикальной структуры таких образований. Инструментальная регистрация этих объектов представляла в то время определенные трудности, связанные с малой яркостью эмиссионных слоев и необходимостью гидирования объектов съемки в течение достаточно длинных экспозиций.

Первые высококачественные фотографии этих явлений были получены на станции «Салют 7» в начале 80-х годов прошлого столетия, в частности в1982 г во время советско-французского эксперимента «ПСН» (от французского Photofraphier de ciel nocturnr – фотографирование ночного неба).

Современные средства регистрации – цифровые фотоаппараты и видеокамеры, обладающие высокой чувствительностью на порядки превосходящей чувствительность пленочной аппаратуры, позволяют производить съемку слабосветящихся объектов и короткими экспозициями и с большим динамическим диапазоном, достигающим 5 порядков. Такая аппаратура делает возможным проведение регулярных, высококачественных наблюдений различных атмосферных эмиссий.

Во время работы 51 экспедиции на МКС (20 ноября 2016 г. – 10 апреля 2017 г.) французский космонавт Thomas Pesquet получил ряд замечательных фотографий эмиссионных слоев атмосферы Земли в различных географических регионах. На снимках отлично видны звезды различных созвездий, что позволяет произвести достаточно точные определения геометрических параметров эмиссионных слоев – высота слоев над поверхностью земли, их толщина, видимость слоев в зависимости от условий освещенности.

Снимок нескольких эмиссионных слоев и полярного сияния наблюдавшихся над Канадой 27 марта 2017 г.

ТРИГГЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ИНЖЕКЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ ПО ДАННЫМ ЭСПЕРИМЕНТОВ «FLUXUS» И «NORTH STAR»

Поклад Ю.В., Гаврилов Б.Г, Зецер Ю.И., Ковалев А.Т., Рыбаков В.А.

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, poklad@mail.ru

В 1997 и 1999 годах были проведены два совместных российско-американских активных эксперимента: "Fluxus" [1] и "North Star" [2], в которых в атмосферу на различных высотах инжектировалась высокоскоростная алюминиевая плазменная струя. В обоих экспериментах параметры плазменной струи были достаточно близки: начальная скорость ~40 км/с, а кинетическая энергия составляла ~ 3 МДж ("Fluxus") и ~ 6 МДж ("North Star"). Эксперименты «Fluxus» проводился на полигоне Капустин Яр на высотах около 140 км. Эксперимент «North Star» проводился на полигоне Poker Flat (Аляска) на высотах 280 и 360 км. В данной работе представлен анализ спектрограмм полученных со спутника MSX [3] в УФ и видимом диапазонах с временным разрешением 0.5 с.

В экспериментах «Fluxus» поле зрения спектрометра составляло около 50 км. На рис. 1 показана яркость свечения фона вне зоны инжекции в диапазоне 164-255 нм в эксперименте «Fluxus-2». Видно, что спустя 1 секунду после инжекции яркость свечения фона возрастает примерно в 3 раза и спадает к первоначальным значениям только спустя 10 секунд.

В экспериментах «North Star» аналогичный эффект наблюдался в свечении красной линии кислорода. На рис. 2 показана яркость свечения линии вне зоны инжекции. Видно, что спустя 1 секунду после инжекции яркость свечения линии возрастает примерно в 3-3.5 раза и спадает к первоначальным значениям только спустя ~10 секунд.

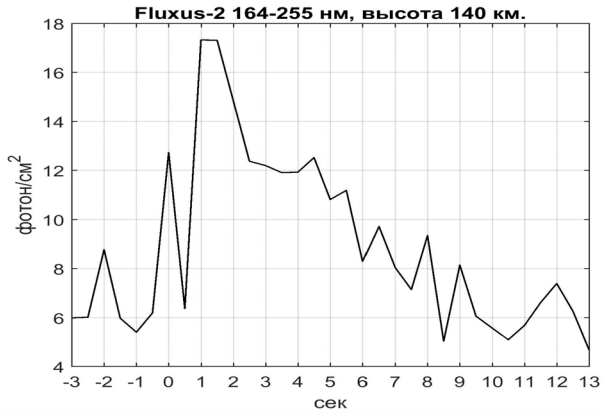


Рис. 1. Яркость свечения фона в УФ диапазоне.

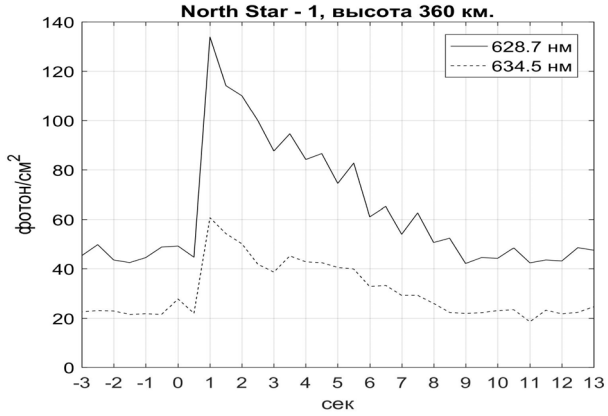


Рис.2. Яркость свечения линии кислорода.

Одной из возможных причин появления возмущенных областей размером десятки километров может быть высыпание высокоэнергетичных частиц из радиационных поясов. В пользу этой гипотезы может говорить синхронное увеличение потока высокоэнергетичных электронов вдоль силовых линий магнитного поля, зарегистрированное в эксперименте «North Star».

Работа выполнена в рамках программы президиума РАН "Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности".

1. В.В. Адушкин и др. // ДАН РФ, 1998, т.361, №6, с. 818-821.

2. R. E. Erlandson et al. // Journal of Spacecraft and Rockets (0022-4650) 2004 vol. 41 no. 4, pages 483-489.

3. Mill, J. D., et al., // Journal of Spacecraft and Rockets, 31(5), pages 900–907, 1994.

Поведение Sq вариаций на среднеширотных обсерваториях Лампедуза, Германус и Цунеб

Бикташ Л.З.

В работе обсуждаются явления, связанные с полугодовыми геомагнитными вариациями, наблюдаемые в равноденствие на среднеширотных обсерваториях Лампедуза, Германус и Цунеб. Полугодовые вариации объясняются и ориентацией дипольной оси Земли, и эффектом Рассела-Мак Феррона, и высокими значениями гелиосферной широты Земли, когда наблюдаются высокоскоростные потоки солнечного ветра. По-видимому, все эти явления имеют место и вносят определенный вклад в ионосферные вариации. Анализируется поведение спокойной ионосферы в зависимости от сезона и уровня солнечной активности.

ЭФФЕКТЫ СТИМУЛИРОВАННЫЕ СТЕНДОМ СУРА ПО ПРОГРАММЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА МКС

Ружин Ю.Я., Кузнецов В.Д., Докукин В.С., Пластинин Ю.А., Фролов В.Л.

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

В серии наземно – космических экспериментов СУРА – МКС, проведенных в сентябре – октябре 2017 года в рамках КЭ «Релаксация», проведены исследования возможностей повышения эффективности и вероятности искусственного воздействия на ионосферу с целью выявления фундаментальных процессов физики плазмы околоземного космического пространства Эксперименты проведены с применением комбинации новых условий нагрева (скважность, период воздействия, двухчастотный и непрерывный нагрев, вариации излучаемой мощности, поляризация и направление КВ излучения) в условиях как слабой (спокойной), так и умеренной магнитной активности в промежутках между рекуррентными магнитными бурями. Уже в первом эксперименте 20.09.2017, при непрерывном с Х – поляризацией двухчастотном нагреве на спокойном геомагнитном фоне, наблюдалась одиночная изолированная суббуря, идентичная триггерированным ранее суббурям в экспериментах 2007 и 2010 года, но полученная в новых условиях. В двух экспериментах во время нагрева начались возмущения, идентифицированные как результат нагрева, которые, развиваясь по окончанию эксперимента, превратились в возмущение суббуревого типа длительностью в несколько часов.

Для выявления корреляции между вариациями геомагнитного поля и циклограммой работы радионагревного стенда проведено детальное сопоставление данных по вариациям геомагнитного поля (обсерваторий ИЗМИРАН и сети Интермагнет) с программой работы стенда в различных режимах и сочетаниях их параметров. В качестве примеров и основы для анализа привлекались данные, полученные ранее по программе геофизических экспериментов СУРА-МКС. Показано наличие пульсаций геомагнитного поля и эффектов суббурь, стимулированных стендом Сура (в соответствии с циклограммой), на фоне спокойных и возмущенных геофизических условий. 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.

Возбуждение искусственной плазменной турбулентности на высотах внешней ионосферы (по данным ИСЗ SWARM)

Рябов А.О., Фролов В.Л., Лукьянова Р.Ю., Добровольский М.Н., Болотин И.А.

НИФРИ ННГУ им. Н. И. Лобачевского, RyabovAlOl@yandex.ru

В данной работе представлены результаты исследований характеристик возбуждаемых во внешней ионосфере искусственных плазменных возмущений, выполненных в 2016 и 2017 гг. с помощью бортовой аппаратуры трех европейских спутников серии SWARM, два из которых летят на высоте около 450 км, а третий на высоте около 500 км. Все ИСЗ SWARM оснащены идентичной аппаратурой, включающей высокочувствительные векторный и скалярный магнетометры для определения величины и направления полного вектора и вариаций магнитного поля, а также два ленгмюровских зонда для измерения электрического потенциала спутника, плотности плазмы и электронной температуры в окружающей его плазме.

Всего выполнено более 60 сеансов нагрева ионосферы по программе СУРА–SWARM при различных условиях их проведения. Полученные результаты позволили сформулировать необходимые условия для возбуждения возмущений плотности и температуры на высотах $h \approx 450 - 500$ км и определить их основные характеристики. Генерация искусственных плазменных возмущений достаточно высокого для их обнаружения уровня наблюдалась только при работе стенда в вечерние часы в условиях, когда частота мощной радиоволны не превышала 6 МГц, была ниже критической частоты f_{0F2} F_2-слоя ионосферы, высота отражения ВН была больше 200 км, а орбита ИСЗ проходила на расстоянии меньше 60 км от центра возмущённой магнитной силовой трубки [1]. В большинстве случаев генерация искусственных плазменных возмущений наблюдалась, когда эффективная мощность излучения ВН была не меньше 40 МВт.

Важным результатом выполненных измерений явилось отсутствие на высотах 450 – 500 км дактов с увеличенной плотностью плазмы, ранее обнаруженных на высотах ~ 660 км в экспериментах с ИСЗ DEMETER [2]. В то же время на высотах 450 – 500 км хорошо детектируются увеличение температуры электронов до 10% и неоднородности плотности плазмы с $\delta N \approx 5\%$ с $l \approx 10 - 15$ км в ортогональном к геомагнитному полю направлении, которые также обнаруживаются и внутри дактов, где они, согласно [2], имеют размеры $l \approx 15 – 25$ км с δN до 10%.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00475. Работа Рябова А.О. выполнялась при поддержке государственного задания Минобрнауки России (проект № 3.1844.2017/ПЧ).

[1] И.А. Болотин, А.О. Рябов, В.Л. Фролов, Р.Ю. Лукьянова, М.Н. Добровольский. Характеристики Искусственных Плазменных Возмущений на Высотах ~500 км. // Доклады на международной конференции ИРЭМВ-2017. ЮФУ, п. Дивноморское, 26-30 июня, 2017 г.

[2] Фролов В.Л., Рапопорт В.О., Шорохова Е.А. и др. Характеристики электромагнитных и плазменных возмущений, индуцируемых на высотах внешней ионосферы Земли при модификации F_2-области мощным КВ радиоизлучением стенда СУРА. // Изв. вузов. Радиофизика, 2016. Т. 59, № 3. С. 198-222.

Высыпание энергичных электронов из радиационных поясов Земли, стимулированное работой стенда СУРА (по данным ИСЗ DEMETER)

Рябов А.О., Фролов В.Л

НИФРИ ННГУ им. Н. И. Лобачевского, RyabovAlOl@yandex.ru

В данной работе проанализированы результаты исследований свойств возбуждаемых во внешней ионосфере искусственных плазменных возмущений, выполненных в 2005–2010 годах (в периоды с апреля по октябрь) с помощью бортовой аппаратуры французского микроспутника DEMETER, высота орбиты которого была равна 660 км. Над стендом СУРА спутник пролетал в 18:00÷18:30 UT в условиях ночной ионосферы. Детальное описание бортовой аппаратуры спутника приведено в журнале [1]. Отметим, что практически все измерения были выполнены в годы затянувшегося минимума солнечной активности в спокойных или очень спокойных геомагнитных условиях.

В настоящем исследовании анализировались концентрация плазмы, температура электронов, электронный потенциал спутника, но наибольшее внимание уделялось изучению характеристик высыпания высокоэнергичных электронов (с энергией $E \geq 70$ кэВ) из радиационных поясов Земли, наблюдавшееся ранее в [2].

Полученные данные по концентрации электронов согласуются с ранними результатами [3]. Температура электронов в тех сеансах, где наблюдались значимые (более 15 %) вариации концентрации, чаще всего тоже содержала вариации, но несколько меньших (до 10%) значений. Значения потенциала спутника имели обратную корреляцию со значениями температуры электронов.

В сеансах, где имела место генерация интенсивной ионосферной турбулентности вблизи высоты отражения мощной радиоволны в F_2-слое ионосферы, было обнаружено высыпание энергичных электронов на расстоянии до 400 км вдоль орбиты ИСЗ (приблизительно в северо-южном направлении). Относительно нагревного стенда эта область располагалась симметрично. Потоки электронов не превышала значений 300 кэВ. Таким образом, можно считать установленным, что модификация ночной F_2-области ионосферы мощными КВ радиоволнами может стимулировать высыпание энергичных электронов из радиационных поясов Земли.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00475. Работа Рябова А.О. выполнялась при поддержке государственного задания Минобрнауки России (проект № 3.1844.2017/ПЧ).

[1] Planetary and Space Science. 2006. V. 54, № 5.

[2] Марков Г.А., Белов А.С., Фролов В.Л. и др. Возбуждение магнитосферного мазера воздействием на ионосферу Земли мощным КВ-радиоизлучением наземного передатчика. // ЖЭТФ, 2010. Т. 138, вып. 6(12). С. 1037-1042.

[3] Фролов В.Л., Рапопорт В.О., Шорохова Е.А. и др. Характеристики электромагнитных и плазменных возмущений, индуцируемых на высотах внешней ионосферы Земли при модификации F_2-области мощным КВ радиоизлучением стенда СУРА. // Изв. вузов. Радиофизика, 2016. Т. 59, № 3. С. 198-222.

ДИАГНОСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ РЕЖИМАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИОНОСФЕРУ НА СТЕНДЕ HAARP

Сергеев Е.Н., Грач С.М., Шиндин А.В.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, esergeev@nirfi.unn.ru

Исследования по использованию диагностического ИРИ (ДИРИ) для зондирования различных высот области ионосферы, возмущенной мощным КВ-радиоизлучением, впервые были выполнены на нагревном стенде СУРА. Суть метода заключается в использовании коротких импульсов воздействия на частоте $f_Д$, отличной от нагревной f_0, для генерации вторичной плазменной турбулентности и ДИРИ на искусственных неоднородностях плотности плазмы, сильно вытянутых вдоль геомагнитного поля [1,2].

В марте 2011 г. на стенде HAARP (Аляска) были проведены одновременные измерения характеристик ДИРИ и пробных волн в широкой полосе расстроек диагностической волны (ДВ) от частоты волны накачки (ВН) $\delta f = f_Д - f_0$ до ±1 МГц с шагом ±200 кГц. Разница высот отражения ВН и ДВ (~205 км и ~180 км) для их максимальных расстроек составляла ±25 км. Для нагрева плазмы использовался режим квазинепрерывного излучения импульсов $\tau_Н$ = 160 мс с периодом $T_Н$ = 200 мс в течение одной минуты на частотах $f_{0,Д}$ = 5450-4450 кГц. Для диагностики с помощью ДИРИ использовались импульсы с $\tau_Д$ = 20 мс, $T_Д$ = 1 сек. до и после нагрева, сетка пробных волн (ПВ) формировалась с помощью импульсов с $\tau_{ПВ}$ = 100 мкс, $T_{ПВ}$ = 200 мс. Длительность зондирования составляла 30 сек. до нагрева и 3.5 мин. после нагрева. Общая пауза составляла 1 мин. В первом цикле первый передатчик стенда работал в таком режиме на частоте f_0 = 5450 кГц, второй передатчик на частоте $f_Д$ = 5250 кГц излучал чисто диагностические и зондирующие импульсы. Во втором цикле временные схемы излучения передатчиков менялись местами. Далее частота второго передатчика уменьшалась на 200 кГц, и два временных цикла излучения повторялись. Эффективная мощность передатчиков для О-моды излучения в зенит с учетом поглощения в D-, E-слоях составляла $P \sim 100$ МВт.

При анализе данных измерений получены следующие результаты:

1. Для диагностических режимов излучения до нагрева спектры ДИРИ определяются его «ленгмюровской» узкополосной компонентой NCp [3], слабо зависят от f_0, $f_Д$, декременты затухания близки к столкновительным для ленгмюровских волн и составляют 200-400 $с^{-1}$.
2. При нагреве на частоте волны накачки в центре возмущенной области (ВО) формируются спектры ИРИ с «верхнегибридными» компонентами излучения [3]: DM, UM, BC и BUS, положение которых в спектре и интенсивность определяются значением f_0 в диапазоне между 3-й и 4-й гармониками гирочастоты электронов. Декременты затухания имеют здесь максимальные значения 1000-2200 $с^{-1}$, увеличиваясь с уменьшением частоты ВН.
3. Во время нагрева при диагностике ИРИ на смещенных частотах наблюдается конкуренция в генерации «верхнегибридных» и «ленгмюровской» компонент ИРИ, приводящая к уменьшению и пропаданию влияния верхнегибридной турбулентности с ростом расстроек δf до ±1 МГц. Декременты затухания ИРИ уменьшаются до столкновительных при удалении области генерации излучения от центра к периферии ВО.
4. Выполнено сопоставление характеристик overshoot-эффекта в динамике ДИРИ с величиной аномального ослабления пробных волн, проведены численные расчеты эволюции для широкополосной компоненты излучения (ВС) для различных высот зондирования ВО.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 14-12-00706п, при частичной поддержке РФФИ, проекты № 16-02-00798 и 18-02-00622.

1. Сергеев Е.Н., Грач С.М. // Изв. ВУЗов. Радиофизика 2014. Т. **57**. С. 89.
2. Сергеев Е.Н., Грач С.М. // Изв. ВУЗов. Радиофизика 2017. Т. **60**. С. 97.
3. Leyser T.B. // Space Sci. Rev. 2001. V. **98**. P. 223

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВБЛИЗИ $2^{Й}$-$7^{Й}$ ГАРМОНИК ЭЛЕКТРОННОЙ ГИРОЧАСТОТЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СТЕНДАХ СУРА И HAARP

Сергеев Е.Н., Грач С.М., Шиндин А.В.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, esergeev@nirfi.unn.ru

Исследования свойств искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в широком диапазоне частот излучения нагревных стендов выявили наличие зависимостей структуры спектров излучения от частоты волны накачки (ВН) f_0 [1-3]. Локальные области электронных гирогармоник характеризуются резким изменением свойств искусственной ионосферной турбулентности и стали предметом изучения с помощью измерений ИРИ уже в первых экспериментах по быстрому свипированию частоты ВН f_0 около частот 4-й и 5-й гармоник электронной гирочастоты f_c, выполненных на стенде СУРА [4-6]. Эти исследования стимулировали проведение одновременных измерений характеристик ИРИ и искусственной плазменной линии в области $4f_c$, $5f_c$ и $6f_c$ на стенде EISCAT (Тромсе, Норвегия) [7-8].

На стенде HAARP эксперименты по быстрому свипированию частоты ВН были проведены в ходе кампаний с участием российских исследователей в марте 2011 г. и июне 2014 г. в диапазоне частот до ±100 кГц около $2f_c \sim 2850$ кГц, $3f_c \sim 4250$ кГц и $4f_c \sim 5750$ кГц. Скорость свипирования составляла ~5 кГц/сек. Эффективная мощность излучения составляла P = 400-1700 МВт. Использовались как вертикальный нагрев, так и нагрев плазмы в направлении «магнитного зенита». На стенде СУРА аналогичные измерения были проведены в ноябре 2013 г. в диапазоне частот до ±200 кГц около $5f_c \sim 6840$ кГц, $6f_c \sim 8160$ кГц и $7f_c \sim 9480$ кГц. Скорость свипирования частоты ВН составляла 1 кГц/сек. Вертикальная эффективная мощность излучения составляла P = 100-120 МВт.

Подтверждено подобие свойств спектров ИРИ при быстром свипировании спектрам ИРИ около (3-7)f_c при медленном пошаговом изменении f_0 на стендах СУРА и EISCAT. В ходе наблюдений на стенде HAARP обнаружены новые спектральные компоненты ИРИ:

1. Обнаружено появление интенсивной широкополосной компоненты излучения (ВС) на отстройках Δf = –(7.5-80) кГц при вертикальном нагреве плазмы для $f_0 < 2f_c$.
2. Обнаружена генерация спектрального максимума ИРИ (IDM) на отстройках Δf = –(5-6) кГц с частотами, на 2-3 кГц выше главного спектрального максимума излучения (DM) в частотных диапазонах $f_0 > 2f_c$ и $f_0 > 3f_c$.
3. Обнаружена генерация широкополосного излучения в области больших отрицательных отстроек Δf = – (50-180) кГц (Broad Downshifted Emission, BDE) при $f_0 \approx 3f_c$ и $f_0 \leq 4f_c$.
4. При свипировании частоты волны накачки снизу вверх через $3f_c$ и $4f_c$ в направлении «магнитного зенита» наблюдалось появление дополнительного широкого положительного максимума (BUM_D) на отстройках Δf = 15-30 кГц, ближе основного BUM к частоте ВН и связываемого с появлением слоя искусственной ионизации.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 14-12-00706п, при частичной поддержке РФФИ, проект № 16-02-00798.

1. Stubbe P. et al. // J. Geophys. Res. Space Physics 1984. V. **89**. P. 7523.
2. Leyser T.B. et al. // J. Geophys. Res. Space Physics 1993. V. **98**. P. 17597.
3. Frolov V.L. et al. // Geophys. Res. Lett. 2001. V. **28**. P. 3101.
4. Carozzi T.D. et al. // J. Geophys. Res. Space Physics 2002. V. **107**. P. 1253.
5. Sergeev E.N. et al. // Adv. Space Res. 2006. V. **38**. P. 2518.
6. Котов П.В. и др. // Изв. ВУЗов. Радиофизика 2008. Т. **51**. С. 461.
7. Borisova T.D. et al. // Radiophys Quantum Elec. 2014. V. **57**. P. 1.
8. Borisova T.D. et al. // Radiophys Quantum Elec. 2016. V. **58**. P. 561.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА СТЕНДЕ HAARP С ПОМОЩЬЮ МНОГОЧАСТОТНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Шиндин А.В., **Сергеев Е.Н.**, **Грач С.М.**

ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия, shindin@rf.unn.ru

Представлены предварительные результаты анализа зависимости модификации профиля электронной концентрации в ионосфере при различных частотах волны накачки ниже 4-й гармоники электронной циклотронной частоты (f_c) и вблизи нее – по данным экспериментов 2014 г. по фазовому зондированию возмущенной области ионосферы на стенде HAARP (шт. Аляска, США). Положение частоты волны накачки относительно $4f_c$ определялось по спектрограммам искусственного радиоизлучения ионосферы. Для шести частот воздействия 5540, 5570, 5600, 5630, 5660 и 5730 кГц ($4f_c$ ~ 5690-5700 кГц) решена обратная задача по восстановлению профиля электронной концентрации по вариациям фазы широкополосных пробных радиосигналов в полосе ~ 450 кГц, включающей плазменные резонансы волны накачки, построены карты вариаций доплеровской частоты радиосигналов, вариаций высот их отражения и виртуальных вертикальных скоростей перемещения линий равной концентрации плазмы. В [1] детально проанализированы данные, полученные при воздействии на частоте 5500 кГц. В результате выявлено следующее:

1. Все искусственные возмущения данных величин наблюдались на фоне естественных изменений электронной плотности плазмы.
2. Для всех случаев нагрева плазмы наблюдались эффекты вытеснения плазмы из области плазменного резонанса вблизи уровня отражения волны накачки уже на 1-й секунде воздействия и, напротив, увеличения ее концентрации (опускание плазменного слоя) ниже уровня верхнегибридного резонанса волны накачки.
3. Эффект вытеснения плазмы характеризовался увеличением высоты отражения диагностического импульса на величину ~ 250 м со скоростью ~ 75 м/с.
4. Для уровня верхнегибридного резонанса при воздействии на плазму на частотах ниже 4-й гирогармоники наблюдается еще более существенное, чем в плазменном резонансе вытеснение плазмы на 2-3 секунде нагрева и восстановление профиля после выключения нагрева.
5. При воздействии на частоте 5730 кГц выше 4-й гирогармоники эффекты вытеснения плазмы на уровне верхнегибридного резонанса не наблюдались и в основном отмечался эффект увеличения электронной концентрации на всей сетке пробных волн, наиболее существенный для меньших значений частот.

Результаты 1-3 соответствуют результатам, полученным на стенде "Сура" (Нижегородская обл., Россия) [2], хотя эффективная излучаемая мощность стенда HAARP (400 МВт) почти на порядок превышает таковую у нагревного стенда "Сура". Для того, чтобы сделать определенные выводы о влиянии величины отстройки частоты волны накачки относительно $4f_c$ на эффекты вытеснения и сгонки ионосферной плазмы, требуется проведение дополнительных экспериментов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 16-02-00798 и № 18-02-00622).

1. Sergeev E.N., Shindin A.V., Grach S.M. et al. // Radio Science 2016. V. **51**, № 7. P. 1118.
2. Shindin A.V., Sergeev E.N., Grach S.M. et al. // Radio Science 2012. V. **47**, № 4. P. RS0N04.

МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ГАШЕНИЯ СОСТОЯНИЙ ГЕРЦБЕРГА МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА НА ВЫСОТАХ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА В ВЕРХНИХ АТМОСФЕРАХ ВЕНЕРЫ, МАРСА, ЗЕМЛИ.

Антоненко О.В., Кириллов А.С., Куликов Ю.Н.
Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Апатиты, Россия,

Аннотация
Обсуждаются процессы образования и гашения электронно-возбужденных состояний Герцберга молекулярного кислорода в атмосферах Венеры, Марса, Земли на высотах свечения ночного неба, где из-за диссоциации O_2 солнечным УФ-излучением наблюдаются относительно высокие концентрации атомарного кислорода. Обсуждаются принципиальные различия кинетики возбуждения электронных уровней энергии кислородных составляющих в атмосфере Земли и атмосферах Венеры и Марса. Рассчитанные константы гашения колебательных уровней электронно-возбужденных состояний молекулярного кислорода сравниваются с экспериментальными данными для условий ночного свечения этих атмосфер. Проведены расчеты профилей концентраций электронно-возбужденных состояний Герцберга молекулярного кислорода в атмосферах Венеры, Марса, Земли для различных колебательных уровней.

ДИАГНОСТИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСИ АЗОТА В ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЯХ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е.

ФГБНУ Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, zhanna@pgia.ru

Исследовано влияние окиси азота на интенсивность свечения эмиссии 557.7 нм в электронных полярных сияниях. Показано, что основным каналом подавления интенсивности эмиссии 557.7 нм является реакция $O_2^+ + NO$, которая уменьшает вклад диссоциативной рекомбинации иона O_2^+ в формирование ^1S состояния атомарного кислорода. На основе проведенного исследования предложен метод оценки концентрации NO в полярных сияниях по данным фотометрических измерений эмиссий 391.4 нм, 557.7 нм и 630.0 нм.

Получены оценки содержания окиси азота NO в полярных сияний, сделанные на основе анализа результатов наземных фотометрических измерений интенсивностей эмиссий 427.8, 557.7 и 630.0 нм. Показано, что концентрация окиси азота в максимуме ее высотного профиля лежит в интервале от $1 \cdot 10^8$ до $3.3 \cdot 10^8$ $см^{-3}$. Замечено, что полученные оценки свидетельствуют об отсутствии прямой корреляции между интенсивностью свечения эмиссии 427.8 нм и величиной концентрации окиси азота. Причину отсутствия корреляции можно объяснить большим временим жизни окиси азота, которая может накапливаться в ионосфере, и поэтому величина концентрации NO в полярных сияниях в каждом конкретном случае может определяться не только интенсивностью потока высыпающихся электронов, но и продолжительностью и интенсивностью авроральной активности, предшествующей исследуемому событию.

ВЫСВЕТ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ НА РАЗНЫХ ВЫСОТАХ ИОНОСФЕРЫ (ПО МАТЕРИАЛАМ АКТИВНЫХ РАКЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ)

Зецер Ю.И., Гаврилов Б.Г., Ковалев А,Т., Лосева Т.В., Ляхов А.Н., Поклад Ю.В.

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, zetzerj@hotmail.com

Активные геофизические ракетные эксперименты являются достаточно эффективным методом исследования, как с точки зрения изучения свойств ионосферы *in-situ*, так и с точки зрения моделирования цепочки "воздействие-окружающая среда", заменяя природные и техногенные высокоэнергетические источники воздействия относительно компактными устройствами.

Одним из известных устройств моделирования является взрывной генератор высокоскоростных плазменных струй, который выбрасывает на заданной высоте ионосферы, практически, полностью ионизованную плазменную струю определенного вещества, взаимодействующего с окружающей ионосферой и геомагнитным полем.

Большое количество газодинамических, электро- и магнитогидродинамических процессов сопровождают взаимодействие струи с ионосферой, при этом модифицируются, как собственно плазменная струя, так и окружающая ионосфера. В данном сообщении, на базе реанализа проведенных ранее экспериментов детально анализируются оптические эффекты процесса взаимодействия плазменной (Al) струи генератора с окружающей ионосферой. Рассматривается временной интервал, начиная с 0.1 мсек до ~ 100 сек и спектральный диапазон от 120 нм до 26 микрон.

С использованием наземной, бортовой и спутниковой аппаратуры показано, что в указанных условиях существует 3 временных стадии развития процесса взаимодействия: 1) начальная: развитие и угасание струи генератора (t~10 мсек), 2) индуцированная: свечение линий ионосферы, возбужденной струей генератора (t~0.5 сек) и 3) остаточная: свечение "теплого" облака продуктов взрывчатого вещества (t ~100 сек).

ОСОБЕННОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АНОМАЛИИ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ ВБЛИЗИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ДИНАМО СЛОЯ

Е.Е. Тимофеев[1], С.Л. Шалимов[2,5] ,М.К. Валлинкоски[4], Й. Кангас[4]

[1.] *Государственный Университет Морского и Речного Флота им. адмирала. С.О. Макарова, СПб*

[2.] *Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта, РАН, Москва*

[4.] *Отдел космофизики университета г. Оулу, Финляндия*

[5] *Институт космических исследований, РАН, Москва*

Ранее было показано (см. например: Тимофеев и др., 2016), что в ламинарных участках ночных авроральных электроструй устойчиво наблюдается температурная аномалия (эффект аномального охлаждения электронов). При этом пороговая величина ионосферного электрического поля (Е-поля), обеспечивающая переход от ламинарной токовой струи к возникновению ФБ—турбулентности, монотонно уменьшается примерно от (15-20) до (5-10) мв/м с ростом высоты от 106 до 115 км, что вполне объяснимо уменьшением частот столкновений компонент ионосферной плазмы с ростом высоты. Однако каково поведение аномалии вблизи нижнего края электроджета (от 106 до 100 км) оставалось неясным. Попытка количественной оценки порога поля для аномалии на нижнем краю электроджета составляет предмет настоящей работы. Используется банк данных параметров ионосферы в зените авроральной обсерватории Тромсё, накопленный в рамках международного эксперимента ERRRIS,включающий измерения температур ионов (Ти) и электронов (Тэ), плотности электронов (Ne), модуля и азимута вектора ионосферного электрического поля (Е-поля). Интервал высот радарных измерений в соответствии с задачей настоящей работы включает высоты: 101,6; 102; 104,2; 104,6, 105,2 км. Показано, что: 1) Аномальный эффект охлаждения электронов при одновременном нагреве ионов наблюдается на высотах ниже 106 км, вплоть до высоты 102 км; 2) Обычная для высот 106 км симметричная картина термо-аномалии (с примерно равными вариациями δТи и δТэ) и (Ти – Тэ) вплоть до~120 К регистрировалась до высоты 102 км. При этом уровень напряжённости ионосферного электрического поля (Е-поля) был от 25 до 35 мВ/м; 3) В области малых полей (~< 10мВ/м) симметрия картины термо-аномалии резко нарушалась: величина нагрева ионов (δТи=~600 К) резко вырастала так, что в максимуме превышала величину вариации электронов (δТэ=~100К) в 6 раз; 4) Высота 101,6 км является границей, на которой термо аномалия уже не существует: равенство температур ионов и электронов (Ти=Тэ) не нарушалось на этой высоте ни в одной из 20-ти авроральных суббурь; 5) Толщина пограничного слоя термо-аномалии вблизи нижнего края высот электроджета составляет всего 400 метров: (102-101,6) км, т.е. градиент вариаций температур на этой границе достигает величин от 0,25 до 1,5 К на метр.

Термо-аномалия интерпретируется в рамках модели трёхкомпонентной плазмы ионосферы: (частицы металлической пыли, ионы и электроны) на основе известного из теории (Fortov et al., 2010), а также из экспериментов в неидеальной лабораторной плазме (Olevanov et al., 2004) эффекта охлаждения электронов за счёт осаждения «горячего хвоста функции распределения» на частицах металлической пыли. Обнаруженный резкий нагрев ионов в области нижнего края высот аврорального электроджета черпает энергию от пылевых частиц, т.к. основная энергия запылённой плазмы концентрируется именно в энергии макро-частиц пыли (Nefyodov, et al., 1997). Возможно, что природа чрезвычайно резкой границы вариаций температур связана с границей, на которой турбулентная вязкость атмосферы сменяется молекулярной. По данным спутниковых измерений в рамках проекта BUGATTI такая граница наблюдается в диапазоне высот от 100 до 110 км (von Zahn et al., 1990).

ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ ПО ДАННЫМ О ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ.

Захаров В.И.[1,2] **, Илюшин Я.А.**[1,3]

[1]*МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия 119992, г. Москва*, *Россия* zvi_555@list.ru
[2]*ИФА РАН, г. Москва, Россия*
[3]*ИРЭ В.А. Котельникова РАН, г. Москва, Россия*

Центральный промышленный район России характеризуется сложной экологической обстановкой. Московская агломерация представляет совокупность собственно мегаполиса, включая территории-спутники (например, города Долгопрудный, Троицк) и различные крупные промышленные зоны, например, г.Тула. Города выбрасывает в атмосферу значительные количества водяного пара, углекислого газа, различную «химию» (топлива, масла, бытовая химия), сажи, пыли, аэрозолей и др., влияющие на радиационный баланс города. Высокое потребление энергии, антропогенные выбросы и рост поглощающей способности городских территорий приводят к тому, что сам город есть мощное тепловое возмущение. Это приводит к генерации волновых возмущений в атмосфере, достигающих ионосферных высот, и влияет на региональную динамику атмосферы и местный климат, поскольку связано с перемещением воздушных масс на прилежащих территориях. В этой связи важными являются разработки методов регионального мониторинга состояния атмосферы для изучения неких усредненных явлений на масштабах, сравнимых с размерами агломерации в областях, не охваченных контактными измерениями.

На основе оригинальной обработки наземных наблюдений сигналов GPS нами проведен радиоинтерферометрический региональный мониторинг в течение лета 2010 г (97 дней). Мы использовали данные станций Московского региона (сеть СНГО) и сети IGS. В ионосфере выделены перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), которые группируются вокруг Московского мегаполиса в виде кольца. Рассмотрены эмпирические функции скоростей движения и наблюдаемых периодов ПИВ. Показано, что наблюдаемые явления представляют собой проявления акусто-гравитационных волн и могут быть связаны с особым тепловым режимом, в том числе и городским островом тепла, установившемся в Москве летом 2010г.

В результате дополнительной обработки изучена сложная структура кольцевой группировки ПИВ. Проведенный анализ учитывает гео- и гелио-физические условия, что позволяет повысить качество интерпретации.

На фоне мегаполиса, оказывающего основное влияние на формирование указанной кольцевой структуры ПИВ, нами выделен вклад окружающих г. Москву промышленных зон с высокой концентрацией производственных мощностей. Так, для г. Тулы с прилегающими окрестностями получена количественная оценка вклада в общий фон ионосферных возмущений на уровне 5-6 %. Отметим, что полученная нами оценка ниже теоретически предполагаемой, которая для г. Тулы прогнозирует величину 10 %.

Наши исследования указывают на взаимосвязь атмосферных и ионосферных возмущений от мегаполиса и сопредельных регионов, что объясняется мезомасштабными процессами переноса в атмосфере, как отмечено в [1-2].

1. Zakharov V.I., Gorchakov G.I., GPS observation of traveling ionospheric disturbances related to Moscow megacity // Advances in Space Research. 2017. v.59, N 2, p.614-618.
2. Zakharov V.I., Kunitsyn V.E., Gorchakov G.I. A Ring of the traveling ionospheric disturbances around Moscow megapolis // Doklady Earth sci. 2017. v. 472, N 2, p. 241-243.

Магнитосфера

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВЫСЫПАНИЙ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В СТРАТОСФЕРЕ

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

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

Измерения высыпаний субрелятивистских и релятивистских магнитосферных электронов проводятся в ФИАН в рамках эксперимента по изучению космических лучей в атмосфере Земли в течение более 60 лет. Высыпания высокоэнергичных электронов наблюдаются в Мурманской области (параметр МакИлвайна L=5.5) и регистрируются в стратосфере благодаря генерируемому электронами рентгеновскому тормозному излучению, проникающему на высоты ~20 км и ниже. Установлена высокая корреляция частоты высыпаний со скоростью солнечного ветра и наполненностью релятивистскими электронами внешнего радиационного пояса Земли. Основная часть регистрируемых высыпаний происходит во время прихода на Землю высокоскоростных потоков солнечного ветра на фоне отрицательного значения *Bz* составляющей межпланетного магнитного поля. В эти периоды в магнитосфере наблюдается усиление электромагнитной волновой активности, которая, с одной стороны, способствует ускорению электронов, а с другой стороны приводит к нарушению адиабатического движения электронов и их высыпанию в атмосферу Земли. Связь частоты высыпаний электронов с параметрами солнечной активности и потоками электронов в радиационном поясе неоднозначна из-за сложности процессов в магнитосфере, которые изучены недостаточно. В частности, максимумы частоты высыпаний электронов наблюдались в 1968, 1974, 1984, 1994 и 2003 гг. одновременно с максимумами среднегодовых значений скорости солнечного ветра. Наблюдается отчетливая тенденция роста пиковых значений частоты высыпаний электронов, которые с1968 г. по 2003 г. увеличились в несколько раз. В то же время пиковые значения скорости солнечного ветра менялись не более, чем на 12%, причем не регулярно. Текущий, 24-й солнечный цикл демонстрирует ослабление активности во всех параметрах, включая индексы геомагнитной возмущенности. Однако потоки релятивистских электронов во внешнем поясе достигли в 2017 г. значений, сравнимых с циклом 23. Частота высыпаний высокоэнергичных электронов ведет себя аналогично. В работе анализируются возможные причины долговременных изменений частоты случаев высыпаний электронов, наблюдаемых в атмосфере Земли.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проекты 16-02-00100, 17-02-00584, 18-02-00582.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Кочетов И. А.

Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия, kochetov.iljja@physics.msu.ru

Данная работа посвящена моделированию токового слоя в магнитосферном хвосте Земли. Из-за того, что солнечный ветер обтекает собственное магнитное поле Земли, на ночной стороне (в направлении от Земли) образуется вытянутый хвост магнитосферы. Следы этой структуры с токовым слоем и противоположно направленными магнитными полями обнаруживаются на расстояниях порядка шестидесяти земных радиусов. В поперечном сечении плазменный слой имеет в центре меньшую толщину, чем по краям. Интерес представляют области, расположенные в областях с уширением, граничащих с магнитопаузой.

Непосредственной целью данной работы является моделирование плазмоида, который образуется в начале магнитосферного хвоста (на расстояниях от 5 до 10 земных радиусов). Моделирование траекторий частиц показывает, что они скапливаются в данной области и образуют плазмоид. В перспективе планируется визуализировать следующие явления: во время магнитных бур и суббурь магнитосферный хвост утончается, а плазмоид может оторваться и начать дрейфовать в направлении от Земли.

УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ МАГНИТНУЮ ДИПОЛЯРИЗАЦИЮ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Жукова Е.И Х. В. Малова, Е. Е. Григоренко, В.Ю. Попов, А. А. Петрукович, Д. Делькур, Е. А. Кронберг, П. Дали, Л. М. Зеленый

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

Работа посвящена исследованию процессов ускорения частиц плазмы в тонких токовых слоях, которые образуются во время магнитосферных суббурь в хвосте магнитосферы Земли. Построена и исследована численная модель магнитной диполизации, которая включает три временных шкалы: (1) фактическую диполяризацию, когда нормальное магнитное поле изменяется в течение нескольких минут от минимального до максимального уровня; (2) резкие всплески (импульсы), интерпретируемые как прохождение нескольких фронтов диполяризации с характерными временными масштабами <1 мин и (3) всплески электрических и магнитных флуктуаций с частотами вплоть до электронной гирочастоты, возникающие на временных масштабах (≤ 1 с).Модель позволяет изучать вклады в ускорение частиц в результате действия указанных выше процессов (1) - (3). Показано, что данные процессы носят резонансный характер на разных временных масштабах. Для заданных начальных каппа-распределений по скоростям получены энергетические спектры ускорен ных частиц трех сортов: протонов p +, ионов кислорода O+ и электронов e –. Показано, что ионы O + наиболее эффективно ускоряются в результате действия механизма (1), ионы H + (и в некоторой степени электроны) эффективно ускоряются в результате второго механизма. Также обнаружено, что высокочастотные электрические и магнитные флуктуации, сопровождающие магнитную диполяризацию, как и в (3), эффективно ускоряют электроны.

Влияние скорости и плотности рекуррентных потоков солнечного ветра и индексов геомагнитной активности (Kp и Dst индексов) на формирование структуры потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли на геостационарной орбите.

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

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

Структура потоков электронов ВРПЗ формируется под влиянием целого ряда конкурирующих процессов ускорения и потерь частиц, которые возникают внутри магнитосферы и на ее границах при воздействии солнечного ветра (СВ). Целью нашей работы является анализ и получение количественных оценок влияния скорости и плотности солнечного ветра (СВ) и индексов геомагнитной активности (Kp и Dst индексов) на формирование основных составляющих структуры энергетических спектров потоков электронов ВРПЗ: электронов источника (энергия < 50 кэВ), зародышевых электронов (энергия 150-500 кэВ) и релятивистских электронов. Такое деление достаточно условно и определяется типами основных физических механизмов, ответственных за формирование данной группы частиц. В работе рассматриваются 29 возрастаний потоков электронов ВРПЗ, сформированных в 2007 г. при воздействии отдельных высокоскоростных рекуррентных потоков СВ, использованы данные спутника LANL-GEO, база данных OMNI для параметров солнечного ветра и база данных данные по геомагнитной активности (Kp и Dst индексы) с сайта [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html]. Для энергий электронов 31.7 кэВ , 270 кэВ и 925 кэВ исследуется зависимость потоков электронов раздельно от скорости, плотности СВ, от величин Kp и Dst индексов и от комбинации этих параметров. Экспериментальные данные были распределены по 12 выделенным группам : 3 группы для величин плотности СВ 4-6 $см^{-3}$, 6-12 $см^{-3}$ и 13-21 $см^{-3}$; 3 группы для величин скорости СВ 400-535 км/с, 535-602 км/с и 602-668 км/с; 3 группы для значений Kp-индекса; 3 группы для величин Kp индекса, Kp=15-20, Kp=21-25 и Kp=26-30; 3 группы для значений Dst индекса, Dst=|3-12|, Dst= |14-20| и Dst=|24-32|. Для каждой выделенной для данного параметра группы были построены графики вариаций потоков электронов от других параметров и для каждой пары параметров проводились сравнения динамики потоков электронов от одного из параметров при постоянной величине другого. Например, для выделения влияния скорости и Kp индекса на формирование потоков электронов (энергии 31.7, 270 кэВ и 925 кэВ) были построены шесть графиков и проведено сравнение вариаций потоков электронов при изменении величины Kp индекса (диапазон 15-30 единиц) для трех групп скорости СВ (400-535 км/с, 535-602 км/с и 602-668 км/с) и вариаций потоков электронов при изменении скорости СВ (диапазон 400-700 км/с) для трех групп величины Kp индекса (Kp=15-20, Kp=21-25 и Kp=26-30). При использовании этого метода анализа данных были получены количественные оценки влияние отдельных параметров на формирование структуры потоков электронов ВРПЗ: скорости и плотности СВ, Kp и Dst индексов.

Отметим некоторые новые результаты. 1. Для релятивистских электронов увеличение Kp индекса от 15 до 28 единиц для постоянной скорости СВ ~ 550 км/с приводит к увеличению ~ на 50% потока частиц, но при увеличение скорости СВ до ~660 км/с эффект снижается в два раза ~до 25%. Увеличение Kp индекса от 15 до 28 единиц при постоянной плотности СВ ~ 7 $см^{-3}$ приводит к увеличению ~ на 60% потока релятивистских электронов, увеличение плотности в два раза ~ до 14 $см^{-3}$ в два раза увеличивает эффект. Увеличение плотности СВ от 6 до 20 $см^{-3}$ при постоянной величине Kp индекса приводит к уменьшению потока электронов ~ на 50% для Kp=20, но увеличение Kp индекса уменьшает влияние плотности, и эффект снижается до 12%.

2. Потоки ″зародышевых″ электронов (270 кэВ ~ средняя энергия этой группы электронов) не зависят от скорости и плотности СВ и не зависят и от значений Kp и Dst индексов.

3. Для потоков электронов 31.7 кэВ оценки влияния скорости, плотности СВ и Kp и Dst индексов показывают близкое подобие (функциональное. но не численное) результатам, полученным для потоков релятивистских электронов.

Полученные результаты рассматриваются в рамках трехэтапной модели формирования потоков электронов ВРПЗ (электроны источника — зародышевые электроны —релятивистские электроны).

РАДИАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТОКА В ЭКВАТОРИАЛЬНОМ ДИСКЕ ЮПИТЕРА, ПОЛУЧЕННЫЙ ПО ДАННЫМ УЛИСС, И РЕЗУЛЬТАТЫ ДЖУНО

Алексеев И.И., Беленькая Е. С., Калегаев В.В ., Бобровников С.Ю., Пенсионеров И.А., Лаврухин А.С., Парунакян Д.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, iialexeev@mail.ru

К настоящему моменту, после нескольких оборотов вокруг Юпитера, научная аппаратура на борту КА Juno передала на Землю большой объем информации о структуре магнитосферы, о динамике полярных сияний, о потоках авроральных электронов и ионов в высоких широтах Юпитера [1, 2]. Это позволяет критически переосмыслить параметры модели магнитосферы Юпитера, построенной нами в 2005 году [3]. Прежде всего речь идет о структуре экваториального плазменного диска, определяющего размер магнитосферы. Траектория КА Juno при переходе на орбиту спутника дает разрез магнитосферы в направлении утро-вечер. Комбинирую эти данные с результатами КА Ulysses, в 1992 году, совершившего гравитационный маневр в поле тяготения Юпитера для выхода из плоскости эклиптики, можно получить более полную информацию о структуре диска. Многократные пересечения диска были зафиксированы во время многолетней работы КА Galileo. Все вместе позволяет сформулировать следующие из наблюдений за и против модели «пращи». Эта модель описывает формирование плазменного экваториального диска как свободный разлет плазмы по касательной уходящей с силовой линии, пересекающей альвеновский радиус, за которым магнитное поле уже не может удержать плазму Ио в режиме «твердотельного» вращения вместе с Юпитером.

Работа поддержана грантом Минобрнауки RFMEFI61617X0084 от 17 июля 2017 г.

1. Connerney et al., Science, 2017, 356, 826–832.
2. Mauk et al., Geophys. Res. Lett., 2017, 44, 4410–4418.
3. Alexeev and Belenkaya, Annales Geophysicae, 2005, том 23, с. 809-826.

ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ

Андреева В. А., **Цыганенко Н. А.**

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

Разработана эмпирическая модель магнитного поля в окрестности геосинхронной орбиты, основанная на методе радиальных базисных функций, недавно примененном к восстановлению магнитосферных конфигураций [1, 2] и многолетней базе спутниковых наблюдений THEMIS, Polar, Cluster и Van Allen Probes, включающей в себя 133 геомагнитные бури в период с 1996 по 2016 гг. Модельное поле представлено функцией солнечно-магнитных (SM) декартовых координат, угла наклона диполя, давления солнечного ветра и двух динамических переменных [3], описывающих магнитосферный отклик на поступление внешней энергии во время активной фазы бури и последующую ее диссипацию во время фазы восстановления.

Модель применима для умеренных бурь с пиковыми значениями Sym-H индекса до -150 нТл. Область моделирования была выбрана в виде тороидального объема, ограниченного дипольными оболочками с L=5 и L=9, что позволяет использовать модель как инструмент для проецирования положения геостационарных спутников в ионосферу. Проведена валидациия модели на независимом наборе данных, статистическое сравнение ее предсказаний с моделью TS05 [3], а также – с измерениями во время отдельных пролетов спутника GOES 15.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 17-05-00415.

1. Andreeva, V. A., Tsyganenko, N. A. // JGR-A 2016. V. **121.** P. 2249.
2. Tsyganenko, N. A., Andreeva, V. A. // JGR-A 2016. V. **121.** P. 10,786.
3. Tsyganenko, N. A., Sitnov, M. I. // JGR-A 2005. V. **110**. A03208.

ПРИМЕНИМОСТЬ УСЛОВИЯ ВМОРОЖЕННОСТИ И МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Е.Е. Антонова[1,2], И.П. Кирпичев[2], И.Л. Овчинников[1], В.В. Вовченко[2], Н.В. Сотников[1], В. Г. Воробьев[3], О.И. Ягодкина[3], М.С. Пулинец[1], С.С. Знаткова[1], М.В. Степанова[4]

[1]*НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова*

[2]*Институт Космических Исследований РАН*

[3]*Полярный Геофизический институт*

[4]*University of Santiago de Chile*

Проведен анализ применимости условий вмороженности и магнитостатического равновесия к описанию процессов в магнитослое и магнитосфере Земли с использованием данных спутниковых наблюдений, включая последние данные миссии MMS. Обращено внимание на то, что как условие вмороженноси, так и условие магнитостатического равновесия применяются в рамках магнитогидродинамического подхода к описанию процессов в бесстолкновительной магнитосферной плазме, что предполагает их эффективное использование только для описания сравнительно крупномасштабных процессов и требует экспериментальной проверки их справедливости.

Проверка условия магнитостатического равновесия требует анализ данных наблюдений потоков частиц в широком диапазоне энергий и магнитного поля. Суммированы результаты наблюдений, демонстрирующих баланс давлений на магнитопаузе, в хвосте магнитосферы Земли и внутри магнитосферы во время магнитных бурь. Баланс давлений плазмы и магнитного поля осуществляется, когда скорость крупномасштабного (усредненного) движения плазмы мала по сравнению со звуковой и альвеновской. Показано, что экспериментально регистрируемый баланс давлений дает основание для решения проблемы проецирования плазменных доменов с экваториальной плоскости на малые высоты и определения конфигурации магнитосферных токовых систем.

В отличии от условия магнитостатического равновесие, проверка применимости условия вмороженности требует наблюдения электрических полей и определения скорости движения плазмы, что, как правило, сопряжено с большими сложностями. Проанализированы данные наблюдений, демонстрирующие нарушение условия вмороженности вне областей, которые обычно идентифицируются как области «пересоединения» магнитного поля. Обращено внимание на то, что квазистационарные плазменные конфигурации не могут быть описаны в предположении о соблюдении условия вмороженности.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-05-00362.

ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ АО ВРЕМЯ МОЩНЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ 2015 Г. ПО ДАННЫМ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ И ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

Береснева[1] Е.А. Калегаев[1] В.В , Власова[1] Н.А Назарков[1] И.С. Prost[2] osc er[3] Sicard-Piet[3] Maget[3]

1 НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, 2 ISAE-SUPAERO, Toulouse, France, 3 ONERA, Toulouse
jeresneva@gmail.com

Выполнен анализ динамики потоков релятивистских электронов в диапазоне энергий 1.8÷6.3 МэВ во время двух геомагнитных бурь 17-18.III.2015 и 22-23.VI.2015 с близкой амплитудой Dst-вариации (~200 нТл). Бури обладали похожими профилями Dst, но происходили при разных условиях в межпланетном пространстве. Главная фаза бури 17-18.III.2015 происходила при отрицательной Bz-компоненте ММП, в то время как 22-23.VI.2015 в течение около 10 часов межпланетное магнитное поле было направлено к северу. Вариации магнитосферного магнитного поля на главной фазе бури 22-23.VI.2015 были связаны с экстремально-сильным воздействием импульса давления солнечного ветра.

Разная динамика магнитного поля обусловила и различия в поведении заряженных частиц в магнитосфере. Комплексный анализ данных измерений потоков электронов в приэкваториальной области магнитосферы на высотах до ~30000 км (КА Van Allen Probes), на геостационарной орбите (ИСЗ GOES) и на полярной солнечно-синхронной орбите (ИСЗ POES и Метеор) позволили обнаружить особенности динамики потоков частиц внешнего радиационного пояса под воздействием меняющихся условий в межпланетной среде.

В ходе обеих бурь наблюдается энергетическая зависимость положения максимумов потоков частиц, как до, так и после бури. В то время как потери электронов начинаются с момента SSC, главным образом, в низкоэнергичной части спектра, возрастание потоков электронов более низких может начинаться уже на главной фазе бури, когда продолжается понижение потоков частиц МэВ-ных энергий. Таким образом, конкурирующие процессы потерь и инжекции релятивистских электронов происходят одновременно.

Вертикальные детекторы ИСЗ POES и Метеор не зарегистрировали значительных потоков высыпающихся электронов, за исключением момента SSC, что свидетельствует о преобладании адиабатических механизмов развития внешнего радиационного пояса. Скорость падения и нарастания потока релятивистских электронов контролируется параметрами межпланетной среды, в частности, направлением и величиной Bz-компонента межпланетного магнитного поля и величиной скорости солнечного ветра.

ДОЛГОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Чугунин Д.В., Котова Г.А., Клименко М.В., Клименко В.В.

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

На данный момент существует целый ряд моделей плазмосферы. Часть из них основывается только на эмпирических зависимостях, полученных на основе измерений на спутниках и исследований распространения вистлеров, другая часть использует теоретическое моделирование. Однако, большинство моделей учитывают только зависимость наполнения магнитной силовой трубки плазмосферы от параметров MLT и L. В тоже время моделирование и зондирование ионосферы показывают, что должна существовать зависимость истечения плазмы из ионосферы в магнитосферу от долготы. В данной работе продолжается исследование на основе измерений на спутниках Интербол 1 и 2 зависимости наполнения плазмосферы от географических координат. Приводится сравнение полученной зависимости для различных сезонов с расчетами по модели GSM TIP.

СНИЖЕНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ПОРОГОВ ВО ВРЕМЯ СИЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ В ИЮНЕ 2015 Г.

Данилова[1] О.А., Тясто[1] М.И., Вернова[1] Е.С., Сдобнов[2] В.Е

[1] Санкт-Петербургский Филиал ИЗМИРАН, md1555@mail.ru
[2] Институт Солнечно-земной физики СОРАН.

Как известно, космические лучи являются одним из важных факторов, определяющих космическую погоду, и их жесткости обрезания 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 июне 2015 г. Эта буря имела сложный характер и характеризуется скоростью солнечного ветра более 700 км/с в минимуме Dst = -204 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.

СУПЕРСУББУРИ И УСЛОВИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

И.В. Дэспирак[1], А.А. Любчич[1] Н.Г. Клейменова[2]

[1] *Полярный геофизический институт (ПГИ) г. Апатиты, Мурманская область, Россия, despirak@gmail.com*

[2] *Институт Физики Земли (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия*

На основе данных сети магнитных станций SuperMAG и IMAGE, базы данных OMNI по солнечному ветру и каталога крупномасштабных явлений солнечного ветра (ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/) проведен сравнительный анализ условий космической погоды для появления суперсуббурь (SSS). События SSS, так называемые суперсуббури, представляют собой особенно интенсивные суббури (индекс SML <- 2500 нТл (он подобен индексу AL, но с большим долготным и широтным покрытием) и индекс AE <-2500 нТл). Мы провели сравнительный анализ между условиями в солнечном ветре и появлением суперсуббурь. Были проанализированы случаи наблюдения суперсуббурь в 2010-2016 годах на меридиональной цепочке (TAR-NAL) станций IMAGE и в 1998-2005 годах на станциях SuperMAG. Всего было зарегистрировано 72 случая по системе SuperMAG и 5 случаев по сети станций IMAGE. Было показано, что суперсуббури, в основном, наблюдаются во время магнитных облаков солнечного ветра (MC, 51.9%), и во время областей сжатой плазмы перед магнитными облаками или EJECTA (так называемая Sheath область, 40.5%). Рассмотренные суперсуббури продемонстрировали пространственно-временную динамику подобную «расширенным» суббурям, то есть пространственно-временное распространение возмущения от авроральных до высоких геомагнитных широт, при этом поведение суперсуббури не отличалось от «классической» суббури (без высокоширотной экспансии). Мы полагаем, что наиболее вероятным источником появления суперсуббурь может быть повышение скорости солнечного ветра, магнитуды магнитного поля и динамического давления при южном направлении межпланетного магнитного поля.

АНАЛИЗ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА РАЗНЫХ ТИПОВ И ИНДЕКСАМИ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ЗА 1995-2016 ГГ.

Л.А. Дремухина[1], И.Г. Лодкина[2], Ю.И. Ермолаев[2]

[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, (Троицк), dremukh@izmiran.ru*
[2]*ИКИ РАН, г. Москва*

В работе анализируются корреляционные связи между планетарными индексами геомагнитной активности *Dst*, *Kp* и *Ap* и значениями функций связи (ФС), рассчитанными с использованием измерений солнечного ветра (СВ) в четырех типах солнечного ветра: 1) областях сжатия, образующихся в результате взаимодействия высокоскоростных потоков СВ из корональных дыр с медленными потоками из пояса стримеров «Corotating Interaction Regions» (CIR); 2) магнитных облаках, или областях с низкой температурой и высоким межпланетным магнитным полем (ММП) «Magnetic Clouds» (MC); 3) областях «Ejecta», подобных MC, но с менее организованной структурой межпланетного магнитного поля (ММП); 4) областях сжатия «Sheath», предшествующих быстрым MC и Ejecta. Для анализа используются данные из каталога идентифицированных типов СВ, представленного на сайте ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/, за период 1995-2016 гг., охватывающий полный 23-й и большую часть 24-го циклов солнечной активности. В рассматриваемый период идентифицировано 744 CIR-события, 118 MC, 501 Sheath и 843 Ejecta. Десять функций связи (ФС), представленных в мировой научной литературе, рассчитываются на базе 1-часовых параметров СВ и ММП из набора данных OMNI (http://omniweb.gsfc.nasa.gov), на котором также представлены и значения индексов *Dst*, *Kp* и *Ap*. Анализ показал, что результаты не зависят от интервала используемых в расчете данных и имеют практически одинаковые значения для интервалов 23-го и 24-го циклов СА. Полученные в результате анализа коэффициенты корреляции имеют достаточно высокие значения (от 0.3 до 0.82), разные для различных индексов. Самые высокие значения (от 0.40 до 0.82 в зависимости от ФС) получены для индекса *Ap*, в то время как для индекса *Dst* они имеют самые низкие значения (от 0.30 до 0.67). В качестве меры эффективности воздействия на магнитосферу той или иной ФС принимаются коэффициенты линейной связи между значениями индексов и ФС. Анализ показал, что соотношения эффективностей для разных типов СВ варьируют в зависимости от вида ФС.

Работа поддержана Российским Научным Фондом, проект № 16-12-10062.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА РАЗНЫХ ТИПОВ НА ГЕНЕРАЦИЮ МАГНИТНЫХ БУРЬ В ПЕРИОД 1995-2016 ГГ.

Л.А. Дремухина[1], И.Г. Лодкина[2], Ю.И. Ермолаев[2]

[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, (Троицк), dremukh@izmiran.ru*
[2]*ИКИ РАН, г. Москва*

В недавних работах [1,2] по данным базы OMNI для 1976-2000 гг. было показано, что эффективность генерации магнитных бурь зависит от типа солнечного ветра (СВ), и для функции связи (ФС), предложенной в работе Бартона и др. [3], она выше в областях сжатия (CIR и Sheath), чем в ICME (Magnetic Clouds (MC) и Ejecta). Для других ФС, описанных в литературе, соотношения эффективностей для разных типов драйверов могут различаться, хотя наблюдается тенденция, близкая к поведению для ФС Бартона и др., как это показано в работе [2]. Поскольку для большинства ФС наблюдалась слабая корреляция между параметрами СВ и *Dst* индексом, в настоящей работе был выбран интервал 1995-2016 гг. с более полным набором необходимых для расчета параметров и более высокой статистикой случаев, и проведен повторный анализ. Проведенный на базе новых данных анализ подтвердил соотношения эффективностей для разных типов драйверов для ФС Бартона и др., для которой получен достаточно высокий коэффициент корреляции ($r > 0.6$). Для других ФС коэффициент корреляции остался небольшим ($r < 0.6$) несмотря на переход на новый набор данных, и для них получены соотношения эффективностей, как совпадающие, так и отличающиеся от результатов работы [2]. Полученный результат может быть связан, с одной стороны, с недостаточной статистикой событий в используемом наборе данных, а с другой стороны, с недостаточной точностью некоторых модельных ФС, используемых для описания процесса генерации магнитных бурь.

Работа поддержана Российским Научным Фондом, проект № 16-12-10062.

1. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. // Космич. исслед. 2015. Т. 53. № 2. С. 126-135.
2. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. // Геомагнетизм и аэрономия, 2017, Т. 57, № 5, с. 555-561
3. Burton R.K., McPherron R.L., Russell C.T. // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. P. 4204–4214.

ДНЕВНЫЕ ПОЛЯРНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В НАЧАЛЬНУЮ ФАЗУ БОЛЬШОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ 7-8 СЕНТЯБРЯ 2017 Г.

Громова Л.И., Клейменова Н.Г., Громов С В

ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия, gromova@izmiran.ru

В конце спада 24 цикла солнечной активности 7-8 сентября 2017 была зарегистрирована большая магнитная буря, характеризующаяся необычно длинной, почти 23 часа, начальной фазой (некоторые источники классифицируют этот период как малую магнитную бурю – G0). Приход к магнитосфере Земли первой ударной волны (SI 6 сентября, 23.04 UT) не привел к быстрому развитию магнитной бури, поскольку после него Bz ММП значительное время оставалась положительной, но в дневном секторе на геомагнитных широтах выше 70° наблюдались магнитные возмущения. Похожая ситуация наблюдалась и в начальной фазе большой магнитной бури 21-22 июня 2015 года [1]. Рассмотрены особенности дневных полярных возмущений, наблюдаемых на скандинавском профиле магнитометров IMAGE в 06–12 UT 7 сентября в условиях быстро и резко меняющегося ММП. Показано, что в зависимости от условий в ММП на земной поверхности в дневном секторе высоких широт наблюдались магнитные возмущения с различными морфологическими характеристиками. Так, в 06-08 UT при большом динамическом давлении солнечного ветра (Psw ~ 8 нПа) быстрые (~20-30 мин) знакопеременные изменения Bz и By компонент ММП привели к интенсивным дневным квазипериодическим геомагнитным вариациям с амплитудой ~ 400 нТл, наблюдаемым вблизи полярной границы аврорального овала при слабой геомагнитной активности в ночном секторе. С уменьшением динамического давления солнечного ветра и при стабилизации условий в ММП полярная граница овала сместилась к более высоким широтам. В этой области широт к 08-11 UT сложились условия для формирования полярного электроджета в дневном секторе, связанного с развитием достаточно интенсивных ночных суббурь (AE ~1000 нТл). На земной поверхности в полярных широтах дневного сектора наблюдалась отрицательная магнитная бухта с амплитудой ~350-400 нТл. Таким образом, различный характер высокоширотных дневных геомагнитных возмущений, наблюдаемых перед началом главной фазы магнитной бури 7-8 сентября 2017 г., являлся результатом особенностей структуры ММП в соответствующий интервал времени.

1. Громова. Л. И., Н. Г. Клейменова, А. Е. Левитин, С. В. Громов, Л. А. Дремухина, Н. Р. Зелинский. // Геомагнетизм и аэрономия. Т.56. №3. С. 302-313. 2016.

Analytical study of X-class flares released during the decline phase of SC24

Ahmed A. Hady
Department of Astronomy, Space and Meteorology, Faculty of Science,
Cairo University, Egypt
Email: aahady@sci.cu.edu.eg

Abstract:

Eruptive X-class flares occurring during the decline phase of the solar cycle 24 are stronger than those of solar cycle 23. We notice that the solar cycle 24 is the weakest in last 100 Years. The last two cycles are very weak compared to other cycles, except for the Dalton Minimum cycles 4, 5, 6 and 7; which means the appearance of a new Dalton minimum during 23, 24, 25 and 26.

During the last 5 solar cycles, a new peak has appeared releasing high energetic particles and X-class solar flares which are called the secondary peak or the double peak of the solar cycle.

The aim of this analytical study is to follow the X-class flares released during the decline phase of SC24, to predict, applying data analysis, when they would be released, and to compare it with other solar cycles.

The causes of the release of such eruptive storms, through the year 2014, during the double peak of the solar cycle 24 were also discussed.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ВО ВРЕМЯ МОЩНЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ МАЯ И ИЮНЯ 2015 г.

Калегаев В.В.[1], Власова Н.А.[1], Береснева Е.А.[1], Назарков И.С.[1],
Prost A.[2], Boscher D.[3], Sicard-Piet A.[3], Maget V.[3]

1 Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова klg@dec1.sinp.msu.ru
2 ISAE-SUPAERO, Toulouse, France
3 ONERA, Toulouse, France

Вариации солнечного ветра и межпланетного магнитного поля играют ключевую роль в динамике внешнего радиационного пояса. Они, прямо, или опосредованно, контролируют потери и ускорение захваченных энергичных электронов во время геомагнитных возмущений, вызванных воздействием межпланетной среды, однако, физические механизмы этих процессов все еще до конца не ясны. В настоящей работе исследовалась динамика потоков энергичных электронов во время двух геомагнитных бурь 17-18.III.2015 и 22-23.VI.2015 с близкой амплитудой Dst-вариации (~200 нТл). В ходе бури 22-23.VI.2015 было зарегистрировано экстремально-сильное воздействие импульса давления солнечного ветра при длительном периоде северного направления ММП, что обусловило разную динамику магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возмущений. Комплексный анализ данных измерений, выполненных спутниками Van Allen Probes, GOES, Electro-L, POES, Meteor-M, SAC-D и Jason-2 позволил выделить особенности в развитии внешнего радиационного пояса, обусловленные различными условиями в межпланетной среде.
Поддержано грантом РФФИ 16-05-00760.

ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОФИЛИ ДАВЛЕНИЯ В НОЧНОМ СЕКТОРЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В ПЕРИОД БУРЕВОЙ АКТИВНОСТИ

Кирпичев И.П. [1], **Антонова Е.Е.** [2, 1]

[1] *ФГБУ науки Институт космических исследований РАН, г. Москва, ikir@iki.rssi.ru*
[2] *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, г. Москва*

На основании данных, полученных в миссии THEMIS, восстановлены радиальные профили плазменного давления. Выбраны события, характеризующиеся буревой активностью с минимумом Dst < -70 нТл. Для этих событий прослежена временная эволюция профиля давления в ночном секторе магнитосферы. В частности фиксировалось положение максимума давления, появляющегося на возмущенном профиле (по сравнению с предшествующим периодом). Также оценено время релаксации давления к первоначальным значениям (до главной фазы) в период фазы восстановления бури.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ММП И «ДНЕВНЫХ ПОЛЯРНЫХ СУББУРЬ» НА ПОЯВЛЕНИЕ ВСПЛЕСКОВ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ Pc5 В ВОССТАНОВИТЕЛЬНУЮ ФАЗУ БОЛЬШОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ

Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Громов С.В., Малышева Л.М.

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

Восстановительная фаза магнитной бури часто сопровождается генерацией геомагнитных пульсаций диапазона Pc5 (2-7 мГц) в утренне-дневном секторе авроральных широт. Были исследованы особенности появления отдельных всплесков Pc5 пульсаций на скандинавском профиле магнитометров IMAGE во время недавней большой двухступенчатой магнитной бури 7-8 сентября 2017 г. Генерация геомагнитных пульсаций Pc5 наблюдалась во время фазы восстановления как первой, так и второй ступени этой бури. Было установлено, что появление отдельных всплесков Pc5 пульсаций контролировалось вариабильностью знака Bz-компоненты ММП при одновременном противофазном изменении знака By ММП. Это может быть интерпретировано как появление тангенциальных разрывов в ММП. Анализ данных показал, что всплески Pc5 пульсаций отмечались, в основном, при положительных отклонениях Bz ММП. Кроме того было найдено, что эта тенденция нарушалась при появлении дневной отрицательной магнитной бухты на геомагнитных широтах выше 70^{O}, т.е. при развитии «дневной полярной суббури», которая резко «выключала» возбуждающиеся ранее геомагнитные Pc5 пульсации. После окончания дневной магнитной бухты генерация Pc5 наблюдалась вновь. Ранее эффекты резкого «включения» или «выключения» утренних резонансных Pc5 пульсаций отмечались нами [1, 2] при резком начале суббури в ночной стороне и усилении потоков энергичных электронов на фоне диполизации в хвосте магнитосферы. Эффекты влияния «дневной полярной суббури» на генерацию Pc5 пульсаций обнаружены впервые.

Приведены примеры эффекта «замирания» Pc5 пульсаций, связанные с развитием «дневных полярных суббурь» в восстановительную фазу других сильных магнитных бурь.

1. Кауристи К., Успенский М.В., Клейменова Н.Г. и др. // Геомагнетизм и Аэрономия. 2013. Т. 53. №5. С. 654.
2. Kauristie K., Uspensky M.V., Kleimenova N.G. et al. //Ann. Geophys. 2016, V.34. P. 379.

ПЛАЗМОСФЕРНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА МАГИОН-5

Г.А. Котова[1], М.И. Веригин[1], В.В. Безруких[1], Ж. Лемэр[2,3], В. Пьерар[2,3]

[1]*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, kotova@iki.rssi.ru*
[2] *Université Catholique de Louvain, Faculty of Science, Louvain-la-Neuve, Belgium*
[3]*Royal Belgian Institute for Space Aeronomy, Brussels, Belgium.*

На спутнике МАГИОН-5 были проведены прямые измерения холодной плазмы с очень хорошим временным разрешением, и это позволяет исследовать пограничный слой вблизи границы плазмосферы - плазмопаузы. При каждом пересечении спутником этого слоя плотность плазмы спадает экспоненциально с увеличением L – оболочки: N~exp((L_{PP}-L)/W_B), где L_{PP} – положение плазмопаузы, W_B соответствует характерной ширине пограничного слоя: на расстоянии W_B плотность холодной плазмы падает в e-раз. Проанализировано 110 пересечений слоя космическим аппаратом. Оказалось, что плотность плазмы в пограничном слое обратно пропорциональна объему силовых трубок с единичным магнитным потоком, а ширина слоя пропорциональна объему таких трубок. Кроме того, характерная ширина плазмосферного пограничного слоя зависит от времени, прошедшего с момента наблюдения последнего максимума индекса K_P, и от величины этого максимума.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН П28.

ДВА ЭТАПА ФАЗЫ ЭКСПАНСИИ СУББУРИ: АВРОРАЛЬНЫЕ ВЫСЫПАНИЯ, ПРОДОЛЬНЫЕ ТОКИ И ИРРЕГУЛЯРНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ

Р.А. Ковражкин[1], А.Л. Глазунов[1], Г.А. Владимирова[1], Д.Г. Баишев[2], Ж.-А.Сово[3]

[1] Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
[2] Институт космофизических исследований и аэрономии СО РАН, Якутск, Россия
[2] Институт астрофизических и планетных исследований (IRAP), Тулуза, Франция

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

В работе представлены результаты исследований развития суббурь. Проведен анализ структур электронов и протонов 0.1-20 **кэВ** по данным спутника ИНТЕРБОЛ-2 в авроральной магнитосфере на высотах ~2.7 - 3.0 R_E, магнитного поля по данным спутников GOES на R=6.6 R_E, планетарной картины полярных сияний по данным спутника POLAR, а также пульсаций Pi2-Pi3 по данным магнитных станций. Показано, что в фазу экспансии суббурь первый этап происходит на широтах экваториальной части аврорального овала, связанный с образованием фронта диполизации, второй – на более высоких широтах при распространении авроральной выпуклости вплоть до полярной шапки, связанный с транзиентным импульсным пересоединением. На втором этапе генерируются пакеты высокоскоростных потоков электронов вплоть до E=3 кэВ длительностью 60-90 с внутри структур BBF, а также мощные инжекции ускоренных протонов вплоть до E=10 кэВ с квазипериодом 180 с. Наблюдаемые пучки частиц ускоряются в экваториальной области пограничного и центрального плазменных слоев в процессе импульсного пересоединения. Они вызывают периодические продольные токи, приводящие к возбуждению иррегулярных Pi2 и Pi3 пульсаций; такие инжекции стимулируют увеличение амплитуды пульсаций и даже контролируют их период.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ И ВАРИАЦИЙ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ СУББУРИ

Козелова Т.В., Козелов Б.В.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия, boris.kozelov@gmail.com

Анализировались магнитосферные возмущения в полуночном секторе во время суббури 14 ноября 2014 г. с началом в 18:05 UT. Использовались данные, полученные на спутниках THEMIS-D и THEMIS-E, расположенных в (~23:30-00:00 MLT) секторе магнитосферы на 10-11 Re, а также записи Pi2 пульсаций на станции Ловозеро и наземные магнитные данные вблизи сопряжённой со спутниками части ионосферы. Начало суббури было связано с BBF со скоростью больше 500 км/с, длительностью порядка 5 минут, зарегистрированном двумя спутниками THD и THE.

Чтобы изучить вклад возмущений тока в связи с суббурей и оценить роль токов, связанных с BBF, необходимо изучить независимо свойства динамики магнитного поля и свойства возмущения течения.

Крупномасштабная диполизация магнитного поля на долготах спутников длилась 40 минут и состояла из нескольких мелкомасштабных активизаций/диполизаций, из которых три начальные диполизации наблюдались в 18:04:30 UT, 18:07:30 и 18:09 UT на фазе роста BBF. Динамика этих диполизаций была проанализирована более подробно с использованием построения дифференциальных токовых векторов возмущения на экваториальной плоскости магнитосферы.

Были выделены два типа мелкомасштабных диполизаций.

Первый тип диполизации связан с начальным ростом быстрых потоков плазмы в направлении к Земле. Этот тип представляет первое кратковременное возрастание B_z компоненты магнитного поля, за которым следуют утоньшение токового слоя (уменьшение B_z компоненты) и осцилляции магнитного поля. В рассмотренной суббури период этих осцилляций был равен 60 с.

Второй тип диполизации связан с изменением конфигурации околоземной части токов хвоста от состояния тонкого слоя с осцилляциями магнитного поля в 40 с. к более дипольной конфигурации. Возрастание в B_z компоненте магнитного поля более заметно на более внутреннем спутнике. Это преобразование распространяется в направлении от Земли в хвост и в азимутальном направлении. Этот тип наблюдается в местах, где потоки тормозятся, наталкиваясь на область с большими значениями магнитного поля и давления. Именно в этой области обычно наблюдаются неустойчивости типа баллонной и других токовых, с которыми часто связывают начало взрывной фазы суббури.

Анализ суббури 14 ноября 2014 г. показывает, что возмущения, приводящие к суббури, имеют место в возмущённом токовом слое на ~ 10 Re и могут быть стимулированы возрастанием B_z, связанным с BBF.

ЗАВИСИМОСТЬ ПЛАНЕТАРНОЙ И АВРОРАЛЬНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПОЛЯРНЫЕ ШАПКИ

Кузнецова Т.В.

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, tvkuz3@gmail.com

Известно, что основным проявлением планетарной геомагнитной активности (ГА) являются магнитные бури, а основной вклад в изменение магнитного поля вносит кольцевой DR-ток. Известно также, что при компоненте межпланетного магнитного поля (ММП), параллельной магнитному диполю Земли (Me), определяющую роль в развитии больших возмущений играет скорость поступления энергии солнечного ветра к области взаимодействия межпланетного и земного магнитных полей на магнитопаузе, которая связана со скоростью пересоединения. В рамках нашего подхода для описания мощности э/м источников солнечного ветра и направления их распространения используется вектор Пойтинга P=[ExB]. В работе исследуется зависимость возмущенности DR-тока от одной из трех независимых компонент вектора P - компоненты Pm, параллельной вектору Me, рассчитанной с учетом изменения взаимной ориентации векторов P и Me при годовом и суточном движениях Земли[1]. Для расчета Pm используются измерения компонент ММП и скорости в солнечном ветре за 4 цикла солнечной активности (база данных omni). Показано, что при возмущениях до Dst-индекса ~ -80nT Dst растет линейно с увеличением Pm независимо от его знака. Компонента Pm>0, связанная с э/м потоком солнечного ветра в северную шапку, довольно быстро выходит на режим насыщения (Dst не меняется при увеличении Pm). При Pm<0, то есть э/м потоке в южную шапку (к ионосфере) и из северной шапки (от ионосферы), Dst растет постоянно до самых больших Dst ~ -350nT в данных без насыщения. Итак, возникновение больших и очень больших бурь связано с этой компонентой вектора Пойтинга. Ранее мы получили полугодовую вариацию Pm с пиками в мае и ноябре [2], поэтому в этой работе ищем связь этих пиков с взаимной ориентацией ММП и Me. Расчеты показывают, что в первой половине мая Bm южного направления будет у ММП с $B_y<0$ независимо от знака B_x, а в первой половине ноябре южная Bm будет при $B_y>0$ также независимо от знака B_x (GSE с.к.). Расчеты показывают, что самые большие значения южной Bm в мае будут при $B_x<0, B_y<0$, а в ноябре при $B_x>0, B_y>0$. Анализ показывает, что такое направление ММП отличается от спирали Паркера и наблюдается часто при пересечении гелиосферного токового слоя. Результат о пиковых значениях Bm южного направления в мае и ноябре также позволяет объяснить известный результат Нишиды о максимумах в мае и ноябре в полугодовой вариации AL-индекса, описывающего интенсивность западного аврорального электроджета. Наземные наблюдения, на основе которых получают AL, выявляют только эквивалентные токи Холла, а токи Педерсена и FACs не имеют магнитных вариаций внизу ионосферы.

1. Kuznetsova T.V. and Laptukhov A.I. Contribution of geometry of interaction between interplanetary and terrestrial magnetic fields into global magnetospheric state and geomagnetic activity. Advances in Space Research. v. 47, 978–990, 2011.

2. Кузнецова Т.В. и Лаптухов А.И. Ответ полярной ионосферы на изменения в ориентации вектора Пойтинга вблизи орбиты Земли относительно геомагнитного момента. Солнечно-земная физика, вып 12, том 2, стр. 215–217, 2008.

МГД ДВУМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИЛООБРАЗНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

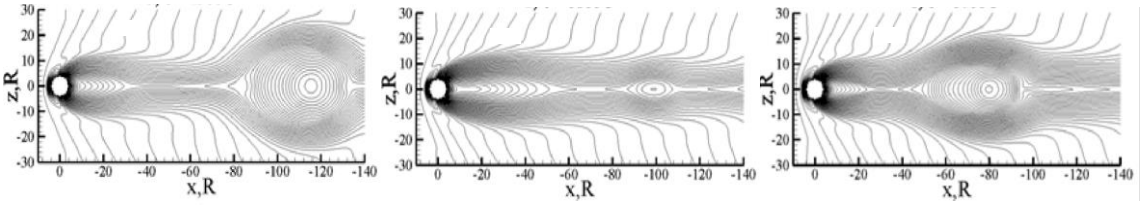
Лихачев А.П., Губанов Е.В., Мелин С.А.

ОИВТ РАН, г. Москва, Россия, apl2211@mail.ru

В исследованиях динамики магнитосферы важное место занимает проблема пересоединения магнитных силовых линий в геомагнитном хвосте – резкого изменения топологии магнитного поля в относительно тонком слое с противоположно направленным вектором магнитного поля. Интерес к этому явлению обусловлен его определяющей ролью в развитии магнитных бурь и суббурь – основных причин космической «непогоды» на Земле. В ряду физических механизмов, влияющих на процесс пересоединения в магнитосфере, ведущую роль играют резистивные неустойчивости токового слоя, в частности, наиболее важная из них - тиринг-неустойчивость [1], развивающаяся при выполнении условия $Lu>1$ (число Лундквиста $Lu=\mu\sigma v_a l$, где σ, $v_a=B(\mu\rho)^{-1/2}$, l – проводимость, альфвеновская скорость и характерный размер, соответственно).

В работе рассматривается влияние одного из главных параметров солнечного ветра – проводимости плазмы – на структуру магнитосферы и происходящие в ней процессы. В 2D МГД приближении решается задача об обтекании магнитосферы солнечным ветром в меридиональной плоскости. Полагается, что решение симметрично относительно продольной оси, параметры солнечного ветра с южным направлением межпланетного магнитного поля (ММП) задаются постоянными. Моделирование проводилось для двух значений проводимости плазмы σ_p - 10^{-6} См/м и 10^{-4} См/м. Эти два варианта решения имеют принципиально разный характер: при $\sigma_p=10^{-6}$ См/м реализуется режим стационарной магнитной конвекции, при $\sigma_p=10^{-4}$ См/м возникает квазипериодический режим (т.н. пилообразное событие - см., например, [2]). При скорости солнечного ветра 400 км/с и магнитном поле 10^{-9} Т период цикла составляет 4000 с. Именно этому варианту решения в работе уделяется основное внимание.

В результате пересоединения формируется магнитный остров (плазмоид), который отрывается от диполя и сносится в ночном направлении. Каждый цикл (период) имеет три четко выраженные фазы: фазу роста, взрывную фазу и фазу восстановления (Рис. 1), которые коррелируют с временными изменениями открытого потока ММП и скорости пересоединения в ночной Х-точке (Рис. 2). Начало цикла (и, соответственно, фазы роста) определяется минимумом открытого потока ММП и равенством скоростей пересоединения в дневных и ночной Х-точках. Ночная Х-точка отделяет дипольное магнитное поле и свободное ММП. В первых двух фазах растет магнитная энергия магнитосферы за счет увеличения открытого ММП. Фаза роста сменяется взрывной фазой в момент пересоединения, когда скорость пересоединения в ночной Х-точке становится минимальной и рождается новая, ближняя к телу, х-точка. Переход к фазе восстановления начинается в момент достижения максимальных значений скорости пересоединения в ночной Х-точке и открытого потока ММП (Рис. 2). В фазе роста и взрывной фазе в ночном секторе диполя возбуждаются пульсации скорости и давления, распространяющиеся вниз по потоку. Газодинамические эффекты анализируются в их взаимосвязи с электродинамическими процессами.



а - t=4900c б - t=6600c в - t=8400c

Рисунок 1 Магнитные силовые линии: а – фаза роста, б – взрывная фаза, в – фаза восстановления.

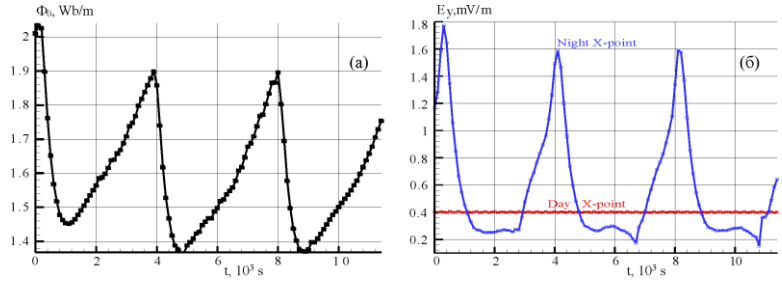


Рисунок 2. Временные профили открытого магнитного потока ММП (а) и скорости пересоединения в дневной и ночной Х-точках (б), красная линия – дневная Х-точка, синяя кривая - ночная Х-точка.

1. Priest, E. R., and T. G. Forbes, Magnetic Reconnection: MHD Theory and Applications, Cambridge Univ. Press, New York, 2000
2. Huang C. S. et al. // J. Geophys. Res.: Space Physics 2003. V. **10** . P. 1411.

ДИНАМИКА МАГНИТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ МОЩНЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ 2015 Г. ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИИЙ КА VAN ALLEN PROBES И РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Назарков И.С., Калегаев В.В ., Власова Н.А., Береснева Е. А., A. Prost, D. Boscher, A. Sicard-Piet, V. Maget

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

Представлены результаты исследования динамики потоков частиц кольцевого тока и магнитного поля в сердцевине радиационных поясов во время двух мощных магнитных бурь 2015 года (16-18 марта и 22-23 июня) с близкой амплитудой Dst-вариации (~200 нТл). Проведен комплексный анализ экспериментальных данных, полученных с космических аппаратов Van Allen Probes (RBSP), находящихся на орбите, близкой к экваториальной, и проходящей через радиационные пояса, и с низкоорбитальных полярных КА POES. Выполнено моделирование кольцевого тока и магнитного поля в рамках параболоидной модели магнитосферы Земли А2000. В результате сравнительного анализа динамики кольцевого тока и магнитного поля в сердцевине радиационных поясов на главных фазах двух бурь 2015 г. получено подтверждение существования механизма развития кольцевого тока и, соответственно, геомагнитной бури под действием мощного импульса давления солнечного ветра. Было обнаружено, что во время магнитной бури 22-23.VI.2015 развитие кольцевого тока на главной фазе продолжалось, несмотря на поворот ММП к северу и последующий продолжительный период с положительной B_z-компонентой в солнечном ветре. При этом наблюдалось возрастание потоков горячей плазмы, регистрируемое в приэкваториальной области на высоте 800 км. Наблюдаемый в июньской буре эффект объясняется усилением буревого кольцевого тока вследствие продолжительного и мощного импульса давления солнечного ветра, приводящего к неадиабатическому переносу частиц кольцевого тока на более низкие L-оболочки.

ГЕОМАГНИТНЫЙ ОТКЛИК НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАГНИТОСФЕРЫ С ДИАМАГНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Пархомов В.А.[1], Бородкова Н.Л.[2], Еселевич В.Г.[3], Еселевич М.В.[3], Дмитриев А.В.[4], Чиликин В.Э.[1]

1 Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия, pekines_41@mail.ru
2 Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия
3 Институт Солнечно – Земной Физики СОРАН, г. Иркутск, Россия
4 Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина МГУ, г. Москва, Россия

Целью работы является исследование отклика магнитосферы на воздействие двух типов диамагнитных структур в солнечном ветре (СВ). Первый тип диамагнитных структур связан со спорадическим солнечным ветром. Спорадический СВ, источником которого на Солнце являются корональные выбросы массы, на орбите Земли регистрируется в виде последовательности из ударной волны, ударно-нагретой плазмы и магнитного облака или межпланетного выброса корональной массы. Внутри магнитного облака часто можно наблюдать изгибающийся тонкий и плотный магнитный жгут, который является выброшенным с поверхности Солнца волокном (или эруптивным протуберанцем). Он является диамагнитной структурой, т.е. на его поверхности течет ток, уменьшающий магнитное поле внутри трубки и увеличивающий снаружи.

Второй тип диамагнитных структур связан с медленным квазистационарным солнечным ветром, источниками которого на Солнце являются пояс или цепочки стримеров или псевдостримеры. Эти структуры, фактически, представляют собой магнитные трубки с плазмой внутри.

В работе на основе анализа нескольких событий показано, что взаимодействие диамагнитной структуры первого или второго типа с магнитосферой Земли может являться причиной кратковременных суббуреподобных магнитных возмущений пилообразной формы (sawtooth event) на ночной стороне магнитосферы. При этом, генерируемое возмущение отличается от классической суббури отсутствием фазы зарождения и брейкапа. Диамагнитные структуры, связанные с квазистационарным солнечным ветром, могут приводить к глобальной модуляции геомагнитного поля и ионосферных токов с периодом, близким к периоду вариации плотности плазмы солнечного ветра и величины магнитного поля внутри трубки.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским научным фондом, проект № 16-02-10062.

ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 0.2 МЭВ ДО 2 МЭВ И НА ПРЕДЕЛЬНЫЕ НАКОПЛЕННЫЕ ДОЗЫ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ

Протопопов Г.А., Анашин В.С., Юшкова В.А., Репин А.Ю.

Филиал АО «ОРКК» - «НИИ КП», г. Москва, Россия, Protopopov_GA@orkkniikp.ru

В докладе представляются результаты анализа полетных данных с 2011 по 2015 годы, которые представляют собой потоки электронов с различными энергиями, измеряемые спектрометрами на КА Электро-Л (с энергией более 0.2 МэВ и 1 МэВ [1]) и GOES (с энергией более 0.8 МэВ и 2 МэВ [2]) на геостационарной орбите (ГСО). По полученным бортовым измерениям определены годовые спектры электронов естественных радиационных поясов Земли на ГСО, по которым рассчитаны годовые значения поглощенных доз за типовыми защитами.

В докладе представляются результаты анализа вариации потоков электронов и поглощенных доз от воздействия электронов и корреляции данных вариаций с уровнем геомагнитной активности (данные [3]) за разные года, и с уровнем солнечной активности. Мы наблюдали значительные вариации годовых значений потоков электронов (в 3 раза) и значений поглощенных доз (от 1.5 до 5 раз). Следует отметить, что минимальный поток электронов и значение поглощенной дозы наблюдались в 2014 году, в котором наблюдалась высокая солнечная активность.

1. V. S. Anashin, G. A. Protopopov, O. S. Kozyukova, P. V. Binyukov, and A. P. Polinkin, “Analysis of Space Environment Measurement Carried out by the Roscosmos Monitoring System Elements,” 2014 IEEE Radiation Effects Data Workshop (REDW), Jul. 2014.

2. http://www.ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/index.html

3. http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/index.html

ВОЗНИКАЕТ ЛИ В ТОКОВОМ СЛОЕ МАГНИТОСФЕРНОГО ХВОСТА В ПЕРИОД ФАЗЫ РОСТА СУББУРИ ЛОКАЛЬНЫЙ МИНИМУМ

Сергеев В.А Гордеев Е.И Меркин В.Г Ситнов М.И

[1] *СПбГУ,г.С-Петербург, Россия, victor@geo.phys.spbu.ru*

Возможность магнитной конфигурации хвоста магнитосферы с немонотонным радиальным профилем BZ-компоненты в средней части хвоста активно обсуждается в литературе в связи с тем, что области с dBZ/dr>0 потенциально неустойчивы по отношению к ряду плазменных неустойчивостей токового слоя, рассматриваемых в ряду кандидатов для срыва начала взрывной фазы суббури. Существование и свойства таких областей трудно изучать по данным существующих магнитосферных спутников. Мы проанализировали наблюдения низколетающих полярных спутников в период интенсивных потоков энергичных электронов солнечного происхождения, позволяющие контролировать широтные распределения заполнения конуса потерь и несущие информацию о радиальном распределении магнитного поля в центре токового слоя. В случае предварительной фазы суббури 16.05.2013 широтно-локализованная область с анизотропным распределением потоков >30кэВ электронов, включенная в обширную область изотропных высыпаний систематически, наблюдалась в течение >40 минут 6 спутниками POES, которые последовательно пересекали предполуночную часть аврорального овала. Анизотропные высыпания шириной ~0.5^{o} регистрировались на расстоянии ~1^{o} широты к полюсу от внешней границы радиационного пояса, указывая на существование гребня повышенной BZ-компоненты на геоцентрическом расстоянии ~15-20Re. Мы обсудим причины образования и редкость наблюдения подобных структур принимая во внимание как природу явления (связанную с нарушением адиабатичности движения электронов в токовом слое), так и результаты глобального МГД моделирования суббурь.

СТРУКТУРА ДНЕВНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ МАРСА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА MAVEN

О.Л. Вайсберг[1], В. Н. Ермаков[1], С. Д. Шувалов[1], Л. М. Зеленый[1], E.Dubinin[2]

[1]*Институт космических исследований РАН,* olegv@iki.rssi.ru

[2]*Max-Planck-Institute for Solar System Research*

Ночная магнитосфера Марса хорошо изучена. В 1970-х годах спутники Марс-2, -3, и -5 обнаружили хвост и дневную магнитосферу Марса. Исследования были продолжены на аппаратах Фобос-2 и Марс-Экспресс. Однако временное разрешение и другие ограничения не позволили исследовать дневную магнитосферу планеты. С 2014 г. приборы с высокими временным и энергетическим разрешениями на американском спутнике MAVEN предоставили возможность более подробно изучать марсианскую магнитосферу.

В докладе приводятся результаты анализа характеристик и структуры дневной магнитосферы Марса в системе координат MSE, определяемой направлением электрического поля солнечного ветра. Для анализа пространственной структуры магнитосферы введен угол θ_E между электрическим полем и проекцией радиус-вектора космического аппарата на плоскость YZ системы координат MSE. В работе представлены характеристики магнитосферы вблизи значений угла θ_E 0° («северный» сектор), 90° («экваториальный» сектор) и 180° («южный» сектор) по выборке из 44 пересечений дневной магнитосферы Марса. Выбранный интервал времени находится в промежутке с 17 января по 4 февраля 2016 года, когда MAVEN пересекал дневную магнитосферу на зенитном угле Солнца ~ 70°.

Магнитосфера как специфическая область с укоренными атмосферными ионами была зарегистрирована во всех пересечениях между обтекающим потоком солнечного ветра и ионосферой Марса. Установлено, что вблизи каждого из рассмотренных значений угла θ_E имеются типичные, но различающиеся профили характеристик плазмы и магнитного барьера как в обтекающем потоке солнечного ветра (магнитослое), так и в магнитосфере. Шлейф (plume) играет решающую роль в свойствах «северного» сектора магнитосферы MSE и магнитослоя. Магнитный барьер не обязательно связан со структурой магнитосферы. Средняя высота границы магнитосферы с ионосферой составляет ~ 500 км и увеличивается до ~ 700 км на «южном» секторе. Средняя высота магнитопаузы составляет ~ 700 км и возрастает до ~ 900 км на «южном» секторе. Наименьшая плотность ионов в магнитосфере находится на магнитном «юге». Обсуждается влияние наблюдаемой структуры магнитосферы на механизм потери планетарных ионов.

КОМПЛЕКС ПРИБОРОВ КОРПУСКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ ДЛЯ МИКРОСПУТНИКА «ТРАБАНТ»

Шувалов С.Д., Моисеенко Д.А., Вайсберг О.Л.

[1]*Институт космических исследований РАН,* olegv@iki.rssi.ru

Данный доклад посвящен разработке малогабаритного комплекса приборов для корпускулярной диагностики космической плазмы, в состав которого входят спектрометр ионов АРИЕС-Т и спектрометр электронов БАЭС.

Прибор БАЭС проводит регистрацию спектров электронов в узком поле зрения с высоким временным разрешением, достигаемом благодаря одновременному измерению потока электронов в широком энергетическом диапазоне. Научными задачами спектрометра электронов являются: изучение взаимодействия ионов и электронов с волнами в плазме и установление типов этих волн; изучение потерь электронов в конус потерь, а также изучение электрических полей низко- и среднеширотной магнитосфере, связанных с ветрами в Е слое.

Прибор АРИЕС-Т регистрирует спектры ионов с разделением частиц по массе. Научными задачами прибора являются: Изучение динамики и характеристик магнитосферной плазмы; измерение функции распределения магнитосферных ионов, в особенности H^+, He^+ и O^+; исследование взаимодействия ионов с волнами в плазме и диагностика волновых процессов; измерения высыпания горячих ионов и исследования связи этого процесса с низкоширотными авроральными дугами.

В докладе представлены результаты компьютерного моделирования описанных приборов, а также предварительные результаты лабораторных испытаний прототипа прибора БАЭС.

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В БЛИЗКОЙ 2-3 Re МАГНИТОСФЕРЕ ПРИ НИЗКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОЭМИССИИ НА СПУТНИКЕ *ИНТЕРБОЛ-2*

Н.Ф.Смирнова, Г.Станев

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

А.Педерсен и его коллеги предложили определять концентрацию окружающей плазмы в магнитосфере на основе измерений потенциала спутника относительно плазмы датчиками электрических полей. В настоящее время этот способ определения плотности окружающей плазмы был апробирован на многих космических аппаратах: *VIKING, GEOS-1, GEOS-2, ISEE-1, CRRES, GEOTAIL, POLAR, CLUSTER, MMS*. В этих случаях потенциал имел большие положительные значения до 80 В, плотность плазмы заключена в пределах 0.1-100 $см^{-3}$. Этот метод основан на том факте, что все материалы в космическом пространстве проявляют очень похожие фотоэмиссионные свойства в отсутствие атмосферного кислорода. А.Педерсон и его коллеги нашли эмпирическую модель между плотностью фототока (Jph, $мкА/м^2$) и величиной потенциала спутника (Vs,B) [1]. Плотность фотоэлектронного тока Jph в этой модели определяется в зависимости от потенциала спутника относительно плазмы Vs, а экспериментально измеряется Usp - разность потенциалов спутника Vs и зонда Vp.

К.Торкар с соавторами применяли эту модель и опубликовали результаты определения концентрации электронов в пределах 1- 40 $см^{-3}$ на основе измерения потенциала спутника *ИНТЕРБОЛ-2*, но, согласно замечанию авторов, эти результаты требуют дальнейших исследований [2]. В этой работе использовались результаты измерений потенциала спутника, зарегистрированные датчиком электрических полей ИЭСП-2 с помощью телеметрии ССНИ и усредненные с периодом 38 с.

Потенциал спутника *ИНТЕРБОЛ-2* также измерялся другим зондовым прибором, датчиком электронной температуры КМ-7. Сопоставление одновременных измерений потенциала спутника *ИНТЕРБОЛ-2* относительно плазмы зондовыми приборами ИЭСП-2 и КМ-7 позволяет оценить плотность фотоэлектронного тока по методике, предложенной ранее авторами этого доклада [3]. В нашей работе применялась эта оценка и использовались результаты измерения потенциала с помощью телеметрии СТО: ИЭСП-2 с частотой опроса 400 мс, цикл измерений КМ-7 составлял 5,12 с, таким образом, мы определяли Jph с интервалом 5,12 с. *ИНТЕРБОЛ-2* функционировал с положительным и отрицательным потенциалом: на высотах более 8000 км положительные значения составляли ~75 % , из них ~80% значений в диапазоне 2-5 В. Мы определяли концентрацию электронов только для положительного потенциала. Аналогично, как в [2], мы составляли уравнения баланса для спутника и зонда между токами электронов окружающей плазмы и фотоэлектронов, эмитированных освещенной поверхностью. В магнитосферных измерениях для приведения потенциала зонда к потенциалу окружающей плазмы в зонд направляется ток смещения, который учитывался в уравнении баланса токов для зонда. При расчетах использовалось значение энергии электронов kT_e=1эВ, как в [2]. Из уравнений баланса токов для спутника и зонда можно определить Vs и Vp, если задать величину концентрации электронов N_e. Итеративно подбиралось такое значение N_e, чтобы разность потенциалов Vs-Vp была близка к измеренному значению Usp. По нашим оценкам концентрация электронов находится в пределах 30-100 $см^{-3}$. В докладе приводятся примеры участков орбит с высокой и низкой концентрацией электронов: например, пролет 733 (21.02.1997, 1640-1800 UT, kp=2) с N_e до 100 $см^{-3}$; пролет 2336 (15.03.1998, 0600-0720 UT, kp=4), в пике потенциала (9 В) N_e ~ 30 $см^{-3}$.

1. Escoubet C.P., Pedersen A., Schmidt R. et al. // 1997, *JGR*, V.102, pp. 17595-17609.
2. Торкар К., Джезенски Г., Веселов М.В. и др. // *Космич. исслед.*, 1999, Т. 37, с.644-653.
3. Smirnova N.F. and G. Stanev //Geomagnetism and Aeronomy, 2009, V.49, pp. 1204-1207.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОТОНОВ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В МАГНИТОСПОКОЙНОЕ ВРЕМЯ ПО ДАННЫМ СО СПУТНИКА “CLUSTER”

Смолин С.В.

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия, smolinsv@inbox.ru

Цель работы – моделирование в магнитосфере Земли питч-углового рассеяния протонов кольцевого тока электромагнитными ионно-циклотронными волнами во время магнитоспокойного периода.

Представлена математическая модель нестационарной питч-угловой диффузии в магнитосфере, которая позволяет теоретически рассчитывать плотность фазового пространства или питч-угловое распределение заряженных частиц в зависимости от массы частицы, ее энергии, параметра Мак-Илвейна, величины магнитного местного времени, начального перпендикулярного значения показателя питч-углового распределения частиц, переменного параметра k, определяющего время жизни вследствие взаимодействий волна – частица, и Kp - индекса геомагнитной активности. В модели одновременно учитываются такие возможные физические механизмы образования питч-угловых распределений как взаимодействия волна – частица, инжекция и дрейф частиц, расщепление дрейфовых оболочек электрического поля. Модель позволяет найти при наличии начального и конечного (промежуточного) питч-угловых распределений соответствующую величину k и тем самым однозначно определить для конкретных условий следующие характеристики: время жизни вследствие взаимодействий волна – частица, коэффициент питч-угловой диффузии, функции потерь и источника частиц.

Математическая модель протестирована количественно сравнением расчетных потоков протонов (L = 4,17; MLT = 22,58 ч; E = 17,1 кэВ; $k = 2{,}8 \cdot 10^{-6}$) с измерениями КА «Cluster» в магнитоспокойное время (Dst > -10 нТл, 23:56 UT 26 марта - 00:26 UT 27 марта 2003 года). Получено хорошее согласие. Представленная модель и результаты численных расчетов будут способствовать дальнейшему пониманию динамики кольцевого тока, управляемой взаимодействиями волна-частица, при разных геомагнитных условиях.

ПОЛОЖЕНИЕ ГРАНИЦЫ ЗАХВАТА ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ГРАНИЦ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА МЕТЕОР

Н.В. Сотников [1], Е.Е. Антонова[1 2], М.О. Рязанцева[2], И.А. Рубинштейн[1], В.О. Баринова[1] С.К. Мить[1]

[1]НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, sotnikov.nikita@hotmail.com

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

Исследовано положение границы захвата электронов с энергией >100 кэВ относительно экваториальной границы аврорального овала во время пяти магнитных бурь по данным измерений спутника Метеор-М №2, запущенного 8 июля 2014 года на полярную солнечно-синхронную круговую орбиту с высотой ~ 825 км, периодом ~ 100 мин и наклоном 98.8°. Использованы данные прибора GGAK-M, состоящего из полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов и электростатических анализаторов. Измерялись энергичные электроны с энергиями от 0,1 до 13 МэВ и потоки малоэнергичных электронов с энергиями от 0.032 до 16.64 кэВ. Учтено, что питч-угловое распределение энергичных электронов вблизи границы захвата почти изотропно. Показано, что граница захвата энергичных электронов во время всех рассмотренных бурь регистрируется внутри аврорального овала или вблизи его полярной границы. Определено расстояние по геомагнитной широте между границей захвата энергичных электронов и экваториальной границей аврорального овала. Для магнитной бури 20-23 января 2015 г. с минимальным Dst = -170 нТл проведен анализ зависимости данного расстояния от времени для вечерних и утренних пересечений овала. Показано, что во время бури происходит уменьшение расстояния между границей захвата и экваториальной границей овала в утреннем секторе и его увеличение в вечернем. Вблизи минимума Dst эти величины выравниваются. Обсуждено значение полученных результатов для описания изменений топологии магнитосферы во время магнитных бурь.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00362.

ДИНАМИКА ПОТОКОВ СВЕРХТЕПЛОВЫХ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ ДИПОЛИЗАЦИИ В БЛИЖНЕМ ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Малыхин А.Ю. [1], Григоренко Е.Е. [1,2], Колева Р.[3], Кронберг Е.А. [4,5], P.W. Daly[4]

1 Институт Космических Исследований Российской академии наук, Москва, Россия, anmaurdreg@gmail.com
2 Московский Физико Технический Институт (ГУ), Москва, Россия
3 Space Research and Technologies Institute of BAS, Sofia, Bulgaria
4 Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany
5 Ludwig Maximilian University of Munich, Munich, Germany

На основе многоспутниковых наблюдений Cluster и THEMIS P3 выполнен анализ свойств и спектров инжекций протонов и электронов, наблюдаемых в плазменном слое ближнего геомагнитного хвоста (***X*** ~ -7 - -9 R_E) во время магнитной диполизации. Диполизация в ближнем хвосте была связана с торможением быстрых плазменных потоков и сопровождалась формированием суббуревого токового клина. Мы идентифицировали два характерных временных масштаба в развитии диполизации: 1) продолжительный (~ 13 минут) рост *Bz* компоненты магнитного поля; 2) кратковременные (~ 1 минуты) импульсы Bz компоненты (диполизационные фронты) во время фазы роста диполизации. Многоспутниковые наблюдения показали, что начало возрастания потока сверхтепловых электронов (> 50 keV), наблюдается одновременно с началом диполизации и распространяется в том же направлении, что и диполизационное возмущение. Последующая динамика потоков электронов также аналогична динамике магнитной диполизации, т. е. постепенный рост потока электронов происходит на том же временном масштабе, что и рост диполизации. На фоне общего роста потока наблюдаются несколько кратковременных (~ несколько минут) электронных инжекций, связанных с импульсами *Bz*. Такое поведение обусловлено совокупным действием локального бетатронного ускорения электронов на импульсах *Bz* и их последующим градиентным дрейфом в существенно неоднородном магнитном поле зоны торможения потока. Напротив, протонные инжекции наблюдались только вблизи самых сильных импульсов *Bz*. Особенности энергетических спектров этих инжекций указывают на вклад неадиабатического резонансного ускорения протонов до ~ 70 - 90 кэВ импульсами электрического поля утро-вечер, связанного с диполизационными фронтами.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-12-00824.

О ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТАХ ЭВОЛЮЦИИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ В ПРОЦЕССЕ ИНВЕРСИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

О.О. Царева (1), В.Ю. Попов (2,1,3), Х.В. Малова (4,1), Л.М. Зеленый (1)

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, olga8.92@mail.ru

(1) ИКИ РАН
(2) Физический факультет МГУ
(3) Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"
(4) НИИЯФ МГУ

Настоящая работа является продолжением исследования радиационной обстановки в околоземном пространстве во время инверсии магнитного поля Земли. Основное внимание уделено движению заряженных частиц, захваченных магнитным полем и образующих так называемые радиационные пояса.

Области устойчивого существования радиационных поясов Земли получены развитием теории Штермера на осесимметричный квадруполь, а численное моделирование подтверждает их конфигурацию в виде тороида, раздвоенного на северный и южный пояса.

В соответствии с инверсионным сценарием исследовано постепенное сокращение и исчезновение радиационных поясов при уменьшении дипольной составляющей современного геомагнитного поля. К 3580 году радиационных поясов не ожидается как таковых, поскольку доминирующей компонентой поля станет квадруполь с несимметричными осями. Однако в нем будут присутствовать квазизахваченные частицы, переходящие из одной области захвата в другую и вносящие вклад в околоземную радиацию.

ТРЕХМЕРНАЯ ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКОЛОЗЕМНОЙ МАГНИТОПАУЗЫ, ЗАВИСЯЩАЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, НАПРАВЛЕНИЯ И ВЕЛИЧИНЫ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

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

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, verigin@iki.rssi.ru

В настоящее время практически общепринятым является использование динамического давления солнечного ветра ρV^2 и B_z компоненты межпланетного магнитного поля для эмпирического описания положения и формы геомагнитопаузы. Особенностью доклада является не использование для моделирования динамического, магнитного и теплового давлений солнечного ветра, а давлений магнитного поля P_{mag} и теплового P_{th} в прилегающей к магнитопаузе части магнитослоя. Эти давления оцениваются по результатам трехмерных МГД расчетов и аналитических решений для МГД течения за отошедшей ударной волной в лагранжевых переменных. Изменение формы магнитопаузы из-за B_z компоненты приводит к изменению так называемого «коэффициента удвоения» f_d, величину которого можно аналитически получить используя эллипсоидальноую модель магнитосферного поля Цыганенко. Включение всех вышеупомянутых эффектов в представляемую аналитическую модель приводит к хорошему описанию «быстрого» подхода магнитопаузы к Земле с увеличением южной компоненты ММП и к ее «застойному» поведению с увеличением северной компоненты межпланетного магнитного поля.

Работа выполнена при частичной поддержке программы П28 ПРАН.

ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРЫ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО СОЛНЕЧНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ 20.01.2005

Н.А.Власова[1], В.В.Калегаев[1], И.С.Назарков[1], С.А.Мелкова[2], В.И.Галкин[1]

1 НИИЯФ МГУ, 2 Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия, nav19iv@gmail.com

Представлены результаты исследования эффектов проникновения солнечных энергичных (E>16 МэВ) протонов в магнитосферу Земли 20.01.2005. Выполнен сравнительный анализ экспериментальных данных о потоках солнечных протонов в межпланетной среде (данные КА ACE), на полярной (ИСЗ POES) и на геостационарной (ИСЗ GOES) орбитах. На фазе роста потока солнечных протонов, когда поток наиболее анизотропен, получено экспериментальное доказательство проникновения протонов в две локализованные по широте области: на замкнутые и на открытые геомагнитные силовые линии (рис. 1). Во время наблюдаемого эффекта частичного и локального проникновения СКЛ в высокоширотные области магнитосферы межпланетное магнитное поле имело северную ориентацию в условиях низкого давления солнечного ветра. Предполагается, что солнечные протоны проникли в магнитосферу двумя путями: диффузионным путем через ближнюю экваториальную магнитопаузу [1] и по открытым силовым линиям через окно на магнитопаузе. Выполненные расчеты в рамках модели магнитосферы A2000 [2] и сравнение с данными SuperDARN подтверждают существование связи между высокоширотными областями проникновения солнечных протонов и областью на магнитопаузе, где силовые линии геомагнитного поля пересоединяются с линиями межпланетного магнитного поля при северной ориентации межпланетного магнитного поля. Экспериментально обнаруженная структура областей проникновения отражает установившуюся структуру силовых линий межпланетного и магнитосферного магнитных полей и может служить для диагностики крупномасштабной структуры магнитосферных токов.

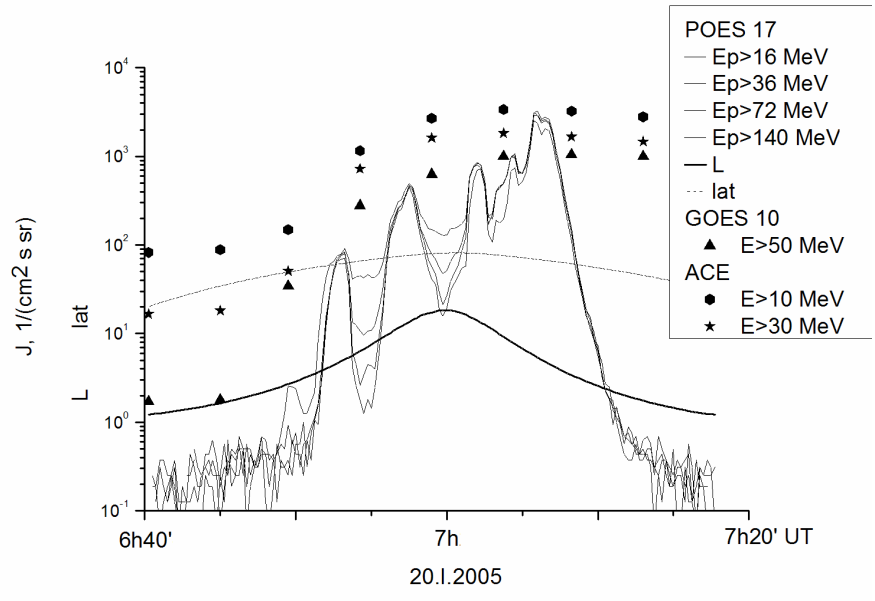


Рис. 1 Временные профили потоков солнечных протонов, измеренные на солнечно-синхронном спутнике POES 17, на геостационарном спутнике GOES 10 и космическом аппарате ACE, 20.I.2005. Приведены L-параметр и широта спутника POES17.

1. Власова Н.А., Павлов Н.Н., Панасюк М.И., Веденькин Н.Н., Иванова Т.А., Любимов Г.П., Рейзман С.Я., Тулупов В.И. Некоторые особенности проникновения солнечных космических лучей в магнитосферу земли // Космические исследования. 2011. Т. 49. № 6. С. 500–515.

2. Alexeev I.I., Kalegaev V.V., Belenkaya E.S. et al. The Model Description of Magnetospheric Magnetic Field in the Course of Magnetic Storm on January 9–12, 1997 // J.Geophys. Res. 2001. V. 106. № A11. P. 25683–25694.

СТРУКТУРЫ «КОСЫХ» АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ ХОЛОДНОЙ МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

М.А. Волков

Мурманский государственный технический университет, г.Мурманск, Россия, volkovma@mstu.edu.ru

В работе рассматривается распространение косых альвеновских волн между сопряженными ионосферами северного и южного полушарий в холодной неоднородной плазме. Для случая одномерной неоднородности поперек магнитных силовых линий, в работе задавалась параболическая модель неоднородности, получено аналитическое решение для собственных косых альвеновских волн в таком магнитосферно-ионосферном резонаторе. Поперечная магнитному полю структура волн описывается полиномами Эрмита. Поперечный масштаб на ионосферном уровне определяется выражением $(L_A\lambda_e)^{1/2}$, где L_A-масштаб магнитосферной неоднородности, авроральной полости, λ_e-инерционная длина волны электрона. На ионосферном уровне размеры неоднородностей ~ 10 км. Полученные решения сопоставляются с результатами наблюдений пульсирующих авроральных сияний.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ВОЗМУЩЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ РАДИАЛЬНЫМИ ГРАДИЕНТАМИ ДАВЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ

В.В. Вовченко[1], Е.Е. Антонова[2,1]

[1]*Институт Космических Исследований РАН*

[2]*НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова*

Определение вклада кольцевого тока в формирование Dst/SYM-H вариации требует анализа радиального и азимутального распределения давления внутри магнитосферы с учетом искажения поля диполя внешними токовыми системами и самим кольцевым током. Учет последнего эффекта требует проведения нелинейных расчетов методом последовательных итераций. Важным моментом, при этом, является учет в соответствии с работой [Dessler and Parker, 1959, doi:10.1029/JZ064i012p02239] диамагнитных токов внутри Земли. Пренебрежение данным эффектом приводило к предположению о значительном вкладе токов хвоста в Dst/SYM-H вариацию. Проведены расчеты возмущения поля диполя фиксированным профилем давления для ряда магнитных бурь, при которых измерялся радиальный профиль давления, включая измерения на спутниках проекта RBSP/Van Allen. Показано, что с учетом диамагнитного эффекта кольцевой ток вносит доминирующий вклад в формирование Dst/SYM-H вариации.

Трехмерное моделирование ассиметричного пересоединения на магнитопаузе методом «частиц-в-ячейке».

Зайцев И. В., Дивин А. В., Семенов В. С.

СПбГУ, г. Петергоф, Россия, ioannzaicev@gmail.com

К настоящему времени спутниками "MMS" накоплен большой объем данных пересечений областей магнитного пересоединения на магнитопаузе. Для более полного понимания трехмерной структуры, восстановления траектории движения аппаратов через окрестности пересоединения, а также разделения пространственных и временных вариаций процесса, важным является использование двух- и трехмерных моделирований процесса с высоким разрешением. В данной работе исследуется асимметричное магнитное пересоединение методом Particle-in-Cell (PIC, Частица-в-ячейке). Начальные условия для численного моделирования взяты из работы [Khotyaintsev, 2016], в которой изучено пересечение ионной диффузионной области спутниками MMS 6 декабря 2015, 23:38:30 UT. Трехмерное численное моделирование позволяет проследить траектории отдельных ионов и электронов. В моделировании частицы из магнитного слоя за ударной волной и магнитосферы (обладающие достаточно разными параметрами) маркируются для изучения смешивания разных популяций в диффузионной области и определения структуры функций распределения. Обнаружено, что пучок ускоренных электронов, поступающих из магнитошиса, разворачивается на ~180 градусов в диффузионной области и далее выбрасывается вдоль магнитных сепаратрис, образуя характерный пик в функции распределения. Получающиеся функции распределения электронов неустойчивы по отношению к электронной пучковой моде, что проявляется в формировании интенсивных электростатических пульсаций вблизи X-линии и появлению распределений типа "flat-top". Функции распределения электронов, полученные в численном моделировании, находятся в хорошем соответствии с данными спутников MMS, полученными в данном событии.

АНАЛИЗ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ LLBL НА ДАЛЬНЕМ ФЛАНГЕ МАГНИТОСФЕРЫ И МАГНИТОСФЕРНЫЕ ТОКОВЫЕ СИСТЕМЫ

С.С.Знаткова[1], Е.Е. Антонова[1,2], И.П.Кирпичев[2], М.С.Пулинец[1]

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

Исследование пересечений магнитопаузы на дальнем фланге магнитосферы имеет принципиальное значение для определения конфигурации токовых систем в магнитосфере в условиях магнитостатического равновесия [Antonova et al., 2017, JATP, doi:10.1016/ j.jastp.2017.10.013], так как давление плазмы постоянно вдоль линии тока и известно распределение давления внутри магнитосферы в экваториальной плоскости. Исследуется пересечения магнитопаузы спутниками THEMIS весной 2008 года, когда спутник пересекал магнитопаузу на флангах при больших отрицательных Xgsm (от -10 R_E до -20 R_E). Анализируются параметры плазмы и магнитного поля по данным приборов ESA и MGF. Производится анализ баланса давлений при пересечении магнитопаузы по отобранным событиям. При расчете полного давления учитываются динамическое давление солнечного ветра, тепловое давление плазмы и магнитное давление. Определены величины давлений плазмы под магнитопаузой для рассмотренных событий. Обсуждается применимость полученных результаты для определения положения границы между током хвоста и кольцевым током.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-05-00362.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВЫСЫПАНИЙ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В СТРАТОСФЕРЕ

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

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

Измерения высыпаний субрелятивистских и релятивистских магнитосферных электронов проводятся в ФИАН в рамках эксперимента по изучению космических лучей в атмосфере Земли в течение более 60 лет. Высыпания высокоэнергичных электронов наблюдаются в Мурманской области (параметр МакИлвайна L=5.5) и регистрируются в стратосфере благодаря генерируемому электронами рентгеновскому тормозному излучению, проникающему на высоты ~20 км и ниже. Установлена высокая корреляция частоты высыпаний со скоростью солнечного ветра и наполненностью релятивистскими электронами внешнего радиационного пояса Земли. Основная часть регистрируемых высыпаний происходит во время прихода на Землю высокоскоростных потоков солнечного ветра на фоне отрицательного значения *Bz* составляющей межпланетного магнитного поля. В эти периоды в магнитосфере наблюдается усиление электромагнитной волновой активности, которая, с одной стороны, способствует ускорению электронов, а с другой стороны приводит к нарушению адиабатического движения электронов и их высыпанию в атмосферу Земли. Связь частоты высыпаний электронов с параметрами солнечной активности и потоками электронов в радиационном поясе неоднозначна из-за сложности процессов в магнитосфере, которые изучены недостаточно. В частности, максимумы частоты высыпаний электронов наблюдались в 1968, 1974, 1984, 1994 и 2003 гг. одновременно с максимумами среднегодовых значений скорости солнечного ветра. Наблюдается отчетливая тенденция роста пиковых значений частоты высыпаний электронов, которые с1968 г. по 2003 г. увеличились в несколько раз. В то же время пиковые значения скорости солнечного ветра менялись не более, чем на 12%, причем не регулярно. Текущий, 24-й солнечный цикл демонстрирует ослабление активности во всех параметрах, включая индексы геомагнитной возмущенности. Однако потоки релятивистских электронов во внешнем поясе достигли в 2017 г. значений, сравнимых с циклом 23. Частота высыпаний высокоэнергичных электронов ведет себя аналогично. В работе анализируются возможные причины долговременных изменений частоты случаев высыпаний электронов, наблюдаемых в атмосфере Земли.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проекты 16-02-00100, 17-02-00584, 18-02-00582.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Кочетов И. А.

Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия, kochetov.iljja@physics.msu.ru

Данная работа посвящена моделированию токового слоя в магнитосферном хвосте Земли. Из-за того, что солнечный ветер обтекает собственное магнитное поле Земли, на ночной стороне (в направлении от Земли) образуется вытянутый хвост магнитосферы. Следы этой структуры с токовым слоем и противоположно направленными магнитными полями обнаруживаются на расстояниях порядка шестидесяти земных радиусов. В поперечном сечении плазменный слой имеет в центре меньшую толщину, чем по краям. Интерес представляют области, расположенные в областях с уширением, граничащих с магнитопаузой.

Непосредственной целью данной работы является моделирование плазмоида, который образуется в начале магнитосферного хвоста (на расстояниях от 5 до 10 земных радиусов). Моделирование траекторий частиц показывает, что они скапливаются в данной области и образуют плазмоид. В перспективе планируется визуализировать следующие явления: во время магнитных бур и суббурь магнитосферный хвост утончается, а плазмоид может оторваться и начать дрейфовать в направлении от Земли.

УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ МАГНИТНУЮ ДИПОЛЯРИЗАЦИЮ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Жукова Е.И Х. В. Малова, Е. Е. Григоренко, В.Ю. Попов, А. А. Петрукович, Д. Делькур, Е. А. Кронберг, П. Дали, Л. М. Зеленый

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

Работа посвящена исследованию процессов ускорения частиц плазмы в тонких токовых слоях, которые образуются во время магнитосферных суббурь в хвосте магнитосферы Земли. Построена и исследована численная модель магнитной диполизации, которая включает три временных шкалы: (1) фактическую диполяризацию, когда нормальное магнитное поле изменяется в течение нескольких минут от минимального до максимального уровня; (2) резкие всплески (импульсы), интерпретируемые как прохождение нескольких фронтов диполяризации с характерными временными масштабами <1 мин и (3) всплески электрических и магнитных флуктуаций с частотами вплоть до электронной гирочастоты, возникающие на временных масштабах (≤ 1 с).Модель позволяет изучать вклады в ускорение частиц в результате действия указанных выше процессов (1) - (3). Показано, что данные процессы носят резонансный характер на разных временных масштабах. Для заданных начальных каппа-распределений по скоростям получены энергетические спектры ускорен ных частиц трех сортов: протонов p +, ионов кислорода O+ и электронов e –. Показано, что ионы O + наиболее эффективно ускоряются в результате действия механизма (1), ионы H + (и в некоторой степени электроны) эффективно ускоряются в результате второго механизма. Также обнаружено, что высокочастотные электрические и магнитные флуктуации, сопровождающие магнитную диполяризацию, как и в (3), эффективно ускоряют электроны.

Влияние скорости и плотности рекуррентных потоков солнечного ветра и индексов геомагнитной активности (Kp и Dst индексов) на формирование структуры потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли на геостационарной орбите.

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

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

Структура потоков электронов ВРПЗ формируется под влиянием целого ряда конкурирующих процессов ускорения и потерь частиц, которые возникают внутри магнитосферы и на ее границах при воздействии солнечного ветра (СВ). Целью нашей работы является анализ и получение количественных оценок влияния скорости и плотности солнечного ветра (СВ) и индексов геомагнитной активности (Kp и Dst индексов) на формирование основных составляющих структуры энергетических спектров потоков электронов ВРПЗ: электронов источника (энергия < 50 кэВ), зародышевых электронов (энергия 150-500 кэВ) и релятивистских электронов. Такое деление достаточно условно и определяется типами основных физических механизмов, ответственных за формирование данной группы частиц. В работе рассматриваются 29 возрастаний потоков электронов ВРПЗ, сформированных в 2007 г. при воздействии отдельных высокоскоростных рекуррентных потоков СВ, использованы данные спутника LANL-GEO, база данных OMNI для параметров солнечного ветра и база данных данные по геомагнитной активности (Kp и Dst индексы) с сайта [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html]. Для энергий электронов 31.7 кэВ , 270 кэВ и 925 кэВ исследуется зависимость потоков электронов раздельно от скорости, плотности СВ, от величин Kp и Dst индексов и от комбинации этих параметров. Экспериментальные данные были распределены по 12 выделенным группам : 3 группы для величин плотности СВ 4-6 $см^{-3}$, 6-12 $см^{-3}$ и 13-21 $см^{-3}$; 3 группы для величин скорости СВ 400-535 км/с, 535-602 км/с и 602-668 км/с; 3 группы для значений Kp-индекса; 3 группы для величин Kp индекса, Kp=15-20, Kp=21-25 и Kp=26-30; 3 группы для значений Dst индекса, Dst=|3-12|, Dst= |14-20| и Dst=|24-32|. Для каждой выделенной для данного параметра группы были построены графики вариаций потоков электронов от других параметров и для каждой пары параметров проводились сравнения динамики потоков электронов от одного из параметров при постоянной величине другого. Например, для выделения влияния скорости и Kp индекса на формирование потоков электронов (энергии 31.7, 270 кэВ и 925 кэВ) были построены шесть графиков и проведено сравнение вариаций потоков электронов при изменении величины Kp индекса (диапазон 15-30 единиц) для трех групп скорости СВ (400-535 км/с, 535-602 км/с и 602-668 км/с) и вариаций потоков электронов при изменении скорости СВ (диапазон 400-700 км/с) для трех групп величины Kp индекса (Kp=15-20, Kp=21-25 и Kp=26-30). При использовании этого метода анализа данных были получены количественные оценки влияние отдельных параметров на формирование структуры потоков электронов ВРПЗ: скорости и плотности СВ, Kp и Dst индексов.

Отметим некоторые новые результаты. 1. Для релятивистских электронов увеличение Kp индекса от 15 до 28 единиц для постоянной скорости СВ ~ 550 км/с приводит к увеличению ~ на 50% потока частиц, но при увеличение скорости СВ до ~660 км/с эффект снижается в два раза ~до 25%. Увеличение Kp индекса от 15 до 28 единиц при постоянной плотности СВ ~ 7 $см^{-3}$ приводит к увеличению ~ на 60% потока релятивистских электронов, увеличение плотности в два раза ~ до 14 $см^{-3}$ в два раза увеличивает эффект. Увеличение плотности СВ от 6 до 20 $см^{-3}$ при постоянной величине Kp индекса приводит к уменьшению потока электронов ~ на 50% для Kp=20, но увеличение Kp индекса уменьшает влияние плотности, и эффект снижается до 12%.

2. Потоки ″зародышевых″ электронов (270 кэВ ~ средняя энергия этой группы электронов) не зависят от скорости и плотности СВ и не зависят и от значений Kp и Dst индексов.

3. Для потоков электронов 31.7 кэВ оценки влияния скорости, плотности СВ и Kp и Dst индексов показывают близкое подобие (функциональное. но не численное) результатам, полученным для потоков релятивистских электронов.

Полученные результаты рассматриваются в рамках трехэтапной модели формирования потоков электронов ВРПЗ (электроны источника — зародышевые электроны —релятивистские электроны).

РАДИАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТОКА В ЭКВАТОРИАЛЬНОМ ДИСКЕ ЮПИТЕРА, ПОЛУЧЕННЫЙ ПО ДАННЫМ УЛИСС, И РЕЗУЛЬТАТЫ ДЖУНО

Алексеев И.И., Беленькая Е. С., Калегаев В.В ., Бобровников С.Ю., Пенсионеров И.А., Лаврухин А.С., Парунакян Д.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, iialexeev@mail.ru

К настоящему моменту, после нескольких оборотов вокруг Юпитера, научная аппаратура на борту КА Juno передала на Землю большой объем информации о структуре магнитосферы, о динамике полярных сияний, о потоках авроральных электронов и ионов в высоких широтах Юпитера [1, 2]. Это позволяет критически переосмыслить параметры модели магнитосферы Юпитера, построенной нами в 2005 году [3]. Прежде всего речь идет о структуре экваториального плазменного диска, определяющего размер магнитосферы. Траектория КА Juno при переходе на орбиту спутника дает разрез магнитосферы в направлении утро-вечер. Комбинирую эти данные с результатами КА Ulysses, в 1992 году, совершившего гравитационный маневр в поле тяготения Юпитера для выхода из плоскости эклиптики, можно получить более полную информацию о структуре диска. Многократные пересечения диска были зафиксированы во время многолетней работы КА Galileo. Все вместе позволяет сформулировать следующие из наблюдений за и против модели «пращи». Эта модель описывает формирование плазменного экваториального диска как свободный разлет плазмы по касательной уходящей с силовой линии, пересекающей альвеновский радиус, за которым магнитное поле уже не может удержать плазму Ио в режиме «твердотельного» вращения вместе с Юпитером.

Работа поддержана грантом Минобрнауки RFMEFI61617X0084 от 17 июля 2017 г.

1. Connerney et al., Science, 2017, 356, 826–832.
2. Mauk et al., Geophys. Res. Lett., 2017, 44, 4410–4418.
3. Alexeev and Belenkaya, Annales Geophysicae, 2005, том 23, с. 809-826.

ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ

Андреева В. А., **Цыганенко Н. А.**

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

Разработана эмпирическая модель магнитного поля в окрестности геосинхронной орбиты, основанная на методе радиальных базисных функций, недавно примененном к восстановлению магнитосферных конфигураций [1, 2] и многолетней базе спутниковых наблюдений THEMIS, Polar, Cluster и Van Allen Probes, включающей в себя 133 геомагнитные бури в период с 1996 по 2016 гг. Модельное поле представлено функцией солнечно-магнитных (SM) декартовых координат, угла наклона диполя, давления солнечного ветра и двух динамических переменных [3], описывающих магнитосферный отклик на поступление внешней энергии во время активной фазы бури и последующую ее диссипацию во время фазы восстановления.

Модель применима для умеренных бурь с пиковыми значениями Sym-H индекса до -150 нТл. Область моделирования была выбрана в виде тороидального объема, ограниченного дипольными оболочками с L=5 и L=9, что позволяет использовать модель как инструмент для проецирования положения геостационарных спутников в ионосферу. Проведена валидациия модели на независимом наборе данных, статистическое сравнение ее предсказаний с моделью TS05 [3], а также – с измерениями во время отдельных пролетов спутника GOES 15.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 17-05-00415.

1. Andreeva, V. A., Tsyganenko, N. A. // JGR-A 2016. V. **121.** P. 2249.
2. Tsyganenko, N. A., Andreeva, V. A. // JGR-A 2016. V. **121.** P. 10,786.
3. Tsyganenko, N. A., Sitnov, M. I. // JGR-A 2005. V. **110**. A03208.

ПРИМЕНИМОСТЬ УСЛОВИЯ ВМОРОЖЕННОСТИ И МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Е.Е. Антонова[1,2], И.П. Кирпичев[2], И.Л. Овчинников[1], В.В. Вовченко[2], Н.В. Сотников [1], В. Г. Воробьев[3], О.И. Ягодкина[3], М.С. Пулинец[1], С.С. Знаткова[1], М.В. Степанова[4]

[1]*НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова*

[2]*Институт Космических Исследований РАН*

[3]*Полярный Геофизический институт*

[4]*University of Santiago de Chile*

Проведен анализ применимости условий вмороженности и магнитостатического равновесия к описанию процессов в магнитослое и магнитосфере Земли с использованием данных спутниковых наблюдений, включая последние данные миссии MMS. Обращено внимание на то, что как условие вмороженноси, так и условие магнитостатического равновесия применяются в рамках магнитогидродинамического подхода к описанию процессов в бесстолкновительной магнитосферной плазме, что предполагает их эффективное использование только для описания сравнительно крупномасштабных процессов и требует экспериментальной проверки их справедливости.

Проверка условия магнитостатического равновесия требует анализ данных наблюдений потоков частиц в широком диапазоне энергий и магнитного поля. Суммированы результаты наблюдений, демонстрирующих баланс давлений на магнитопаузе, в хвосте магнитосферы Земли и внутри магнитосферы во время магнитных бурь. Баланс давлений плазмы и магнитного поля осуществляется, когда скорость крупномасштабного (усредненного) движения плазмы мала по сравнению со звуковой и альвеновской. Показано, что экспериментально регистрируемый баланс давлений дает основание для решения проблемы проецирования плазменных доменов с экваториальной плоскости на малые высоты и определения конфигурации магнитосферных токовых систем.

В отличии от условия магнитостатического равновесие, проверка применимости условия вмороженности требует наблюдения электрических полей и определения скорости движения плазмы, что, как правило, сопряжено с большими сложностями. Проанализированы данные наблюдений, демонстрирующие нарушение условия вмороженности вне областей, которые обычно идентифицируются как области «пересоединения» магнитного поля. Обращено внимание на то, что квазистационарные плазменные конфигурации не могут быть описаны в предположении о соблюдении условия вмороженности.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-05-00362.

ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ АО ВРЕМЯ МОЩНЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ 2015 Г. ПО ДАННЫМ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ И ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

Береснева[1] Е.А. Калегаев[1] В.В , Власова[1] Н.А Назарков[1] И.С. Prost[2] osc er[3] Sicard-Piet[3] Maget[3]

1 НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, 2 ISAE-SUPAERO, Toulouse, France, 3 ONERA, Toulouse
jeresneva@gmail.com

Выполнен анализ динамики потоков релятивистских электронов в диапазоне энергий 1.8÷6.3 МэВ во время двух геомагнитных бурь 17-18.III.2015 и 22-23.VI.2015 с близкой амплитудой Dst-вариации (~200 нТл). Бури обладали похожими профилями Dst, но происходили при разных условиях в межпланетном пространстве. Главная фаза бури 17-18.III.2015 происходила при отрицательной Bz-компоненте ММП, в то время как 22-23.VI.2015 в течение около 10 часов межпланетное магнитное поле было направлено к северу. Вариации магнитосферного магнитного поля на главной фазе бури 22-23.VI.2015 были связаны с экстремально-сильным воздействием импульса давления солнечного ветра.

Разная динамика магнитного поля обусловила и различия в поведении заряженных частиц в магнитосфере. Комплексный анализ данных измерений потоков электронов в приэкваториальной области магнитосферы на высотах до ~30000 км (КА Van Allen Probes), на геостационарной орбите (ИСЗ GOES) и на полярной солнечно-синхронной орбите (ИСЗ POES и Метеор) позволили обнаружить особенности динамики потоков частиц внешнего радиационного пояса под воздействием меняющихся условий в межпланетной среде.

В ходе обеих бурь наблюдается энергетическая зависимость положения максимумов потоков частиц, как до, так и после бури. В то время как потери электронов начинаются с момента SSC, главным образом, в низкоэнергичной части спектра, возрастание потоков электронов более низких может начинаться уже на главной фазе бури, когда продолжается понижение потоков частиц МэВ-ных энергий. Таким образом, конкурирующие процессы потерь и инжекции релятивистских электронов происходят одновременно.

Вертикальные детекторы ИСЗ POES и Метеор не зарегистрировали значительных потоков высыпающихся электронов, за исключением момента SSC, что свидетельствует о преобладании адиабатических механизмов развития внешнего радиационного пояса. Скорость падения и нарастания потока релятивистских электронов контролируется параметрами межпланетной среды, в частности, направлением и величиной Bz-компонента межпланетного магнитного поля и величиной скорости солнечного ветра.

ДОЛГОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Чугунин Д.В., Котова Г.А., Клименко М.В., Клименко В.В.

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

На данный момент существует целый ряд моделей плазмосферы. Часть из них основывается только на эмпирических зависимостях, полученных на основе измерений на спутниках и исследований распространения вистлеров, другая часть использует теоретическое моделирование. Однако, большинство моделей учитывают только зависимость наполнения магнитной силовой трубки плазмосферы от параметров MLT и L. В тоже время моделирование и зондирование ионосферы показывают, что должна существовать зависимость истечения плазмы из ионосферы в магнитосферу от долготы. В данной работе продолжается исследование на основе измерений на спутниках Интербол 1 и 2 зависимости наполнения плазмосферы от географических координат. Приводится сравнение полученной зависимости для различных сезонов с расчетами по модели GSM TIP.

СНИЖЕНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ПОРОГОВ ВО ВРЕМЯ СИЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ В ИЮНЕ 2015 Г.

Данилова[1] О.А., Тясто[1] М.И., Вернова[1] Е.С., Сдобнов[2] В.Е

[1] Санкт-Петербургский Филиал ИЗМИРАН, md1555@mail.ru
[2] Институт Солнечно-земной физики СОРАН.

Как известно, космические лучи являются одним из важных факторов, определяющих космическую погоду, и их жесткости обрезания 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 июне 2015 г. Эта буря имела сложный характер и характеризуется скоростью солнечного ветра более 700 км/с в минимуме Dst = -204 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.

СУПЕРСУББУРИ И УСЛОВИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

И.В. Дэспирак[1], А.А. Любчич[1] Н.Г. Клейменова[2]

[1] *Полярный геофизический институт (ПГИ) г. Апатиты, Мурманская область, Россия, despirak@gmail.com*

[2] *Институт Физики Земли (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия*

На основе данных сети магнитных станций SuperMAG и IMAGE, базы данных OMNI по солнечному ветру и каталога крупномасштабных явлений солнечного ветра (ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/) проведен сравнительный анализ условий космической погоды для появления суперсуббурь (SSS). События SSS, так называемые суперсуббури, представляют собой особенно интенсивные суббури (индекс SML <- 2500 нТл (он подобен индексу AL, но с большим долготным и широтным покрытием) и индекс AE <-2500 нТл). Мы провели сравнительный анализ между условиями в солнечном ветре и появлением суперсуббурь. Были проанализированы случаи наблюдения суперсуббурь в 2010-2016 годах на меридиональной цепочке (TAR-NAL) станций IMAGE и в 1998-2005 годах на станциях SuperMAG. Всего было зарегистрировано 72 случая по системе SuperMAG и 5 случаев по сети станций IMAGE. Было показано, что суперсуббури, в основном, наблюдаются во время магнитных облаков солнечного ветра (MC, 51.9%), и во время областей сжатой плазмы перед магнитными облаками или EJECTA (так называемая Sheath область, 40.5%). Рассмотренные суперсуббури продемонстрировали пространственно-временную динамику подобную «расширенным» суббурям, то есть пространственно-временное распространение возмущения от авроральных до высоких геомагнитных широт, при этом поведение суперсуббури не отличалось от «классической» суббури (без высокоширотной экспансии). Мы полагаем, что наиболее вероятным источником появления суперсуббурь может быть повышение скорости солнечного ветра, магнитуды магнитного поля и динамического давления при южном направлении межпланетного магнитного поля.

АНАЛИЗ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА РАЗНЫХ ТИПОВ И ИНДЕКСАМИ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ЗА 1995-2016 ГГ.

Л.А. Дремухина[1], И.Г. Лодкина[2], Ю.И. Ермолаев[2]

[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, (Троицк), dremukh@izmiran.ru*
[2]*ИКИ РАН, г. Москва*

В работе анализируются корреляционные связи между планетарными индексами геомагнитной активности *Dst*, *Kp* и *Ap* и значениями функций связи (ФС), рассчитанными с использованием измерений солнечного ветра (СВ) в четырех типах солнечного ветра: 1) областях сжатия, образующихся в результате взаимодействия высокоскоростных потоков СВ из корональных дыр с медленными потоками из пояса стримеров «Corotating Interaction Regions» (CIR); 2) магнитных облаках, или областях с низкой температурой и высоким межпланетным магнитным полем (ММП) «Magnetic Clouds» (MC); 3) областях «Ejecta», подобных MC, но с менее организованной структурой межпланетного магнитного поля (ММП); 4) областях сжатия «Sheath», предшествующих быстрым MC и Ejecta. Для анализа используются данные из каталога идентифицированных типов СВ, представленного на сайте ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/, за период 1995-2016 гг., охватывающий полный 23-й и большую часть 24-го циклов солнечной активности. В рассматриваемый период идентифицировано 744 CIR-события, 118 MC, 501 Sheath и 843 Ejecta. Десять функций связи (ФС), представленных в мировой научной литературе, рассчитываются на базе 1-часовых параметров СВ и ММП из набора данных OMNI (http://omniweb.gsfc.nasa.gov), на котором также представлены и значения индексов *Dst*, *Kp* и *Ap*. Анализ показал, что результаты не зависят от интервала используемых в расчете данных и имеют практически одинаковые значения для интервалов 23-го и 24-го циклов СА. Полученные в результате анализа коэффициенты корреляции имеют достаточно высокие значения (от 0.3 до 0.82), разные для различных индексов. Самые высокие значения (от 0.40 до 0.82 в зависимости от ФС) получены для индекса *Ap*, в то время как для индекса *Dst* они имеют самые низкие значения (от 0.30 до 0.67). В качестве меры эффективности воздействия на магнитосферу той или иной ФС принимаются коэффициенты линейной связи между значениями индексов и ФС. Анализ показал, что соотношения эффективностей для разных типов СВ варьируют в зависимости от вида ФС.

Работа поддержана Российским Научным Фондом, проект № 16-12-10062.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА РАЗНЫХ ТИПОВ НА ГЕНЕРАЦИЮ МАГНИТНЫХ БУРЬ В ПЕРИОД 1995-2016 ГГ.

Л.А. Дремухина[1], И.Г. Лодкина[2], Ю.И. Ермолаев[2]

[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, (Троицк),* dremukh@izmiran.ru
[2]*ИКИ РАН, г. Москва*

В недавних работах [1,2] по данным базы OMNI для 1976-2000 гг. было показано, что эффективность генерации магнитных бурь зависит от типа солнечного ветра (СВ), и для функции связи (ФС), предложенной в работе Бартона и др. [3], она выше в областях сжатия (CIR и Sheath), чем в ICME (Magnetic Clouds (MC) и Ejecta). Для других ФС, описанных в литературе, соотношения эффективностей для разных типов драйверов могут различаться, хотя наблюдается тенденция, близкая к поведению для ФС Бартона и др., как это показано в работе [2]. Поскольку для большинства ФС наблюдалась слабая корреляция между параметрами СВ и *Dst* индексом, в настоящей работе был выбран интервал 1995-2016 гг. с более полным набором необходимых для расчета параметров и более высокой статистикой случаев, и проведен повторный анализ. Проведенный на базе новых данных анализ подтвердил соотношения эффективностей для разных типов драйверов для ФС Бартона и др., для которой получен достаточно высокий коэффициент корреляции ($r > 0.6$). Для других ФС коэффициент корреляции остался небольшим ($r < 0.6$) несмотря на переход на новый набор данных, и для них получены соотношения эффективностей, как совпадающие, так и отличающиеся от результатов работы [2]. Полученный результат может быть связан, с одной стороны, с недостаточной статистикой событий в используемом наборе данных, а с другой стороны, с недостаточной точностью некоторых модельных ФС, используемых для описания процесса генерации магнитных бурь.

Работа поддержана Российским Научным Фондом, проект № 16-12-10062.

1. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. // Космич. исслед. 2015. Т. 53. № 2. С. 126-135.
2. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. // Геомагнетизм и аэрономия, 2017, Т. 57, № 5, с. 555-561
3. Burton R.K., McPherron R.L., Russell C.T. // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. P. 4204–4214.

ДНЕВНЫЕ ПОЛЯРНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В НАЧАЛЬНУЮ ФАЗУ БОЛЬШОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ 7-8 СЕНТЯБРЯ 2017 Г.

Громова Л.И., Клейменова Н.Г., Громов С В

ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия, gromova@izmiran.ru

В конце спада 24 цикла солнечной активности 7-8 сентября 2017 была зарегистрирована большая магнитная буря, характеризующаяся необычно длинной, почти 23 часа, начальной фазой (некоторые источники классифицируют этот период как малую магнитную бурю – G0). Приход к магнитосфере Земли первой ударной волны (SI 6 сентября, 23.04 UT) не привел к быстрому развитию магнитной бури, поскольку после него Bz ММП значительное время оставалась положительной, но в дневном секторе на геомагнитных широтах выше 70° наблюдались магнитные возмущения. Похожая ситуация наблюдалась и в начальной фазе большой магнитной бури 21-22 июня 2015 года [1]. Рассмотрены особенности дневных полярных возмущений, наблюдаемых на скандинавском профиле магнитометров IMAGE в 06–12 UT 7 сентября в условиях быстро и резко меняющегося ММП. Показано, что в зависимости от условий в ММП на земной поверхности в дневном секторе высоких широт наблюдались магнитные возмущения с различными морфологическими характеристиками. Так, в 06-08 UT при большом динамическом давлении солнечного ветра (Psw ~ 8 нПа) быстрые (~20-30 мин) знакопеременные изменения Bz и By компонент ММП привели к интенсивным дневным квазипериодическим геомагнитным вариациям с амплитудой ~ 400 нТл, наблюдаемым вблизи полярной границы аврорального овала при слабой геомагнитной активности в ночном секторе. С уменьшением динамического давления солнечного ветра и при стабилизации условий в ММП полярная граница овала сместилась к более высоким широтам. В этой области широт к 08-11 UT сложились условия для формирования полярного электроджета в дневном секторе, связанного с развитием достаточно интенсивных ночных суббурь (AE ~1000 нТл). На земной поверхности в полярных широтах дневного сектора наблюдалась отрицательная магнитная бухта с амплитудой ~350-400 нТл. Таким образом, различный характер высокоширотных дневных геомагнитных возмущений, наблюдаемых перед началом главной фазы магнитной бури 7-8 сентября 2017 г., являлся результатом особенностей структуры ММП в соответствующий интервал времени.

1. Громова. Л. И., Н. Г. Клейменова, А. Е. Левитин, С. В. Громов, Л. А. Дремухина, Н. Р. Зелинский. // Геомагнетизм и аэрономия. Т.56. №3. С. 302-313. 2016.

Analytical study of X-class flares released during the decline phase of SC24

Ahmed A. Hady
Department of Astronomy, Space and Meteorology, Faculty of Science,
Cairo University, Egypt
Email: aahady@sci.cu.edu.eg

Abstract:

Eruptive X-class flares occurring during the decline phase of the solar cycle 24 are stronger than those of solar cycle 23. We notice that the solar cycle 24 is the weakest in last 100 Years. The last two cycles are very weak compared to other cycles, except for the Dalton Minimum cycles 4, 5, 6 and 7; which means the appearance of a new Dalton minimum during 23, 24, 25 and 26.

During the last 5 solar cycles, a new peak has appeared releasing high energetic particles and X-class solar flares which are called the secondary peak or the double peak of the solar cycle.

The aim of this analytical study is to follow the X-class flares released during the decline phase of SC24, to predict, applying data analysis, when they would be released, and to compare it with other solar cycles.

The causes of the release of such eruptive storms, through the year 2014, during the double peak of the solar cycle 24 were also discussed.

Прогноз космической погоды и прикладные вопросы физики магнитосферы и ионосферы

КОМПАКТНЫЙ АНАЛИЗАТОР ИОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Шестаков А.Ю., Моисеенко Д.А., Журавлев Р.Н., Шувалов С.Д., Вайсберг О.Л., Зимовец И.В.

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

На сегодняшний день известно, что солнечные катастрофические события, такие как солнечные вспышки, межпланетные ударные волны, корональные выбросы массы (КВМ) и солнечные энергетические частицы, оказывают сильное влияние на магнитосферу Земли и могут нанести значительный ущерб сложным технологическим системам, приводить к нарушениям связи, а также оказывать негативное влияние на пассажиров самолетов на высокоширотных полетах и космонавтов. Чтобы избежать или минимизировать ущерб, вызванный такими событиями, необходимо создание распределённой сети датчиков для мониторинга и прогнозирования таких событий. Такая система может включать в себя несколько космических аппаратов, расположенных в точке L1, перед ударной волной и в магнитосфере. Такие аппараты могут быть оснащены комплексом легких миниатюрных приборов, которые позволят проводить постоянный мониторинг плазмы солнечного ветер и регистрировать солнечные катастрофические события. В состав такого комплекса могут войти анализатор ионов, анализатор электронов, детектор энергетических частиц и магнитометр.

Данный доклад посвящен моделированию ионного анализатора для такого комплекса. Целевые параметры прибора предусматривают раздельные измерения протонов и альфа-частиц в диапазоне энергий 500-10000 эВ с энергетическим разрешением ΔE / E не хуже 10%. Модель прибора разрабатывается в соответствии с принципами простоты и надежности, чтобы сделать прибор как можно более недорогим и попытаться свести к минимуму его массу и потребление энергии. Одним из элементов прибора является фильтр Вина для выбора заданного интервала скоростей частиц для дальнейшего анализа, а также электростатический анализатор для анализа E/q. Такая комбинация методов позволяет проводить отдельные измерения протонов и альфа-частиц. Текущий успехи в развитии технологии производства постоянных магнитов позволяют уменьшить размер фильтра Вина и его массы. Для детектирования частиц используется вторичный электронный умножитель (ВЭУ).

ВАРИАЦИИ ВРЕМЕНИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ SSC В СВЯЗИ С ВАРИАЦИЯМИ ПОЛЯРНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

[1]Хачикян Г.Я., [2]Софко Дж., [2]Кустов А.В.

1- Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан, galina.khachikyan@gmail.com
2 - Институт космических и атмосферных исследований, Саскачеванский Ун-т, Канада

Немногим более десяти лет назад мы обратили внимание, что время возникновения Storm Sudden Commencement (SSC) организовано в зависимости от сезонов и 22-х летних солнечных циклов [*Геом. и Аэрон.,* 2005, №6, 764-773]. Так, если проанализировать короткие серии SSC (первые десятки событий), то не трудно заметить, что в одних сериях время возникновения SSC смещается к более ранним UT (против хода часовой стрелки), а в других - к более поздним UT (по ходу часовой стрелки). Этот эффект приобретает более геофизический смысл, если ввести в анализ дополнительный параметр - долготу подсолнечного меридиана (ДПМ), соответствующего времени возникновения конкретного SSC. Соединение на глобусе последовательных значений ДПМ (по правилу кратчайшей дуги) наглядно демонстрирует долготный дрейф (прогрессию) ДПМ. При смещении времени SSC к более ранним/поздним часам, в подсолнечную точку перемещаются долготы, с восточной/западной стороны, соответственно. Результат такого анализа приведен на Рис.1.

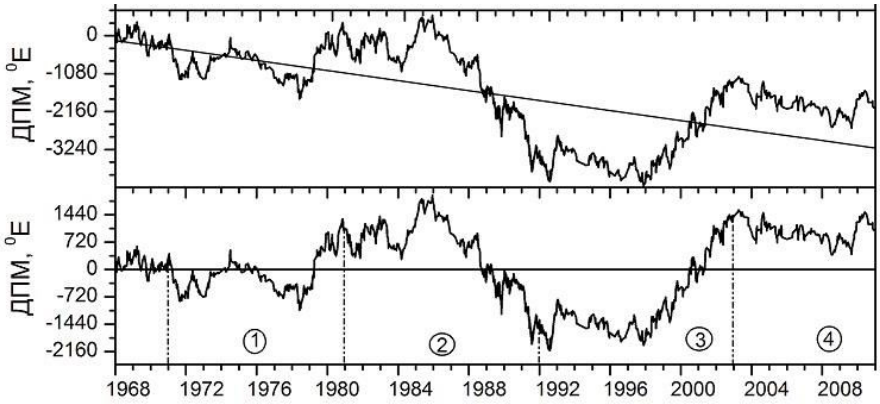


Рис.1. Прогрессия ДПМ для 1276 SSC, зарегистрированных в 1968-2010гг: верхняя панель - исходные данные и западный тренд; нижняя панель - вариации ДПМ после удаления тренда.

Вертикальные штриховые линии и цифры на нижней панели маркируют интервалы с различным типом полярности межпланетного магнитного поля (ММП) в соответствии с работой [*Sabbah I.,* J. Geophys. Res. 2013, doi:10.1002/jgra.50431]. Для интервалов 1, 3 характерна положительная магнитная полярность (qA > 0), когда ММП направлено от Солнца в северном полушарии, и наоборот в южном, а для интервалов 2, 4 - отрицательная полярность (qA < 0), когда ММП направлено от Солнца в южном полушарии и наоборот в северном. Прогрессия на нижней панели показывает, что при qA > 0, ДПМ имеет тенденцию смещаться, в среднем, на восток (время последовательных SSC смещается к более ранним UT), а при qA < 0 - на запад (время последовательных SSC смещается к более поздним UT). Представляется интересным, что аналогичная закономерность имеет место и для 22-х летних вариаций фазы суточной анизотропии космических лучей [*Sabbah,* 2013; *Tezari et al*., 2016, Ann. Geophys., doi:10.5194/angeo-34-1053-2016] - одного из ключевых параметров при прогнозировании космической погоды (времени возникновения SSC). Более того, если проанализировать выделенные предвестники SSC в виде пред-понижения интенсивности космических лучей в некотором узком долготном секторе, то зачастую обнаруживается, что SSC возникает именно тогда, когда этот сектор долгот оказывается в подсолнечной области, что может представлять интерес для прогноза времени SSC и начала геомагнитной бури.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФЛИККЕР-ШУМОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ В ПОТОКЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ГЕОЭФФЕКТИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия, vvborog@mephi.ru

Солнечная активность в виде вспышек, корональных выбросов массы плазмы, протуберанцев, корональных дыр и т.п. приводит к эрупции в межпланетное пространство мощных всплесков релятивистских частиц, сгустков плазмы, электромагнитного и радиоизлучения. Такие возмущения в гелиосфере формируют космическую погоду. Попадая в область околоземного космического пространства они вызывают различные эффекты в магнитосфере и часто приводят к магнитным бурям. Геоэффективность солнечной активности (способность интегрально изменять напряженность магнитного поля Земли) оценивается с помощью различных планетарных индексов D_{st}, A_p, K_p и др. Спокойному состоянию магнитного поля соответствуют значения $K_p \leq 3$ или $A_p \leq 18$ нТ; для слабых возмущений – $K_p \approx 4$ или $A_p \approx 30$ нТ. В многочисленных работах показано, что на орбите Земли такие возмущения появляются через 1–3 суток, в зависимости от скорости плазмы. На протяжении двух десятков лет солнечный ветер (СВ) непрерывно регистрируется гелиостационарной аппаратурой, которая размещена в точке либрации L1, отстоящей от Земли на расстоянии 1.5 млн. км. Данные служат прямым индикатором космической погоды в окрестностях Земли и являются краткосрочным предиктором (менее 1 часа).

Поиск косвенных предикторов в режиме мониторинга также проводится путем анализа временных рядов разных явлений, которые чувствительны к солнечной активности. Много работ посвящено определению предикторов возмущений СВ по вариациям потока релятивистских космических лучей (КЛ), которые проходят расстояние от Солнца до Земли за несколько минут, и значительно опережают распространение возмущений СВ. Как правило для оценки геоэффективных возмущений, использовались только энергичные события с заранее заданными критериями отбора (D_{st} < -50 нТ, или < -100 нТ) или рентгеновские вспышки максимального *X*-класса.

В работе с помощью метода фликкер-шумовой спектроскопии анализируются вариации непрерывного потока мюонов на уровне земли (широта 56°, Москва) в период спокойного Солнца (за 2016-2017 гг.) по величине фактора нестационарности временного ряда [1]. Поток протонов КЛ, пересекая в гелиосфере область возмущенного СВ, приобретает кратковременные не пуассоновские вариации, которые передаются вторичным атмосферным мюонам. Для проверки чувствительности метода, в качестве нижнего порога геоэффективности взято значение $A_p \approx 30$ нТ, что соответствует небольшим возмущениям магнитного поля ($K_p \approx 4$) без привязки к отбору по индексу D_{st}.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 16-05-00997.

1. Борог В.В., Ампилогов Н.В., Дмитриева А.Н., Ковыляева А.А., Осетрова Н.В., Юрин К.О. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2017. Т. **81**. С. 216.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВНУТРЕННЮЮ СРЕДУ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Tsetlin V.V.1, Мойса С.С 1., Телешева Т.Ю. 2, Люзина О.И 2

1. *ФГБУ ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ ИМБП РАН) v_tsetlin@mail.ru.2 ООО "Эколабмедтест"*

Природа солнечно-земных связей интересовала людей издавна. В XX веке в связи с открытием космических лучей исследователи стали особенно пристально рассматривать воду в качестве естественного сенсора воздействий Космоса на Биосферу, поскольку вода, несомненно, является доминирующим веществом внешней и внутренней среды человека и всех живых обитателей Земли. В основу наших исследований [Цетлин, 2009] положено представление последних лет, что в природе отклика живых организмов на внешние факторы окружающей среды лежат окислительно-восстановительные химические реакции, составляющие основу обменных, регуляторных и других процессов в живых организмах. Исследования посвящены изучению безреагентной активации воды, главным образом, усилению химической активности молекул воды под воздействием малых доз, характерных для среды обитания в космических орбитальных станциях ионизирующего излучения (не превышающие 10сГр), и электромагнитного излучения в высокочастотном (ВЧ) диапазоне: от единиц МГц до 300 МГц при планарной мощности 10-7 -10-6 Вт/см2. Получено, что водородный параметр pH чистой воды может снижаться более, чем на единицу после воздействия потоком электромагнитного излучения при мощности мкВт/см2 и частоте 1-10 МГц, т. е. вызывать изменение концентрации ионов водорода или гидроксония в водных растворах. Осуществляемый нами непрерывный многосуточный мониторинг окислительно-восстановительных свойств воды позволил выявить влияние излучения литосферы, магнитосферы, ионосферы и атмосферы Земли, а также техносферы на суточную динамику окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и водородного параметра pH воды. Экспериментальное подтверждение возможности активации воды ЭМИ в высокочастотном диапазоне, дополненное знанием об ионосферной плазме, позволяет развить предположение А. Л. Чижевского об электромагнитной природе воздействия Космоса на Биосферу в гипотезу, суть которой заключается в том, что информация о явлениях, происходящих в далеком и ближнем Космосе, например, о возникновении солнечных вспышек и протуберанцев может помимо сопутствующего рентгеновского излучения передаваться на Землю вариациями потоков частиц, высыпающихся на ионосферу и верхнюю земную атмосферу из авроральной области магнитосферы и плазменного слоя. Наблюдаемые в водных электрохимических ячейках внутрисуточные, недельные, месячные и сезонные вариации электрических токов, ОВП и pH позволяют представить, что доминирующим источником высокочастотного электромагнитного поля, вызывающим активацию воды, являются быстрые электроны и ионы из ионосферной плазмы, генерирующие ЭМИ при циклотронном движении вдоль силовых линий геомагнитного поля. В проведенных исследованиях состояния и реактивности цельной крови в условиях воздействия космофизических факторов выявлено ухудшение состояния пациентов, снижение их адаптационной способности в течение двух-трех дней до и после солнечного события, а также установлена прямая корреляция между колебаниями параметров крови пациентов и понижением pH исследуемой водной среды в электрохимических ячейках

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВНУТРЕННЮЮ СРЕДУ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Tsetlin V.V.1, Мойса С.С 1., Телешева Т.Ю. 2, Люзина О.И 2

1. *ФГБУ ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ ИМБП РАН) v_tsetlin@mail.ru.2 ООО "Эколабмедтест"*

Природа солнечно-земных связей интересовала людей издавна. В XX веке в связи с открытием космических лучей исследователи стали особенно пристально рассматривать воду в качестве естественного сенсора воздействий Космоса на Биосферу, поскольку вода, несомненно, является доминирующим веществом внешней и внутренней среды человека и всех живых обитателей Земли. В основу наших исследований [Цетлин, 2009] положено представление последних лет, что в природе отклика живых организмов на внешние факторы окружающей среды лежат окислительно-восстановительные химические реакции, составляющие основу обменных, регуляторных и других процессов в живых организмах. Исследования посвящены изучению безреагентной активации воды, главным образом, усилению химической активности молекул воды под воздействием малых доз, характерных для среды обитания в космических орбитальных станциях ионизирующего излучения (не превышающие 10сГр), и электромагнитного излучения в высокочастотном (ВЧ) диапазоне: от единиц МГц до 300 МГц при планарной мощности 10-7 -10-6 Вт/см2. Получено, что водородный параметр pH чистой воды может снижаться более, чем на единицу после воздействия потоком электромагнитного излучения при мощности мкВт/см2 и частоте 1-10 МГц, т. е. вызывать изменение концентрации ионов водорода или гидроксония в водных растворах. Осуществляемый нами непрерывный многосуточный мониторинг окислительно-восстановительных свойств воды позволил выявить влияние излучения литосферы, магнитосферы, ионосферы и атмосферы Земли, а также техносферы на суточную динамику окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и водородного параметра pH воды. Экспериментальное подтверждение возможности активации воды ЭМИ в высокочастотном диапазоне, дополненное знанием об ионосферной плазме, позволяет развить предположение А. Л. Чижевского об электромагнитной природе воздействия Космоса на Биосферу в гипотезу, суть которой заключается в том, что информация о явлениях, происходящих в далеком и ближнем Космосе, например, о возникновении солнечных вспышек и протуберанцев может помимо сопутствующего рентгеновского излучения передаваться на Землю вариациями потоков частиц, высыпающихся на ионосферу и верхнюю земную атмосферу из авроральной области магнитосферы и плазменного слоя. Наблюдаемые в водных электрохимических ячейках внутрисуточные, недельные, месячные и сезонные вариации электрических токов, ОВП и pH позволяют представить, что доминирующим источником высокочастотного электромагнитного поля, вызывающим активацию воды, являются быстрые электроны и ионы из ионосферной плазмы, генерирующие ЭМИ при циклотронном движении вдоль силовых линий геомагнитного поля. В проведенных исследованиях состояния и реактивности цельной крови в условиях воздействия космофизических факторов выявлено ухудшение состояния пациентов, снижение их адаптационной способности в течение двух-трех дней до и после солнечного события, а также установлена прямая корреляция между колебаниями параметров крови пациентов и понижением pH исследуемой водной среды в электрохимических ячейках

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ МАГНИТОМЕТРОВ

Евдокимова М.А., Петрукович А.А.

ИКИ РАН, evdokimari@mail.ru

Научный руководитель: Петрукович А.А., д.ф.-м.н.
ИКИ РАН

В работе исследуются модели восстановления профиля западного электроджета по данным магнитного поля меридиональной цепочки магнитометров. Эта задача представляет интерес в связи с тем, что данные магнитного поля известны в конечном, довольно небольком количестве точек. Сделан обзор существующих линейных моделей и показана их применимость на сети IMAGE. В первой модели (A.L. Kotikov, Yu.O. Latov and O.A. Troshichev, 1987) токи представляются в виде бесконечно тонких проводов. Во второй (V.A. Popov, V.O. Papitashvili, J. F. Waterman, 2001) электроджет моделируется последовательностью узких бесконечно длинных полос. Оптимальной является модель с большим числом равномерно проводов (полос). Однако, большое число параметров (токов) приводит к большим ошибкам, и на более разреженной сети станций описанные методы плохо применимы. Для малого количества станций оптимальной является нелинейная модель с малым числом некоррелированных параметров. Была построена модель одной полосы с тремя параметрами и проведен ее тест на малом количестве станций. Показано, как положение станций относительно границ электроджета влияет на параметры модели.

Литература

1. *Kotikov A. L., Latov Yu. O., Troshichev O. A.*, Structure of auroral electrojets by the data from a meridional chain of magnetic stations, Geophysica, 1987, V. 23, P. 143-154.
2. *Popov V. A., Papitashvili V. O., Watermann J. F.*, Modeling of equivalent ionospheric currents from meridian magnetometer chain data, Earth Planets Space, 2001, V. 33, P. 129-137.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ В ВОЛНОВОДЕ ЗЕМЛЯ-ИОНОСФЕРА

Мингалев И.В., Ахметов О.И., Суворова З.В., Мингалев О.В., Федоренко Ю.В.

ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, mingalev_i@pgia.ru

Изучение распространения низкочастотных электромагнитных сигналов с частотами около 200 Гц и ниже от естественных и искусственных источников в волноводе Земля-ионосфера имеет большое прикладное значение. Такие сигналы нельзя рассматривать в рамках приближения геометрической оптики. Начиная с 1994 года за рубежом опубликовано большое число работ, в которых для исследования распространения электромагнитных сигналов в нижнем диапазоне частот используются различные численные модели, основанные на методе конечных разностей во временной области (сокращенно метод КРВО), который в англоязычной литературе принято называть finite differences time domain method и использовать сокращение FDTD method. В данной работе предложена численная модель распространения низкочастотного электромагнитного сигнала в волноводе Земля-ионосфера с учетом тензорной проводимости ионосферы. Модель основана на численном интегрировании системы уравнений Максвелла в проводящей среде с законом Ома при помощи новой явной схемы для численного интегрирования уравнений Максвелла в изотропных и анизотропных диэлектриках и проводниках. В этой схеме электрическое и магнитное поля вычисляются в одни и те же моменты времени в одинаковых узлах пространственной сетки, а также используется расщепление по пространственным направлениям и физическим процессам. В схеме используется противопотоковая аппроксимация пространственных производных (метод Годунова с коррекцией потоков). Схема является консервативной, монотонной, имеет 2-й порядок точности по времени и 3-й по пространственным переменным. Эта схема при моделировании распространения низкочастотных сигналов в волноводе Земля-ионосфера позволяет использовать существенно больший шаг интегрирования по времени, чем широко используемый метод конечных разностей во временной области при одинаковой точности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ МАГНИТОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ САМОСОГЛАСОВАННОЙ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

Мингалев И.В., Мингалев О.В., Ляхов А.Н., Мёрзлый А.М., Тихонов В.В., Трёкин В.В., Мингалев В.С., Клименко М.В., Клименко В.В.

ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, mingalev_i@pgia.ru

В докладе рассматривается перечень прикладных вопросов, для которых важен прогноз состояния магнитосферы и ионосферы. Обсуждаются главные физические процессы, обеспечивающие самосогласованность системы "магнитосфера-ионосфера-верхняя и средняя атмосфера". Проводится обзор существующих типов моделей магнитосферы и ионосферы и теоретических подходов к описанию протекающих в магнитосфере и ионосфере физических процессов, на которых основаны существующие типы моделей. Также проводится обзор существующих моделей верхней и средней атмосферы. Обсуждаются необходимость и перспективы создания самосогласованной модели системы "магнитосфера-ионосфера-верхняя и средняя атмосфера", а также теоретический подход к описанию в этой системе движения ионов и электронов, эволюции самосогласованных магнитного и электрического полей. Рассматриваются системы уравнений, описывающие динамику отдельных частей этой системы, а также уравнения для самосогласованных магнитного и электрического полей в этой системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НИЖНЕЙ, СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С., Федотова Е.А.

ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, mingalev_i@pgia.ru

Большую практическую важность имеют изучение взаимного влияния верхней и средней атмосферы, средней и нижней атмосферы, а также изучение различных динамических процессов в верхней и средней атмосфере. В данной работе изложено краткое описание модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли, предназначенной для изучения динамики атмосферы в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Модель основана на численном интегрировании полной системы уравнений динамики вязкого атмосферного газа на пространственной сетке с высоким разрешением. В модели учитываются рельеф земной поверхности и наличие в атмосфере аэрозолей в виде микрокапель воды и ледяных микрочастиц, а также фазовые переходы водяного пара в аэрозольные частицы и обратно. Важная особенность нашей модели состоит в том, что ее динамическое ядро полностью работает на графических процессорах и использует массивно параллельные вычисления. Это позволяет проводить расчеты на современном персональном компьютере с двумя или более графическими ускорителями последнего поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

РЕЗОНАНСНЫЙ ЗОНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ФЛУКТУАЦИЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА МИКРО И НАНОСПУТНИКАХ

Галка А.Г., Янин Д.В., Костров А.В.

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

Одной из актуальных задач исследования физических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли является измерение концентрации плазмы и ее флуктуаций в широком диапазоне частот.

В настоящей работе представлено описание и испытание новой диагностической аппаратуры, предназначенной для установки на микро и наноспутниках и измерения основных параметров ионосферной плазмы. Предлагаемая диагностика позволяет регистрировать ионосферные неоднородности с масштабом порядка 80м и исследовать волновые эффекты, которые сопровождаются флуктуациями плотности плазмы в диапазоне до 100кГц.

Диагностика основана на измерении диэлектрической проницаемости плазмы с помощью резонатора на базе четвертьволнового отрезка двухпроводной линии. По сдвигу резонансной частоты при наличии плазмы в резонаторе однозначно определяется локальное значение электронной концентрации. Флуктуации плотности плазмы приводят к амплитудной модуляции выходного сигнала резонатора, что позволяет определить частотный спектр собственных волн, распространяющихся в ионосфере.

На данном этапе разработан резонансный СВЧ-зонд для измерения концентрации ионосферной плазмы и ее флуктуаций на микро- и наноспутниках. Для измерения плотности плазмы в диапазоне 10^3-10^6см$^{-3}$, характерном для высот 400-500км, используется резонатор с собственной частотой 180МГц, добротностью 200 и применен метод фазового сдвига для измерения резонансной частоты. Длина резонатора 40см, расстояние между проводами 5см. Проведена экспериментальная апробация этого датчика на плазменном стенде «ИОНОСФЕРА» в масштабе 1:1. Показано, что датчик плотности плазмы уверенно регистрирует значение концентрации в диапазоне 10^3-10^6см$^{-3}$. Установлено, что резонансный СВЧ-зонд позволяет регистрировать гармонические флуктуации концентрации плазмы, возбуждаемые штыревой антенной на частоте 100кГц. Относительные возмущения концентрации $\Delta n/n=10^{-3}$.

Сопоставление результатов измерения флуктуации плотности с данными с магнитных антенн спутника позволит сделать вывод о структуре различных волн, возбуждаемых в ионосфере.

ГЛОБАЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ F2 СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ

В.Н. Шубин
ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, shubin@izmiran.ru

Построена глобальная динамическая модель F2 слоя ионосферы (GDMF2). Для спокойных геомагнитных условий (Kp<3) на основе базы данных h_mF2, f_0F2 наземных ионосферных станций (1958 – 2015 гг.), а также современных спутниковых радиозатменных измерений (~7 500 000 за 2001 – 2015 гг.) разработаны глобальные медианные модели F2 слоя ионосферы [1,2]. Поведение h_mF2, f_0F2 во время геомагнитных возмущений описывается в виде поправок к медианным моделям. Разработанная динамическая модель GDMF2 позволяет описать изменения h_mF2, f_0F2 во время ионосферной бури (отрицательная фаза), а также в высоких широтах с учетом главного среднеширотного ионосферного провала и аврорального овала. Модель GDMF2 дает возможность прогнозировать h_mF2, f_0F2 в любой точке земного шара в реальном времени. Время прогнозирования определяется временем прогнозирования геофизических параметров $F_{10.7}$ и K_p.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 17-05-00427) и Программой 28 Президиума РАН.

1. Shubin V.N. // Adv. Space Res. 2015. V. **56**. P. 916.
2. Шубин В.Н. // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. **57**. № 4. С. 450.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, РЕКУРРЕНТНЫХ СЕТЕЙ И МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРСЕПТРОНОВ.

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

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

Магнитными бурями или (в общем случае геомагнитными возмущениями) принято называть возмущения геомагнитного поля, возникающие в результате взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли. Источниками возмущений магнитосферы Земли могут являться а) корональные выбросы массы (КВМ), достигающие орбиты Земли; б) высокоскоростные потоки солнечного ветра (СВ). Необходимым, а возможно и достаточным, условием возникновения геомагнитного возмущения является присутствие южной (отрицательной) компоненты ММП Bz, при наличии которой возможна передача энергии от солнечного ветра в магнитосферу.

Задача прогнозирования геомагнитных возмущений является актуальной, поскольку магнитные бури могут приводить к нарушениям радиосвязи, вызывать нарушения в работе телеграфных линий, трубопроводов, линий электропередач и энергосетей, а также возможного ухудшения самочувствия людей. Также геомагнитные возмущения оказывают влияние на состояние околоземного космического пространства), поскольку после магнитных бурь, как правило, на порядок и более возрастает поток релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли.

В данной работе для прогноза был выбран Dst-индекс, который вычисляется на основании показаний геомагнитных обсерваторий, расположенных на Земле вблизи экватора Всемирным Центром Данных (Киото). Для построения прогнозов использовались статистические регрессионные модели искусственных нейронных сетей: классических персептронов, рекуррентных сетей и вейвлет-нейронных сетей. В рамках работы проводится анализ оптимальных временных задержек, характеризующих так называемую «память» временного ряда, т. е. на протяжение какого исторического интервала значения физической переменной влияют на будущие. Также в рамках работы производится выбор оптимальной архитектуры нейронной сети, параметров и алгоритмов обучения.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России, проект RFMEFI60417X0163, Соглашение № 14.604.21.0163.

ОПЕРАТИВНЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Илларионов Е.А.[1,3], **Тлатов А. Г.**[2,3]

[1] *Московский Государственный Университет*, egor.mypost@gmail.com
[2]*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, tlatov@mail.ru*
[3]*КалмГУ, Элиста*

Центр данных мониторинга солнечной активности Кисловодской Горной астрономической станции ГАО предоставляет оперативную информацию о различных проявлениях солнечной активности: солнечные пятна, волокна, протуберанцы, корона, магнитное поле. Также осуществляется прогноз параметров солнечного ветра и геомагнитной обстановки на основе оригинальных ежедневных наблюдений.

Для обеспечения наиболее достоверных параметров солнечной активности обработка данных в различных спектральных диапазонах проводится в полуавтоматической режиме. Это означает, что выделение элементов активности проводится в автоматическом режиме, но при возможности контроля и редактировании результатов выделения оператором. Такая система позволяет сохранять стабильность результатов обработки при изменении условий наблюдений.

В данной работе мы приводим описание автоматизированного программного комплекса для идентификации корональных дыр (КД) по данным ежедневных наблюдений SDO/AIA193. Данные параметров КД доступны на ресурсе http://www.observethesun.com в период 2010-2018 гг. в режиме ежедневной обработки, а в период 1975-2010 в режиме синоптических карт.

Расчет параметров КД производится в оперативном режиме, что позволяет использовать созданную систему для построения прогноза космической погоды. Известно, что корональные дыры являются источником высокоскоростного солнечного ветра, вызывающим возмущения в космической погоде. Для подтверждения достоверности предлагаемой методики расчета параметров КД выполнен сравнительный анализ долговременных изменений площадей и положений КД в период 21-24-х циклов активности и КД, рассчитанных по данным наблюдений магнитных полей.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-02-00098 и РНФ проект 15-12-20001**.**

РАДИАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В ПЕРИОД 14.02.2014-05.03.2014: ИСТОЧНИКИ ВАРИАЦИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Калегаев В.В., Власова Н.А., Мягкова И.Н., Шугай Ю.С.,
Баринова В.О., Береснева Е.А., Бобровников С.Ю., Еремеев В.Е., Назарков И.С., Нгуен М.Д.

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова klg@dec1.sinp.msu.ru

Представлены результаты анализа динамики потоков релятивистских электронов радиационных поясов Земли с 14 февраля по 05 марта 2014 года, выполненные с использованием операционных сервисов космической погоды Центра данных оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ (ЦДОКМ НИИЯФ МГУ). Выбранный период интересен большим количеством разнообразного воздействия межпланетной среды на магнитосферу Земли и, как следствие, вариациями внешнего электронного радиационного пояса Земли. Работа (post-casting) выполнена на основе комплексного анализа экспериментальных данных, полученных со спутников с геостационарной (GOES, Электро-Л) и с полярной (POES, Метеор) орбитах. Проведено сопоставление с данными измерений КА Van Allen Probes, проходящих через сердцевину радиационных поясов. Воздействие межпланетной среды оценивалось по вариациям параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (данные КА ACE). Моделирование структуры геомагнитного поля проводилось по параболоидной модели магнитосферы A2000. Проведено сопоставление с результатами моделирования, выполненного операционными моделями ЦДОКМ НИИЯФ МГУ, потоков релятивистских электронов и геомагнитных индексов в течение всего исследуемого периода. Показана возможность прогнозирования многообразных вариаций внешнего электронного радиационного пояса Земли в зависимости от условий в межпланетной среде.

Поддержано грантом РНФ 16-17-00098.

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОСВЯЗИ В ВЫСОКОШИРОТНОМ РЕГИОНЕ

Клименко М.В.[1], Чирик Н.В.[1,2], Носиков И.А.[1,2], Котова Д.С.[1,2], Оводенко В.Б.[1,3], Карпачев А.Т.[4], Жбанков Г.А.[5], Ратовский К.Г.[6], Клименко В.В.[1]

[1]*КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru, maksim.klimenko@mail.ru*

[2]*БФУ им. Иммануила Канта, Калининград, Россия, wsaad@mail.ru*

[3]*ОАО «НПК «НИИДАР», Москва, Россия, atmos@niidar.ru*

[4]*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Московская обл., Россия, karp@izmiran.ru*

[5]*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, zhbankov_ga@rambler.ru*

[6]*ИСЗФ РАН, Иркутск, Россия, ratovsky@iszf.irk.ru*

Существующие в настоящее время эмпирические модели ионосферы, чаще всего используемые в качестве моделей среды для задач распространения радиоволн, недостаточно точно описывают параметры этой среды. Это касается и наиболее часто используемой международной справочной модели IRI, особенно в высокоширотной области. Увеличение темпов развития программ по освоению Арктики и наметившийся рост в использовании высоких широт для перевозки пассажиров воздушным транспортом, делают задачу обеспечения надежности радиосвязи одной из наиболее важных. Таким образом, создание глобальной эмпирической модели, включающей высокоширотную ионосферу, является особенно актуальным и приоритетным направлением в исследовании ионосферы Земли. В ходе выполнения данной работы были: (1) получены глобальные эмпирические зависимости критической частоты максимума F2-слоя, *foF*2, от оптимально выбранного индекса, связанного с предысторией изменений F10.7 для любой точки пространства и времени; (2) доработаны модели расчета лучевых траекторий и радиотрасс КВ-диапазона и на их основе создан комплекс программ, который может быть использован для уточнения параметров работы передающих станций и систем радиолокации; (3) проведены исследования функционала оптической длины пути радиолуча и влияния магнитного поля на распространение КВ радиоволн; (4). развиты и апробированы методики адаптации параметров модели высокоширотной ионосферы по данным наклонного полного электронного содержания (ПЭС). В результате была создана глобальная эмпирическая модель максимума слоя F2, на основе которой могут быть получены новые знания о широтной и долготной структуре высокоширотной ионосферы и разработаны новые методы расчетов радиотрасс в неоднородной ионосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 17-77-20009.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСПУТНИКОВ.

Климов[1] С.И., О.Л. Вайсберг[1], А.Г. Галка[2], В.М. Готлиб[1], В.А. Грушин[1], М.С. Долгоносов[1], В.Е. Корепанов[3], А.В. Костров[2], Я. Лихтенбергер[4], Д.А. Моисеенко[1], Я. Надь[5], Д.И. Новиков[1], В.А. Пилипенко[1], П. Сегеди[4], Н.А. Эйсмонт[1].

[1]ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sklimov@iki.rssi.ru
[2]ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия
[3]ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина
[4]Университет Этвѐша, г. Будапешт, Венгрия
[5]Вигнер-центр ВАН, г. Будапешт, Венгрия

Реализация микроспутников (МС) «Колибри-2000» (2002г.) [1] и «Чибис-М» (2012-2014г.г.) [2] показала, что электромагнитный мониторинг окружающей космической среды можно успешно осуществлять с помощью МС, интегрированных в инфрастуктуру Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) и выводимых на автономную орбиту [3, 4].

В данной работе рассмотрены методические аспекты пространственно-временного разрешения плазменно-волновых параметров ионосферы с помощью двух экземпляров МС «Трабант» (2020-2024г.г.), одновременно выводимых на орбиту высотой ~ 500 км и предназначенных для исследования:

- механизмов возникновения и динамики ионосферных неоднородностей различного масштаба в зависимости от активных процессов на Солнце и на Земле;
- закономерностей изменений плазменно-волновых и электромагнитных параметров в ионосфере природного и техногенного характера в широком динамическом и частотном диапазонах;
- прикладных аспектов, заключающихся в проведении диагностики ионосферных проявлений космической погоды [5].

Режимы мониторинга (временное разрешение в десятки сек) позволяют регистрировать длинные ряды однотипных данных, отражающих «правильную» статистику наблюдений. Высокочастотные режимы (волновая форма) включаются на отдельных участках орбиты, создавая максимально эффективную диагностику событий — это реализация идеи «case study», однако платой за высокую информативность этих режимов становится потеря картины явлений в целом.

В связке двух МС «Трабант» с газово-реактивными двигателями будут проводиться многопараметровые плазменные исследования на широком спектре ионосферных детерминированных пространственных параметров (~ 0.1-10 км).

1. Klimov, S.I., G.M. Tamkovich, et al. Aerospace education program realization by means of the micro-satellite. *Acta Astronautica, Volume 56, Issues 1-2,* January 2005, Pages 301-306, 2005.
2. Зелёный Л.М., А.В. Гуревич, С.И. Климов, В.Н. Ангаров, и др. Академический микроспутник «Чибис-М». Космические исследования, 2014, том 52, № 2, с. 93 – 105.
3. Климов С. И., и др. Специфика космических исследований на микроспутниковых платформах, интегрированных в инфраструктуру Российского сегмента МКС // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 6. P. 435—442 (in Russian).
4. Pilipenko, V., D. Dudkin, E. Fedorov, V. Korepanov, S. Klimov. IAR signatures in the ionosphere: Modeling and observations at the Chibis-M microsatellite. JASTP, 154 (2017) p. 217–225.
5. Климов, С.И., В.А. Грушин, Д.И. Новиков, Прямые измерения в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды. **А.Л. Чижевский. Вклад в науку и культуру**. Материалы I Международной научной конференции, посвященной сохранению творческого наследия и развитию идей А.Л. Чижевского. Калуга: Изд-во АКФ «Политоп», 2017, с. 120-122.

РИМАНОВА МЕТРИКА
В ЗАДАЧЕ СРАВНЕНИЯ МАГНИТОГРАММ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Князева И.С., Макаренко Н.Г., Рыбинцев А.С.

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

Задача сравнение полей встречается в различных областях знания и универсального решения не имеет. Расстояния, основанные на относительной энтропии Брегмана[1] метриками не являются, а метрики типа Монжа-Канторовича-Хатчинсона вычислительно сложны [2]. При анализе динамических сценариев фотосферного магнитного поля Солнца, представленного в магнитограммами, также возникает проблема корректного сравнения магнитограмм между собой, и оценки их среднего, в разумном смысле. Обычно это делается с помощью конструирования каких-то примитивов (признаков) по магнитограмме, и последующей статистике этих признаков. Признаки получают как метафоры известных физических понятии (плотность потока, градиенты напряженности, спиральность, и т.д.) Они не адаптированы к дискретной природе носителя и не привязаны к какой либо эволюционной модели. Поэтому, сравнение двух магнитограмм может быть проведено, в лучшем случае, лишь на уровне корреляционных связей, которые не достигают смысла причинности.

Мы предлагаем подход, основанный на комбинации идей из вычислительной топологии и римановой геометрии, который позволяет оценить расстояние между двумя реализациями случайных полей или получить оценку среднего по набору изображений. В рамках методов вычислительной топологии, для каждого изображения вычисляется его числа Бетти, полученные на каждом уровне фильтрации. Они являются топологическими инвариантами и представлены диаграмма персистентности – временем жизни топологического свойства, измеренном по шкале уровня [3]. Это облако точек, которое можно векторизовать, получив аппроксимацию плотности распределения (pdf) в Банаховом пространстве, Переход к полуплотностям – квадратным корням из pdf отображает полуплотности на риманову гиперсферу. В касательном расслоении к ней легко ввести структуру гильбертова скалярного произведения, полученного преобразованием метрики Фишера-Рао. Теперь расстояния между двумя распределениями легко измерить углом, между касательными векторами в расслоении [4]. В рамках гиродинамического варианта задачи Монжа-Канторовича можно показать, что римановы расстояния между полуплотностями можно интерпретировать как вариации энтропии Больцмана [5].

Подход был протестирован на базе данных текстур и реализациях случайных полей с различными корреляционными свойствами. Для анализа магнитограмм было проведено две серии экспериментов. В рамках одной серии с помощью римановской метрики отслеживалась динамика изменения активной области во времени. О казалось, что для вспышечно-активных областей, наблюдается существенные изменения в римановых взаимных расстояниях, предваряющие вспышки. В другой серии множество магнитограмм активных областей было сгруппировано по классам магнитной сложности и оказалось, что с помощью римановой метрики можно предсказать принадлежность к тому или иному классу

1. Edelsbrunner H., Wagner H. arXiv preprint arXiv:1607.06274. – 2016.
2. Вершик А. М. Записки научных семинаров ПОМИ. – 2004. – Т. 312. – №. 0. – С. 69-85.
3. Kniazeva I. S., Makarenko N. G., Urtiev F. Physics Procedia. – 2015. – Т. 74. – С. 363-367.
4. Srivastava A., Klassen E. P. Heidelberg : Springer, 2016.
5. Tannenbaum E., Georgiou T., Tannenbaum A. Decision and Control (CDC), 2010 49th IEEE Conference on. – IEEE, 2010. – С. 1885-1890

Характеристики потоков высыпающихся электронов в лучистых формах полярных сияниях по данным триангуляционных наблюдений

Козелов Б.В., Иванов В.Е., Дашкевич Ж.В.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия, boris.kozelov@gmail.com

Триангуляционные наблюдения полярных сияний проводятся в Апатитах двумя синхронизированными по времени идентичными цифровыми камерами с полем зрения 18 градусов по диагонали [1]. Пункты наблюдения разнесены на 4 км по долготе. Камеры снабжены фильтрами, выделяющими сине-зеленую часть видимого спектра [2]. Анализировались случаи наблюдения лучистых форм полярных сияний вблизи магнитного зенита. Успешная идентификация уединенных лучей позволяет восстановить высотный профиль аврорального свечения [3]. По высотным профилям с привлечением численной модели деградации электронов в атмосфере [4, 5] оценивались спектры высыпающихся потоков электронов. Сделан вывод о том, что уярчение в лучистых формах обычно сопровождается увеличением средней энергии высыпающихся электронов.

Литература

[1] Kozelov B.V., Pilgaev S.V., Borovkov L.P., Yurov V.E., Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010-2011 // Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 1, 1-6, 2012, www.geosci-instrum-method-data-syst.net/1/1/2012/doi:10.5194/ gi-1-1-2012.

[2] Kozelov B.V., Brandstrom B.U.E., Sigernes F., Roldugin A.V., Chernouss S.A., Practice of CCD cameras' calibration by LED low-light source. // "Physics of Auroral Phenomena" – Apatity, 2013. - P. 151-154.

[3] Доброленский Ю.С., Козелов Б.В., Кузьмин А.К., Ляхов А.Н., Маслов И.А., Мёрзлый А.М., Пулинец С.А., Черноус С.А. Исследования авроральных характеристик и высокоширотной структуры эмиссий верхней атмосферы и ионосферы Земли с использованием метода пространственных реконструкций изображений, полученных с высоты орбиты перспективного микроспутника // В сб.: Исследования солнечно-земных связей на микро-, нано- и пикоспутниках: материалы научной секции солнечно-земных связей совета по космосу Российской академии наук / Под ред. чл.-корр. РАН А.А. Петруковича. Серия «Механика, управление и информатика». - Москва: ИКИ РАН, 2015. - с. 77-90.

[4] Иванов В. Е., Козелов Б. В. Прохождение электронных и протонно-водородных пучков в атмосфере земли. - Издательство Кольского научного центра РАН Апатиты, 2001. - С. 260.

[5] Дашкевич Ж.В., Козелов Б.В., Синтетические спектры излучения некоторых систем полос сине-зеленой области спектра // "Physics of Auroral Phenomena" - Apatity, 2015. - P.123-126.

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЙ ЭЛЬ-НИНЬО И ЛА-НИНЬЯ МЕТОДОМ ПОИСКА РЕККУРЕНТНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СВЯЗИ БУДУЩЕГО С ПРОШЛЫМ

В.А. Лаптухов[1], А.И. Лаптухов[1] Н.В. Самсоненко[2]

[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия laptuhov@mail.ru, a.laptukhov@mail.ru*
[2]*РУДН г. Москва, Россия nsamson@bk.ru*

Анализируются среднегодовые значения индекса Южной осцилляции SOI, который используется для описания течений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. На основе известных данных индекса SOI за 1951-2016 гг. найдена сложная многопараметрическая нелинейная стационарная устойчивая рекуррентная связь будущих значений этого индекса с его прошлыми значениями. Эта связь использована для прогноза динамики индекса SOI. Показано, что средние по пятилетиям значения SOI_5 будут минимальны в 2017-2019 гг. и максимальны в 2026-2027 гг.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ПО МЕЖДУНАРОДНОЙ СПРАВОЧНОЙ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ IRI-2016

Ляхов А.Н., Козлов С.И., Беккер С.З.

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

Проводится количественное сравнение результатов Международной справочной модели IRI-2016 с экспериментальными данными, полученными на ИСЗ DE-2. Рассмотрено 648 вариантов гелиогеофизических условий. Отклонение теоретических результатов от экспериментальных лежит в пределах инструментальной точности спутниковых данных в среднем в 27% случаев. Сделан вывод о том, что ни одна из моделей IRI, включая IRI-2016, аппроксимирующие коэффициенты которых в функциональных зависимостях привязаны к высотам F2-области, не позволяют корректно оценивать концентрацию электронов во внешней ионосфере на высотах более 500 км.

В качестве метрик выбирались: относительное отклонение измеренной электронной концентрации от рассчитанной по модели и эффективность прогноза (PE, величина такая, что PE=1 означает идеальное совпадение с наблюдениями, PE=0 означает совпадение со средним значением измеряемой величины, отрицательные значения PE означают плохое качество модели).

Модель IRI-2016 использовалась в разных режимах (при разных наборах управляющих параметров) с автоматическим учетом геомагнитной и солнечной активности по существующим базам данных. Влияния управляющих параметров на ошибку прогноза не выявлено.

Сопоставление результатов расчетов электронной концентрации по модели IRI-2016 на высотах H ≈ 250 – 850 км в различных гелиогеофизических условиях на полярных и средних широтах показало, что только примерно ~ 30% результатов лежит в пределах инструментальной точности измерений приборов ИСЗ DE-2 (0±15%). Особенно неудовлетворительная ситуация имеет место на H > 500 км. Все это говорит о том, что на радиотрассах «космос–космос» использование модели IRI-2016 в принципе нецелесообразно, а на трассах «земля–космос» может быть рекомендовано с большой осторожностью в зависимости от времени суток, солнечной и магнитной активности, сезона и геомагнитной широты.

Максимальная ошибка наблюдается в сумеречных условиях в диапазоне зенитных углов 80-120 градусов, зависимость ошибки от солнечной, геомагнитной активности, географических координат и магнитного локального времени не выявлена.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ

Мёрзлый А.М.

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pinega@list.ru

В докладе рассматривается теоретические и экспериментальные методы, способы и средства оценки гелиогеофизических факторов, влияющих на работоспособность информационных средств и систем различного назначения.

Осуждаются основные физические процессы, определяющие эффективность функционирование рассматриваемых средств и систем, критерии оценки. Обсуждаются необходимость и перспективы создания многоуровневой системы оценки.

Работа выполнена в рамках Государственного задания.

ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ АВРОРАЛЬНЫХ ВЫСЫПАНИЙ ЧАСТИЦ OVATION PRIME (PC) ПО ДАННЫМ СПУТНИКА POLAR

Николаев А.В., Трошичев О.А., Ньюэлл П.

ФГБУ «ААНИИ», г. Санкт-Петербург, Россия, demosfen.spb@gmail.com

Авроральные высыпания электронов магнитосферного происхождения с энергиями 1—30 кэВ являются основным источником ионизации нейтральных компонент ионосферы и, как следствие, причиной резкого повышения электронного содержания на высотах Е-слоя. Поэтому для расчета высотных профилей концентрации основных ионов и малых нейтральных компонент Е-слоя необходимо оценивать параметры фоновых и спорадических высыпаний частиц, которые могут задаваться двумя различными способами: (1) по данным прямых спутниковых измерений и (2) по модельным расчетам. Мы используем одну из наиболее продвинутых эмпирических моделей OVATION Prime [Newell, 2009, 2010], основанную на измерениях потоков электронов и ионов низковысотными спутниками DMSP. Преимуществами выбранной модели является: (1) достаточно высокое разрешение расчетной сетки (0.5^{o} MLat x 0.25 h MLT), (2) раздельная оценка параметров (авроральная мощность, поток, поток энергии и средняя энергия) дискретных и диффузных высыпаний, а также (3) параметризация модели данными спутника ACE и функцией Ньюэлла [Newell et al., 2007]. Перечисленные достоинства OVATION Prime позволяют разработать модель полярной ионосферы, способную оценивать и прогнозировать ионный состав ионосферы в любой точке авроральной зоны с высокой степенью достоверности в условиях отсутствия спутниковых данных. Однако использование параметров солнечного ветра, измеренных в точке либрации (L1), сопряжено со следующими трудностями: (1) солнечный ветер, измеренный на спутнике ACE, не всегда является геоэффективным и (2) ошибки пересчёта параметров солнечного ветра в подсолнечную точку магнитопаузы. С помощью многофакторной линейной регрессии мы рассчитываем функцию Ньюэлла по величине PC-индекса и скорости его изменения. Такой подход позволяет параметризовать модель энергией солнечного ветра, фактически поступившей внутрь магнитосферы, и дает возможность точнее оценивать величину и изменения потоков высыпающихся частиц на одноминутном масштабе. В данной работе приведены результаты сравнения расчетов авроральной мощности высыпаний с помощью модифицированной модели OVATION Prime (PC) и наблюдений спутника Polar за период с декабря 1996 по январь 1999 года, а также представлен алгоритм модификации оригинальной модели авроральных высыпаний частиц.

1. Newell, P. T., T. Sotirelis, K. Liou, C.-I. Meng, and F. J. Rich (2007), A nearly universal solar wind-magnetosphere coupling function inferred from 10 magnetospheric state variables, J. Geophys. Res., 112, A01206, doi:10.1029/2006JA012015.
2. Newell, P. T., T. Sotirelis, and S. Wing (2009), Diffuse, monoenergetic, and broadband aurora: The global precipitation budget, J. Geophys. Res., 114, A09207, doi:10.1029/2009JA014326.
3. Newell, P. T., T. Sotirelis, and S. Wing (2010), Seasonal variations in diffuse, monoenergetic, and broadband aurora, J. Geophys. Res., 114, A03216, doi:10.1029/2009JA014805.

FINE FEATURES OF THE GEOMAGNETIC FIELD VARIABILITY AND GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENTS

Pilipenko V. A., Belakhovsky V.B., Sakharov Ya.A.

Geophysical Center, Moscow pilipenko_va@mail.ru
Institute of Physics of the Earth, Moscow belakhovsky@mail.ru
Polar Geophysical Institute, Apatity sakharov@pgia.ru

Geomagnetically induced currents (GIC) represent a challenge for society, given its strong dependence on a stable electricity supply. Space weather activates global electromagnetic and plasma processes in the near-Earth environment, however, the highest risk of GICs is related not directly to those processes with enormous energy yield, but to much weaker, but fast, processes. Here we consider several typical examples of such fast processes and their impact on power transmission lines at Kola peninsula and in Karelia: SC/SI impulses; TCV events; impulses embedded into substorms; and irregular Pi3 pulsations. Geomagnetic field variability is examined using data from the IMAGE magnetometer array. GIC are often modeled as fluctuations of intensity of the east-west auroral electrojet, so it is commonly supposed that they are most dangerous for technological systems extended in the longitudinal direction. We have shown that during the considered impulsive events the ionospheric currents fluctuate not just in the E-W direction, but chaotically in both the E-W and N-S directions, and they do induce GIC in the latitudinally extended electric power line. Information about GIC is important not only from a practical point of view, but also from a fundamental scientific view, revealing the fine structure of fast geomagnetic variations during storms and substorms.

This study is supported by the grant № 16-17-00121 from the Russian Science Foundation (VBB,VAP).

АТРИБУТИВНАЯ РЕГРЕССИЯ И АНАЛИЗ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

В.А. Ожередов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ozheredov2016@gmail.com

Как известно, состояние организма человека зависит от множества факторов, едва ли не самая важная часть из которых характеризуется атрибутивными, или категориальными, переменными. Переменные бывают трех типов: а) скейлинговая переменная: она принимает значения на пространстве с введенным расстоянием; например, температура, влажность, напряженность магнитного поля; б) ранговая переменная: принимает значения на пространстве без расстояния, но с упорядочением; например, Кр-индекс в баллах; в) категориальная, или атрибутивная переменная: принимает значения на пространстве без расстояния и без упорядочения; например, погодная характеристика (тип облачности и осадков). В настоящей работе категориальные переменные используются для описания погоды, а именно осадков и облачности, а конечной целью является получение зависимости между состоянием погоды и напряженностью магнитного поля возле земли и длиной кардиоинтервалов у здоровых и больных добровольцев. Для этой задачи использовался метод ансамблей решающих деревьев, где все скейлинговые переменные редуцировались до категориальных путем подходящего разбиения интервалов их значений. Задача осложнялась тем, что категориальные переменные содержали множество пропущенных значений. Авторам удалось доказать аналог теоремы для решающих деревьев, носящей название «теорема об уменьшении энтропии», при условии неполноты базиса пространства элементарных исходов, что соответствует наличию значительного числа пропусков в базе данных. Был построен ансамбль решающих деревьев и написан интерпретатор, который ищет в ансамбле деревьев наиболее короткие маршруты и переводит их на понятный человеку язык в терминах «если… то…». Применение этой методики позволило получить набор полезных для медиков легко интерпретируемых свойств погоды и геомагнитного поля, характеризующих изменение динамики сердечного ритма.

ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН: НАСТОЯЩЕЕ, ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

Козелов Б.В., Мёрзлый А.М., Наумова В.В., Петрукович А.А., Сахаров Я.А., Тихонов В.В., Трёкин В.В. , Хабибулин С.Ю.

ПГИ, г.Мурманск, Россия, sakharov@pgia.ru

Регулярные геофизические наблюдения на севере Европейской части Российской федерации были начаты в период Международного геофизического года 1957-1958гг. К восьмидесятым годам прошлого века развилась сеть станций, проводящих геофизические наблюдения. Полученные данные натурных наблюдений и оригинальных экспериментов легли в основу многих интересных результатов, включая работы прикладного характера. К концу прошлого столетия сеть станций значительно сократилась, в то же время потребность в регулярной информации о геофизической обстановке в высоких широтах неуклонно растет. В докладе рассматривается концепция Полярного геофизического полигона, который может быть создан на базе объединения информационных ресурсов различных организаций и ведомств, проводящих геофизические исследования в Арктической зоне РФ.

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И СУББУРИ

Шадрина Л.П.

АН РС(Я), г. Якутск, Россия, lushadr@mail.ru

Проведен анализ геомагнитных бурь и суббурь за 2000 год. В этот год, в максимуме XXIII солнечного цикла, зарегистрировано 66 геомагнитных бури, в том числе 4 экстрабури с понижением Dst индекса ΔDst > 200 нТл и 10 больших бурь с ΔDst > 100 нТл. Предложено для определения типа бури – спорадического или рекуррентного – использовать численный параметр k, который определяется как отношение амплитуды Dst индекса к сумме AE индекса в главную фазу бури: для спорадических бурь он больше 0,02, а для рекуррентных меньше 0,01 [1]. Согласно современным представлениям [2,3], спорадические бури чаще всего связаны с прохождением в межпланетном пространстве CME потоков, а рекуррентные – с потоками CIR. В соответствии с вычисленными k, в 2000 году было примерно равное количество спорадических и рекуррентных бурь – 31 и 35.

Методом наложения эпох получены средние величины параметров, характеризующих состояние геомагнитного поля и параметров солнечного ветра для двух типов бурь. Во время спорадических бурь Dst индекс понижается в среднем на большие величины (Δ Dst ~ 100 нТл), чем во время рекуррентных (Δ Dst ~ 60 нТл). Суббуревая активность в этих двух типах бурь в среднем одинакова: AE индекс увеличивается на примерно равные величины (до 550 нТл во время спорадических и до 600 нТл во время рекуррентных бурь). Существенно отличаются средние характеристики солнечного ветра: спорадические бури развиваются на переднем фронте высокоскоростного потока – скорость увеличивается с 380 до 530 км/с, плотность имеет всплеск более 17 $см^{-3}$; во время рекуррентных бурь скорость плавно растет с 460 до 500 км/с, и рост плотности заметно меньше – до 12 $см^{-3}$. Величина межпланетного магнитного поля во время спорадических бурь увеличивается с 3 нТл до 7 нТл, а во время рекуррентных почти не меняется. Bz компонента ММП меняет свое направление с северного на южное, причем во время спорадических резко понижается до -5 нТл, а затем возвращается к нулевому уровню, а во время рекуррентных плавно понижается до -3 нТл и остается таким на протяжении более суток. Это общеизвестные отличия двух типов бурь. Существенно различается поведение изменчивости ММП, характеризующей уровень турбулентности солнечного ветра (σF). Во время спорадических бурь этот параметр увеличивается за сутки почти в 2 раза, с 8 до 15 нТл и сохраняет повышенные значения почти сутки, а во время рекуррентных заметно лишь небольшое плавное увеличение.

На наш взгляд, выявленные особенности указывают на то, что присутствие турбулентного ММП на переднем фронте высокоскоростного потока во время спорадических событий оказывает существенное влияние на интенсивность бури и почти не сказывается на суббуревой активности. Это можно объяснить тем, что турбулентное ММП является дополнительным источником энергии кольцевого тока при воздействии спорадических (вспышечных) структур солнечного ветра.

Работа выполнена в рамках Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия) на 2016-2020 годы.

1. Шадрина Л.П., Васильева В.Г. // Иссл. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. Вып. 112, изд. СО РАН, 2001. С. 163-167.

2. Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. // Геомагнетизм и аэрономия. М.: Наука, 2014. Т. 54, N 2. С.163-173.

3. Gonzalez W.D. Tsurutani B.T., Gonzalez A.L.C. // Space Sci. Rev. 1999. V 88, No. 3-4. P. 529. DOI: 10.1023/A:1005160129098

_PC_ индекс как индикатор реального контакта с земной магнитосферой потоков солнечной плазмы, фиксируемых спутником ACE в точке Лагранжа.

О.А.Трошичев и Д.А.Сормаков
Арктический и Антарктический НИИ, С.Петебург, 199397
olegtro@aari.ru

Индекс *PC* был введён [*Troshichev et al.,* 1988] как характеристика магнитной активности, генерируемой в полярных шапках геоэффективным солнечным ветром при его взаимодействии с магнитосферой Земли. Как показали результаты дальнейших исследований, *PC* индекс является индикатором поступающей в магнитосферу энергии солнечного ветра [*Troshichev, 2017*]. В этом качестве *PC* индекс может успешно использоваться для мониторинга и текущего прогноза состояния магнитосферы.

Рост *PC* индекса, который определяется соответствующими изменениями межпланетного электрического поля $E_{KL,}$ всегда предшествует развитию магнитосферных суббурь. При высокой корреляции между E_{KL} и *PC* (R>0.8) в**р**еменная задержка ΔT в отклике *PC* на увеличение поля E_{KL} (смещённого к границе магнитосферы) в 90% случаев лежит в интервале от 10 до 30 минут. В 1.5% событий временная задержка оказывается нулевой или даже отрицательной (ΔT=-10÷0 минут), т.е. начало суббури как бы опережает контакт соответствующего потока геоэффективной солнечной плазмы с магнитосферой. Очевидно, что такая ситуация может быть обусловлена только некорректной оценкой на сайте *GSFC/SPDF OMNI/Web* времени транспортировки плазмы от точки Лагранжа, где находится спутник ACE, до магнитосферы. В ~8 % событий с магнитными суббурями корреляция между E_{KL} и *PC* практически отсутствуют (R<0.50), что свидетельствует о том, что в этих случаях солнечный ветер, зафиксированный спутником ACE в точке Лагранжа, вообще не контактирует с магнитосферой (т.е. проходит мимо магнитосферы). Таким образом, *PC* индекс может успешно использоваться для верификации реальности контакта с земной магнитосферой потоков солнечной плазмы, фиксируемых спутником ACE..

ВАРИАНТЫ И ВЫБОР ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОРБИТАЛЬНОГО АВРОРАЛЬНОГО ИМАДЖЕРА АВРОВИЗОР-ВИС/МП, СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Кузьмин А.К., Баньщикова М.А., Крученицкий Г.М., Маслов И.А., Моисеев П.П., Потанин Ю.Н., Чувашов И.Н., Шаталов А.Е.

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

Мелкомасштабные дистанционные измерения распределений интенсивности свечения конкретных авроральных эмиссий ночной полярной ионосферы в поле наблюдений в несколько сотен километров одновременно с прямыми измерениями распределений заряженных частиц и продольных токов в окрестности КА приборами гелиогеофизического комплекса – основная мотивация создания аврорального имаджера Авровизор-ВИС/МП в интересах осуществления локального дистанционного контроля состояния характеристик ионосферы с орбиты КА Метеор-МП. Угол поля зрения, селекция эмиссий, спектральное и пространственное разрешение, определяемые оптической схемой, и ее аберрациями, [1]; временное разрешение и чувствительность, определяемые характеристиками детектора изображений, временем экспозиции и частотой съемки; количество спектральных изображающих каналов, определяемое научными целями и зависящее от согласованных масса-габаритных характеристик, синхронизация экспозиций с измерениями характеристик плазмы и информационный обмен с бортовыми системами вкупе определят возможности и преимущества готовящегося эксперимента [2]. Специальное ПО [3] позволит рассчитывать сопряжения по магнитному полю элементов изображений разновысотных эмиссий с учетом данных контроля ориентации КА, необходимые для уточнения вычислений распределений средней энергии высыпающихся электронов, проводить идентификацию по признакам паразитных источников света в изображениях, а также прогнозировать ситуации пролетов КА над станциями наземных наблюдений, источниками радиоизлучений, пересечений областей одновременных авроральных наблюдений с разных орбит, включая глобальные наблюдения свечения ВУФ-эмиссий в северной полярной области [4]. Характеристики имаджера сравниваются с зарубежными аналогами.

1.Кузьмин А.К., Чиков К.Н. // Оптика атмосферы и океана, т.8, №6, с.897-909, 1995, http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/199501.PDF
2.Кузьмин А.К., Мерзлый А.М., Баньщикова М.А., Чувашов И.Н., Крученицкий Г.М., Потанин Ю.Н., Моисеев П.П. // Вопросы электромеханики, Труды ВНИИЭМ за 2016 год. Материалы четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М.: АО «Корпорация ВНИИЭМ» - 2016, с.325-341. На сайте: http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/201702.PDF.
3.Баньщикова М.А., Чувашов И.Н., Кузьмин А.К. // Известия Высших Учебных Заведений, Физика, т.56, №10/2, с.174-180, 2013. На сайте: http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/203301.PDF.
4.Кузьмин А.К., Мерзлый А.М. // Вопросы электромеханики, т.143, №6, с.19-28, 2014. На сайте: http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/201402.PDF.

МНОГОЧАСТОТНОЕ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЕ АРКТИЧЕСКОЙ ИОНОСФЕРЫ С ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ

И.В. Крашенинников, Г.В.Гивишвили

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, krash@izmiran.ru

Мониторинг ионосферы с помощью космических аппаратов (КА) основан на разновидности традиционного вертикального зондирования (ВЗ) ионосферы, при которой ионозонд располагается на борту КА. Впервые эта идея была реализована в 1962 г., после чего было произведено множество пусков КА с высотой орбиты от 500 до 3500 км с ионозондами на борту. Доказавший свою жизнеспособность и востребованность, метод получил название - внешнее зондирование (topside sounding), или ВнЗ. Однако, при всех его бесспорных преимуществах, ему также присущ ряд специфических особенностей, ограничивающих его применение, в частности, в вопросах оперативной (в реальном времени) диагностики и краткосрочного прогноза состояния окружающего космического пространства.

В работе [Гивишвили, 1994] был рассмотрена возможность альтернативного способа ионозондового мониторинга ионосферы с использования КА на геостационарной или высокоэллиптической (10000 – 40000 км) орбите. Метод основан на радиопросвечивании ионосферы на частотах декаметрового диапазона в диапазоне радиопрозрачности, т.е. разделении радиопередающих и радиоприемных устройств. Энергетические аспекты проблемы высокоорбитального трансионосферного радиозондирования и вопросы его реализации для геостационарного КА рассматривались в [Гивишвили и др., 2012]. Функция группового пути от частоты - $P'(f)$, в данном случае, есть ионограмма радиопросвечивания или трансионограмма, которая, в общем случае, представляет собой даже более простой объект, нежели классические ионограммы вертикального или наклонного радиозондирования, что позволяет надеяться на автоматизацию процесса распознавания ее структуры, интерпретации и обработки. В данном методе, по аналогии с критической частотой в ВЗ или максимальной применимой частотой (МПЧ) в НЗ, выделенной точкой является частота отсечки – *fc* (cut-off frequency), равная наименьшей частоте, прошедших через ионосферу сигналов.

В докладе представлены результаты анализа базовых радио- и геофизические аспектов данного метода применительно к Арктическому региону на примере двух ортогональных радиотрасс с дальностями по поверхности Земли ~ 1900 и ~ 2600 км и высотами высокоэллиптических спутников. Рассмотрена возможность увязки данного интегрального параметра со значением *foF2* в локальной области пересечения лучом зрения на спутник главного ионосферного максимума, что дает возможность использовать адаптационные процедуры в модельном представлении ионосферы и, в частности, более корректно прогнозировать условия прохождения радиоволн декаметрового диапазона.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 15-29-06052.

Гивишвили Г.В. Многочастотное просвечивание ионосферы – новый метод глобальной диагностики ионосферы в реальном времени. // Космические исследования, 1994. Т. 32. Вып. 4-5. С. 142-149.

Гивишвили Г.В., Данилкин Н.П., Жбанков Г.А., Крашенинников И.В. Дистанционное зондирование ионосферы в декаметровом диапазоне с геостационарного ИСЗ // Геомагнетизм и аэрономия. М.: Наука, 2012. Т. 52. № 4. С. 519-524.

ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ ПАТРУЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Тлатов А. Г.[1,2], Арабаджян Д.К., Пащенко М.П.

[1]*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, tlatov@mail.ru*
[2]*КалмГУ, Элиста*

В настоящее время одними из наиболее актуальных задач в исследовании солнечно-земных связей является изучение и прогноз космической погоды (КП), вызываемой солнечной активностью. Одним из основных факторов космической погоды являются высокоскоростные потоки солнечного ветра, от источников с открытой конфигурацией магнитных силовых линий. Оценка этих потоков, а также прогноз их интенсивности на несколько дней является предметом службы КП. Оценка этих потоков, а также определение “фоновых” параметров межпланетной плазмы является отправной точкой для моделирования распространения корональных выбросов массы.

В данной работе рассмотрены результаты моделирования и реконструкции параметров солнечного ветра (СВ) на основе модели Wang-Sheley-Arge и баллистической модели распространения потоков солнечного ветра от поверхности источников. В этой модели считается, что на расстояниях до поверхности источника (Rs~2.5Ro) скорость солнечного ветра определяется фактором расширения магнитного поля. Выше Rs, солнечный ветер распространяется радиально. При этом быстрые и медленные потоки могут взаимодействовать между собой.

Представлены результаты реконструкции параметров солнечного ветра по данным наблюдений магнитографа СТОП. Приводится сравнение с данными прогнозов скорости солнечного ветра по данным наблюдений других магнитографов. Показано, что данные прогноза СТОП имеют существенно более высокую корреляцию с наблюдениями СВ. На основе прогноза параметров солнечного ветра на орбите Земли предложен также прогноз геомагнитной активности.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-02-00098 и РНФ проект 15-12-20001.

О КЛАССИФИКАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ

Н.А.Власова[1], Ю.И.Логачев[1], Г.А.Базилевская[2], Е.А.Гинзбург[3], Е.И.Дайбог[1], В.Н.Ишков[4], Л.Л.Лазутин[1], О.С.Яковчук[1]

1 НИИЯФ МГУ, 2 ФИАН, 3 ИПГ, 4 ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, nav19iv@gmail.com

Предложена классификация солнечных протонных событий на основе ключевых характеристик возрастаний потоков солнечных протонов с E>10 МэВ, регистрируемых в околоземном космическом пространстве. Планируется создать Каталог солнечных протонных событий, наблюдавшихся в 24 цикле (2008-2018 гг.) солнечной активности, в которых максимальная интенсивность частиц с энергией >10 МэВ на орбите Земли составляла не менее 1 pfu = 1 частица/(см^2·с·ср). В серии солнечных протонных событий каждое событие рассматривается в Каталоге как отдельное и представляется в виде таблиц и рисунков.

Планируемый Каталог является продолжением ранее созданных Каталогов за предыдущие 5 циклов солнечной активности с 1955 до 2008 гг. и дополнит однородный ряд данных о солнечных протонных событиях. Для сравнительного изучения характеристик солнечных протонных событий в различных циклах солнечной активности необходим однородный ряд данных. Каталог 24 цикла солнечной активности, как и все предшествующие каталоги, будет размещен в Мировом Центре Данных [http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/]. Каталог солнечных протонных событий 23 цикла солнечной активности [1] является единственным каталогом, размещенным в Национальной базе гелиогеофизических данных США в разделе «Космическая погода» [https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/interplanetary-data/solar-proton-events/documentation/]. На сайте Центра данных оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ [http://smdc.sinp.msu.ru] будет создана интерактивная форма каталога 24 цикла солнечной активности.

Предлагаемая классификация может быть полезна для быстрого и эффективного поиска необходимой выборки событий. Каждому солнечному протонному событию присваивается буквенно-цифровой идентификатор, включающий в себя следующие градации:

дата, координаты и балл солнечного вспышечного события − источника солнечного протонного события;

CMEi,j – *i*-скорость и *j*-угловая ширина коронального выброса вещества;

Si – величина потока солнечных протонов с E>10 МэВ в максимуме события;

GLEi – регистрация в событии *GLE*, где *i*-номер *GLE*-события;

Emax – максимальная зарегистрированная энергия солнечных протонов;

MEi.j – *j*-тое событие в последовательности из *i* событий;

Ti – характеристика времени нарастания потока до максимума;

Dsti – максимальная величина $|Dst|$ - вариации в период регистрации события.

Предлагаемая классификация может быть эффективно использована и для статистического подхода в космических исследованиях.

1. Логачёв Ю.И., Г.А.Базилевская, Э.В.Вашенюк, Е.И.Дайбог, В.Н.Ишков, Л.Л. Лазутин, Л.И.Мирошниченко, М.Н.Назарова, И.Е.Петренко, А.Г. Ступишин, Г.М.Сурова, О.С.Яковчук. Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996-2008 гг.), под редакцией Ю.И.Логачева. М., Мировой Центр Данных, 2016. [http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/katalog_SPS_23_cikla_SA.pdf]

ГЕОМАГНИТНЫЕ "ШУМЫ" ДИАПАЗОНА Pc Pi3 НА ЗЕМЛЕ И В МАГНИТОСФЕРЕ И КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА.

Ягова Н. В.

ИФЗ РАН, nyagova@ifz.ru

Амплитуды геомагнитных пульсаций и шумов диапазона первых миллигерц (Pc5/Pi3) во внешней магнитосфере достигают сотен нТл, а сами пульсации вносят заметный вклад в общий энергетический баланс этих областей магнитосферы. Исследование связи спектральных параметров Pc5/Pi3 и межпланетной среды (Yagova et al., 2010, Ягова, 2015) показывает, что параметры пульсаций не могут быть полностью предсказаны по параметрам межпланетной среды перед ударной волной. Вместе с тем, прикладные задачи об экстремальных возмущениях производных по времени компонент геомагнитного поля, важных для генерации геоиндуцированных токов (ГИТ) показывает важность не только амплитуды, но и пространственного распределения поля пульсаций и их спектрального состава для возбуждения потенциально опасных возмущений (Ягова и др., 2016). В настоящей работе на основе данных изменений наземных магнитометрических сетей и спутниковых миссий исследуется связь этих параметров с факторами космической погоды, включая параметры плазмы в магнитосфере и магнитослое на разных фазах цикла солнечной активности.

Работа поддержана грантом РНФ № 16-17-00121

Литература

Yagova N.V., V.A. Pilipenko, L.N. Baransky, and M.J. Engebretson, Spatial distribution of spectral parameters of high latitude geomagnetic disturbances in the Pc5/Pi3 frequency range, Ann. Geophysicae, 28, 1761-1775, 2010.

Ягова Н.В. Наклон спектра высокоширотных геомагнитных возмущений диапазона 1–5 мГц. Контролирующие параметры вне и внутри магнитосферы // Геомагнетизм и Аэрономия. 2015. Т. 55. С. 35–44.

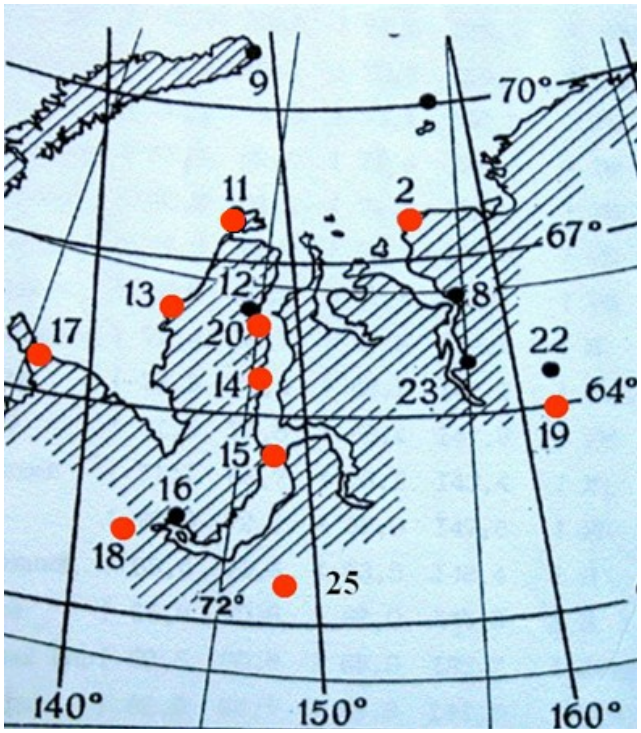
Ягова Н.В., Лхамдондог А.Д., Гусев Ю.П., Пилипенко В.А., Федоров Е.Н., Частоты появления экстремальных значений производных по времени геомагнитного поля, потенциально опасных для промышленных электрических сетей, по данным многолетних наблюдений на сети IMAGE, Труды конференции «Гелиогеофизические исследования в Арктике», Мурманск, 2016

СЕТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПО ПРОЕКТУ «ПОЛЯРНАЯ ГЕОФИЗИКА ЯМАЛА»

Зайцев А.Н., Кананиди К.Х., Петров В.Г.

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, alex.zaitsev1940@mail.ru

В период Международного Полярного года 2007-2008 на Ямале была начата работа по восстановлению сети геофизических наблюдений, которая сегодня известна под названием «Проект «Полярная геофизика Ямала». В апреле 2014 года в Салехарде была проведена конференция «Полярная геофизика Ямала: наблюдения, базы данных и информационные системы в практике освоения месторождений нефти и газа – ПОЛАР – 2014», см. http://polar2014.yanao.ru. На начало 2018 года продолжается развитие проекта с участием ведущих геофизических институтов России. Сеть магнитометров включает 8 пунктов, из которых 4 пункта работают в реальном времени, представлена на рисунке. Данные доступны на сайте ИЗМИРАН http://geodata.izmiran.ru/. Кроме магнитометров на Ямале ведутся работы по установке других геофизических приборов: автоматические метеостанции, пункты изучения мерзлоты, приборы инженерной сейсмологии, приборы экологического контроля. В сети Гидрометслужбы работает ионосферная станция Салехард.



Сеть магнитометров на Ямале

№ 18 - Салехард – ионозонд , магнитометр
№ 11 - о. Белый – магнитометр,
№ 20 – п. Сабетта – магнитная обсерватория от «Ямал-СПГ»
№ 13 – п. Харасовэй – магнитометр
№ 25 - Надым, магнитометр,
№ 17 - п. Амдерма (Белый Нос), магнитометр, отдел геофизики ААНИИ
№ 2 - п. Диксон, магнитометр, отдел геофизики ААНИИ
№ 19 - Норильск, обсерватория, ИСЗФ, Иркутск

Координацию работ на местном уровне осуществляет Департамент науки и инноваций ЯНАО http://www.dniyanao.ru/, который обеспечивает поддержку научной, научно-технической и инновационной деятельности. Основной структурой является ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» http://www.arctic89.ru/, экспедиционные работы обеспечивает НП «Российский Центр освоения Арктики» http://arctic-rf.ru/, бизнес-проекты ведет ГАУ ЯНАО "Окружной технологический парк "Ямал", www.tpark89.ru. В 2015 году запущен проект по созданию виртуальной геофизической лаборатории, в том числе для разработки методики регионального прогноза космической погоды с участием ИКИ и ИЗМИРАН, http://ямалгео.рф/.

Наука на Ямале ориентирована на решение прикладных задач, связанных с промышленным освоением региона, изучением влияния экологических факторов на здоровье населения, развитием агропромышленного комплекса. Приоритетное направление - проведение регионального геоэкологического мониторинга, в том числе по Оби, .с участием Сибирского и Уральского отделений РАН.

Солнечный ветер и гелиосфера

Особенности распределения межзвездной пыли в гелиосфере.

Мищенко А.В., Годенко Е.А., Грановский А.А., Измоденов В.В.
ИКИ РАН, г. Москва, Россия
e-mail: litergo@icloud.com

В настоящей работе изучается взаимодействие заряженных частиц межзвездной пыли с межпланетным магнитным полем в гелиосфере. Целью данного исследования является поиск особенностей в распределении межзвездной пыли, т.е. областей повышенной концентрации. Найденные области в полной постановке могут быть использованы при будущих экспериментальных исследованиях межзвездной пыли в гелиосфере. Математическая постановка задачи формулируется в размерном и безразмерном виде. Проводится анализ возникающих при этом безразмерных параметров. Для выявления особенностей, которые возникают из-за действия электромагнитных сил, используется упрощенная постановка задачи без учета сил гравитационного притяжения и радиационного отталкивания. Представляется численное решение поставленной задачи методом Осипцова-Лагранжа и методом Монте-Карло. Метод Осипцова-Лагранжа основан на решении уравнения неразрывности в лагранжевой форме вдоль траекторий частиц пыли. Расчёты выполняются на сетках разного размера, а также с разным количеством рассматриваемых частиц с целью поиска оптимальных параметров в рамках поставленной задачи. Вычисления выполнены для разных безразмерных параметров, которые зависят от радиуса частиц пыли. Предложенный метод решения задачи может быть обобщен на случай произвольной астросферы.

ЭВОЛЮЦИЯ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С РАССТОЯНИЕМ ОТ СОЛНЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАЗЫ ЦИКЛА. СЮРПРИЗЫ ОТ ULYSSES И НЕОЖИДАННОСТИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ КОРОНЫ.

О.В. Хабарова[1], В.Н. Обридко[1], Р.А. Кислов[2], Х.В. Малова[2], А. Бемпорад[3], Л.М. Зелёный[2]

[1] ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия, habarova@izmiran.ru
[2] ИКИ РАН, г. Москва, Россия
[3]Национальный институт астрофизики (INAF), Астрономическая обсерватория Турина, Италия

Представлены результаты наблюдений космического аппарата Ulysses за весь период стабильных измерений с 1990 до 2008, показывающие, что эволюция скорости солнечного ветра с расстоянием существенно зависит не только от гелиошироты, но и от фазы цикла солнечной активности. Изменения в профиле зависимости скорости от расстояния столь значительны, что не могут объясняться недостаточностью измерений или иными техническими эффектами. В частности, ожидаемый плавный рост скорости солнечного ветра при удалении от Солнца характерен лишь для максимума солнечной активности и лишь для низких гелиоширот (широта ниже 40°), в то время как на высоких широтах присутствуют две ветви: растущая и падающая. В минимуме солнечной активности профиль скорости солнечного ветра в низких широтах имеет локальный провал между 2 а.е. и 5 а.е., а в высоких широтах скорость демонстрирует лишь одну ветвь (см. *Хабарова, АЖ, 2013)*. Обнаружение локального уменьшения скорости в низких широтах на 1-3 а.е. подтверждается данными одинарных пролётов других космических аппаратов (Voyager 1, Voyager 2 и Pioneer 10). Рассматриваются разные гипотезы о природе наблюдаемого явления, в том числе гипотеза о влиянии на профиль скорости потоков из корональных дыр, спускающихся в нижние широты в минимуме активности. Показано, что обнаруженный эффект может быть объяснен в рамках стационарной одножидкостной идеальной МГД–модели при учёте недавних результатов по изображениям скорости солнечного ветра в короне до 5.5 радиусов Солнца полученным на базе комбинированных наблюдений SOHO/UVCS, LASCO и Mauna Loa (*Bemporad, ApJ, 2017*).

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, КАК СЛЕДСТВИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КУЛОНОВСКИХ ЗЕРКАЛ В АСТРОФИЗИКЕ

Высикайло Ф. И., Короткова М. А.

Московский государственный областной университет г. Москва, Россия, filvys@yandex.ru

Исследуются причины возникновения солнечного ветра, состоящего из протонов, альфа-частиц и электронов, возникающих в результате процессов ионизации атомов и молекул, фокусирующихся к Солнцу силами гравитации. Показано, что возможное объяснение возникновения солнечного ветра — слабое нарушение нейтральности Солнца и возникновение для протонов и альфа-частиц кулоновских зеркал, отражающих и ускоряющих от Солнца, положительно заряженные частицы. Положительный заряд Солнца возникает из-за постоянного ухода малой части высокоэнергетичных электронов от Солнца и внедрение их, например, в планеты и пыль. Известно, что Земля заряжена до 500 кКл. Определены параметры положительно заряженного Солнца, позволяющие оценить приведенную к плотности частиц напряжённость электрического поля в фотосфере, хромосфере, короне Солнца и исследовать условия необходимые для отражения от положительно заряженного Солнца различных положительно заряженных частиц. В работе впервые предлагается конкретный механизм нагрева плазмы солнечного ветра в его короне в постоянном кулоновском поле всего Солнца, как положительно заряженной кумулятивно-диссипативной (КД) структуры. При этом процессы кумуляции определяются силами гравитации, действующими на нейтральные атомы или отрицательно заряженные пылинки, а процессы диссипации или ускоренного распыла от положительно заряженного Солнца положительно заряженных ионов определяются функционированием кулоновских зеркал. В этой модели мы объединяем такие явления как электрический ветер, плазменный ветер и солнечный ветер в единое явление, обусловленное нарушением нейтральности и существенным нагревом частиц плазмы в электрическом поле заряженной структуры (заряженной иглы во Франклиновом колесе, Солнца и др.). Кумулятивные процессы на Солнце обусловлены силами гравитации, а соответствующие диссипативные процессы определяются в основном рассеиванием электромагнитного излучения и в меньшей степени «корпускулярными лучами» - солнечным ветром. Косвенным признаком кумулятивных процессов в КД структурах типа Солнца и Солнечной системы может являться не только вращение (об этом утверждал Е.И. Забабахин), но и нарушение нейтральности и формирование противоположно направленных – бициклонических вращающихся потоков кумулирующей всей массы Солнца к его центру и расфокусирующейся массы солнечного ветра, покидающего солнечную систему, см. подробнее [1]. Зная ионный состав солнечного ветра, согласно предложенной в данной работе методике, мы можем рассчитать электрические параметры самого Солнца, его короны и оценить энергетические параметры солнечного ветра в области Земли. Таким образом при кумуляции массы происходит не только усиление вращения, но и нарушение нейтральности кумулятивно-диссипативной структуры. Нарушение нейтральности приводит к возбуждению турбулентных (вихревых) потоков. Следовательно, косвенным признаком кумуляции являются вращение структуры, нарушение её нейтральности и генерация магнитного поля и турбулентных (вихревых) потоков плазмы на её поверхности. Из-за сложного, но аналогичного характера явлений, которые могут происходить в кумулятивно-диссипативных структурах любого размера в микро- и макромире при нарушении нейтральности, решаемые в этой работе задачи представляют интерес в широком диапазоне физических задач, в том числе и для лабораторной газоразрядной плазмы.

1. Высикайло Ф.И. Архитектура кумуляции в диссипативных структурах. Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing. 2013, - 352 с.

КАТАЛОГ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Лодкина И.Г., Ермолаев Ю.И., Николаева Н.Н., Ермолаев М.Ю.
ИКИ РАН, г. Москва, Россия, yermol@iki.rssi.ru

В течение 2002-2007гг. нами был разработан метод идентификации крупномасштабной структуры солнечного ветра (СВ) на основе базы данных OMNI о параметрах плазмы СВ и межпланетного магнитного поля и создан «Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра» за период 1976-2000 гг. (см. сайт ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/) и статью [1]. В нашем каталоге надежно определены 3 типа квазистационарных потоков СВ: гелиосферный токовый слой (HCS), высокоскоростные потоки из корональных дыр (HSS) и медленные потоки из корональных стримеров, и 5 возмущенных типов СВ: области сжатия перед быстрыми потоками HSS (CIR), межпланетные проявления выброса корональной массы (ICME), которые могут включать в себя магнитные облака (MC) и Ejecta с областями сжатия Sheath (SHE_{MC} и SHE_{EJ}, соответственно), предшествующие им, а также межпланетная ударная волна (IS). В 2016 – 2017 годы нами проведена работа по адаптации методики к данным базы OMNI2 и идентификации типов СВ за период 2001-2017 годы по данным OMNI2. Так же были повторно обработаны данные за 1976 – 2000 годы по данным OMNI2. Результаты идентификации типа СВ, описание и визуализация расположены на сайте ИКИ «ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/».

На текущий момент на указанном сайте представлены: (1) каталог данных OMNI2 с дополнительно рассчитанными параметрами, (2) визуализация этих параметров, (3) идентификация типов СВ за период 1976-2016гг, (4) визуализация результатов идентификации СВ за период 1976-2016гг по данным OMNI2 [2]. В настоящее время проводится обработка и анализ данных 2017г. Работа поддержана Российским Научным фондом, проект № 16-12-10062 грантом.

[1] Ю.И. Ермолаев, Н.С. Николаева, И.Г. Лодкина, М.Ю. Ермолаев (2009), Каталог крупномасштабных солнечных ветровых явлений в 1976-2000 гг., Космические исследования, т. 47, № 2, стр. 81-94
[2] Yermolaev Y.I., Nikolaeva N.S., Catalog of large-scale solar wind phenomena during 1976–2016, VarSITI Newsletter, Vol. 14, July 2017

НИЗКОЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ РАДИОВОЛН КА ELI S ПРОШЕДШИХ ЧЕРЕЗ КОРОНУ СОЛНЦА

Андреев В.Е.

ФИРЭ РАН, г.Фрязино, Россия, v.e.andreev@gmail.com

Спектральный и кросс корреляционный анализы флуктуаций угла вращения линейно-поляризованных радиоволн из-за эффекта Фарадея (флуктуации FR) во время зондирования короны Солнца с КА Helios представлены во многих работах [1-3]. Спектральный анализ проводился чаще всего в диапазоне спектральных частот (10^{-3} - 0.5) Гц. В результате, например, было получено, что спектры состоят из двух частотных полос и имеют степенной характер с показателем α близким к 5/3 (Колмогоровский спектр) в полосе (10^{-3} - 0.02) Гц. Кросс корреляционный анализ данных, полученных одновременно на двух, разнесённых на большое расстояние, приёмных пунктах позволил оценить скорость движения плазменных неоднородностей на близких к Солнцу прицельных расстояниях ($\rho \le 10 \cdot R_s$, R_s – радиус Солнца) [3].

Проведенное новое исследование упомянутых FR позволил расширить диапазон спектральных частот до ($6 \cdot 10^{-5}$ – 0.2) Гц. Оказалось, что спектр мощности флуктуаций FR для $\rho \le 10 \cdot R_s$ имеет три частотные полосы: причём, в полосе частот ($6 \cdot 10^{-5}$ – $3.7 \cdot 10^{-3}$) Гц спектр можно аппроксимировать степенной функцией с показателем $\alpha \approx 1$; в полосе частот ($3.7 \cdot 10^{-3}$ – $2.6 \cdot 10^{-2}$) Гц спектр также близок к степенной функции с показателем $\alpha \approx 5/3$; а в полосе частот ($2.6 \cdot 10^{-2}$ – 0.2) Гц спектр имеет показатель близкий к $\alpha \approx 0$ (спектры двух последних частотных полос практически совпадают со спектрами в ранее проведенных работах по тем же данным).

В докладе будет представлен способ оценки скорости волн (или неоднородностей плазмы), движущихся поперёк трасс радиоволн. Способ основан на оценках фазовой задержки в кросс спектрах [4] для избранных спектральных низких частот.

Основной характер зависимости флуктуаций FR от времени, проявившийся на спектральных частотах флуктуаций FR в полосе частот ($6 \cdot 10^{-5}$ – $3.7 \cdot 10^{-3}$) Гц, определяется модуляцией FR неоднородностями плазмы и флуктуациями магнитного поля вблизи Солнца.

Работа выполнена при частичной поддержке программы Фундаментальных исследований президиума РАН "Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд. Переходные и взрывные процессы в астрофизике"

1. Andreev V.E., Efimov A.I., Samoznaev L.N., Chashei I.V., Bird M.K. // Solar. Phys. 1997. V. **17** P. 387.
2. Bird M.K. // Astrnom. & Astrophys. Transac. 2007. V. **2** P. 441.
3. Efimov A.I., Lukanina L.A., Rogashkova A.I., Samoznaev L.N., Chashei I.V., Bird M.K., Pätzold M. // Solar. Phys. 2015. V. **2 0** P. 3.
4. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Изд. «Мир». Москва. 1982. С. 390

МЕЖЗВЕЗДНЫЙ НЕЙТРАЛЬНЫЙ КИСЛОРОД В ГЕЛИОСФЕРЕ: АНАЛИЗ ДАННЫХ КА IBEX НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, balyukin.ii@gmail.com

Межзвездные нейтральные атомы кислорода проникают в гелиосферу из локальной межзвездной среды. Атомы кислорода, которые напрямую проникают в гелиосферу, принято называть первичными. Наряду с первичной существует также вторичная компонента межзвездных нейтральных атомов кислорода, которая образуется в окрестности гелиопаузы из-за перезарядки межзвездных ионов кислорода с атомами водорода и ее существование в гелиосфере было ранее предсказано теоретически (Izmodenov et al, 1997, 1999, 2004). В данной работе мы изучаем распределение как первичной, так и вторичной компонент атомов кислорода в гелиосфере, а также их потоки на орбите Земли.

Количественный анализ распределения межзвездного кислорода в гелиосфере 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 зависимости процессов ионизации и перезарядки на протонах солнечного ветра, а также силу солнечного гравитационного притяжения. В настоящей работе представлены результаты моделирования межзвездных атомов кислорода внутри гелиосферы на основе новой трехмерной модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой (Izmodenov and Alexashov, ApJS, 2015). Атомы кислорода особенно интересны потому, что они, в силу процесса перезарядки, сильно связаны с протонами, а также из-за того, что потоки межзвездного нейтрального кислорода напрямую измеряются на космическом аппарате (КА) Interstellar Boundary Explorer (IBEX). Первые количественные данные измерений потоков межзвездных атомов кислорода на КА IBEX были представлены в 2015 г. (Park et al., ApJS, 2015). Качественный анализ этих данных показывает, что наряду с первичными межзвездными атомами кислорода была также измерена вторичная компонента межзвездных атомов. Проводится сравнение результатов расчетов с данными, полученными на КА IBEX.

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОПАУЗ МАГНИТНЫХ ПЛАНЕТ И ГЕЛИОПАУЗЫ

Беленькая Е.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына (сокращенное название: НИИЯФ МГУ) elena@dec1.sinp.msu.ru

Рассматриваются особенности взаимодействия солнечного ветра с магнитосферами планет, обладающих собственным магнитным полем. Такое взаимодействие зависит и от расстояния планеты от Солнца, и от свойств магнитосферы. Расстояние от Солнца определяет величину и ориентацию магнитного поля солнечного ветра. К свойствам магнитосфер, обусловливающих особенности взаимодействия с солнечным ветром, относятся величина магнитного поля планеты, скорость ее вращения, источники внутри-магнитосферной плазмы и ее состав. Данные Вояджера 2 используются для аппроксимации условий вблизи гелиопаузы для уточнения оценок о возможности усиления магнитного поля в ближнем внешнем гелиошисе без изменения его ориентации.

ВЛИЯНИЕ ОТРАЖЕННЫХ ИОНОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФРОНТА МЕЖПЛАНЕТНОЙ КВАЗИПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЧИСЛАХ МАХА МЕНЬШЕ ПЕРВОГО КРИТИЧЕСКОГО ЧИСЛА МАХА

Бородкова Н.Л.[1], Еселевич В.Г.[2], Сапунова О.В.[1], Застенкер Г.Н.[1], Ермолаев Ю.И.[1], Шафранкова Я.[3], Немечек З.[3], Прех Л.[3]

[1] *Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия, nlbor@mail.ru*
[2] *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*
[3] *Карлов Университет, факультет математики и физики, г. Прага, Чешская Республика*

По данным прибора БМСВ, установленного на КА СПЕКТР-Р, измеряющего параметры плазмы солнечного ветра с временным разрешением ≈ 0.031 сек., исследовалась структура фронтов межпланетных ударных волн. За более чем шестилетний период работы прибора было зарегистрировано около 60 межпланетных ударных волн. Достигнутое высокое временное разрешение позволило определить по плазменным данным толщину рампа межпланетной ударной волны и длину колебаний, возникающих вблизи рампа. Были исследованы зависимости толщины рампа и длины колебаний вблизи рампа от параметров невозмущенного солнечного ветра и параметров ударного фронта. Получено, что толщина рампа ударной волны уменьшается с ростом угла θ_{Bn}.

Полученные результаты были сопоставлены с результатами изучения структуры головной околоземной ударной волны. Сравнение показало, что квазистационарное (усредненное по быстрым колебаниям) распределение плазмы за фронтом межпланетной ударной волны существенно более неоднородно, чем за фронтом околоземной, т.е. в магнитослое.

На основании анализа двух событий показано, что в структуре фронта квазиперпендикулярной межпланетной ударной волны с $M_A < M_{c1}$ и малым параметром $\beta<1$ присутствует небольшая доля отраженных от рампа протонов, играющих существенную роль в формировании структуры фронта.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 16-02-00669.

ВЫБРОСЫ КОРОНАЛЬНОЙ МАССЫ В СЕНТЯБРЕ 2017 Г. ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ БСА ФИАН

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

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Пущинская Радиоастрономическая обсерватория им. В.В.Виткевича АКЦ ФИАН

Представлены результаты анализа данных мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц в период вспышечной активности Солнца в первой декаде сентября 2017 г. Зарегистрированы усиления мерцаний, связанные с распространяющимися после окололимбовых вспышек межпланетными выбросами корональной массы. Оценены скорости распространения выбросов, которые составили около 2 000 км/с для выброса 7 сентября и около 1 000 км/с для выброса 6 сентября. Показано, что фланговая часть выбросов при распространении от Солнца тормозится при распространении от Солнца быстрее, чем лобовая часть. Показано, что ночные усиления секундных мерцаний в периоды высокой геомагнитной активности имеют ионосферное происхождение.

27-ДНЕВНЫЕ ВАРИАЦИИ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, ЭЛЕКТРОНОВ МэВ-НЫХ ЭНЕРГИЙ И ГАЛАКТИЧЕСКИХ ПРОТОНОВ

Дайбог Е.И., Логачев Ю.И.

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

В минимуме солнечной активности 2007-2008 гг. по данным Jp > 50 MeV прибора EPHIN, SOHO, были определены периоды 27-дневных вариаций скоростей счета, которые сопоставлены с периодами долгоживущих структур по электронам и солнечному ветру, регистрируемыми в точке либрации L1 . Вариации скорости счета в интегральном канале Ep>50 МэВ антикоррелировали с вариациями скорости солнечного ветра в течение 14 оборотов Солнца. Одновременно вариации скоростей счета высокоширотных нейтронных мониторов были синхронны с вариациями Jp > 50 MeV. В этот период наблюдались также периодические возрастания потоков юпитерианских электронов (Je > 1 MeV). Обнаружено отклонение вариаций потока Ю-электронов от ожидавшегося синодического периода Солнце-Земля, равного 27.3 суткам. Среднее значения периодов вариации составили 26.1 дней. До оптимальной магнитной связи Земля-Юпитер (~15 февраля 2008 г.) потоки Je и Jp сначала были коррелированны, затем профили начали «расходиться» и после оптимальной связи Земли с Юпитером наступил период антикорреляции, которая сохранялась в течение 7 оборотов Солнца вплоть до конца регистрации Ю-электронов. Объяснение этого эффекта найдено при учете изменения во времени структуры скоростей солнечного ветра и связанных с ним магнитных ловушек, а также влияния взаимного расположения в пространстве Земли и Юпитера.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР В ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ В ПЕРИОД МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ДЛИТЕЛЬНОЙ СЕРИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ СИГНАЛАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Ефимов А.И., Луканина Л.А., Чашей И.В., Бёрд М.К., Петцольд М., Векслер Д.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, efimov@ms.ire.rssi.ru

Представлены результаты экспериментов радиопросвечивания внутреннего солнечного ветра когерентными сигналами космических аппаратов *Helios-1*, *Pioneer-10*, *Pioneer-11*, *Венера-10*, *Viking* (1975/1976 гг.) и *Mars Express* (2008, 2010/2011 гг.). Данные относятся к периодам низкой солнечной активности. Впервые для радиозондирования одной и той же области околосолнечной плазмы были использованы радиосигналы двух или трех космических аппаратов одновременно.

Показано, что скорости движения потоков плазмы в области гелиоцентрических расстояний 2-20 радиусов Солнца сравнительно невелики и составляют 40-100 км/с, причем наблюдается возрастание скорости при удалении лучевой линии от Солнца. В длительных сериях измерений во внутреннем солнечном ветре зафиксировано существование долгоживущих областей с повышенным уровнем турбулентности, которые с периодом около 27 дней вызывают увеличение в 4-7 раз уровня флуктуаций зондирующих плазму сигналов.

Установлено, что области с повышенным уровнем турбулентности могут создавать квазипериодические вариации характеристик зондирующих плазму радиосигналов на частотах 3.1 и 5.8 мГц.

Информация о свойствах солнечного ветра в период минимума солнечной активности в определенной степени является достаточной для понимания фундаментальных процессов формирования и ускорения солнечного ветра.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы 1.7П Президиума РАН.

МГД МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУКТУР В МАГНИТОСЛОЕ ПЕРЕД МАГНИТОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ

Гриб С.А.[1] Леора С.Н [2]

[1]ГАО РАН, Пулково, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]СПбГУ, математико-механический факультет, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: sagrib@gmail.com; leora2008@mail.ru

Разрывные структуры солнечного ветра, проникающие в магнитослой, являются источником возникновения вторичных явлений – медленных ударных волн, волн разрежения и обратных быстрых ударных волн, т.е. различных макроскопических МГД структур. Интерес представляют также наблюдаемые комбинированные, или составные, разрывы, которые могут быть результатом нерегулярного, или маховского, отражения ударных волн.

Обсуждаются вопросы, касающиеся условий возникновения нерегулярного взаимодействия. Исследуется влияние угла наклона взаимодействующих ударных волн на комбинацию составного разрыва, возникающего при маховском отражении. Если в газодинамике нерегулярное взаимодействие приводит к «тройной ударной конфигурации», то в рамках МГД структура волн значительно усложняется. Обращается внимание на усиление завихрённости потока при прохождении через искривлённый фронт головной ударной волны. Время, затраченное на движение вторичных МГД волн внутри магнитослоя, составляет 3-5 минут, и оно зависит как от эффективного числа Маха для солнечных ударных волн и потока солнечного ветра, так и от величины ММП.

Авторы выражают благодарность Программе 7А Президиума РАН за содействие в научной работе.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ КАК ОТКЛИК НА КОРОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ МАСС ТИПА «СТЕЛС»

Громов С.В., Загайнова Ю. С., Громова Л.И.

ИЗМИРАН, г. Москва,Троицк, Россия, sgromov@izmiran.ru

Корональные выбросы массы (КВМ) типа «стелс» в последние несколько лет являются объектом интенсивных исследований в области физики Солнца, т.к. они нарушили уже устоявшиеся представления о существовании тесной связи КВМ с другими проявлениями солнечной активности (вспышки, эрупции волокон, EUV волны, джеты и др.). Возросший интерес к таким спорадическим событиям объясняется прикладными задачами, связанными с отслеживанием геоэффективности этих событий и прогнозом так называемых «проблемных» геомагнитных бурь, т.е. бурь без четкого солнечного источника. Данные, как космических, так и наземных наблюдений, указывают, что такие события являются неединичными. Стелс-КВМ относят к небольшой, но особенной группе из всего множества зарегистрированных КВМ, и их изучение, несомненно, необходимо для решения фундаментальных проблем физики Солнца, как, например, механизмы генерации выбросов массы. Анализируются 2 события стелс-КВМ с источниками на видимом диске Солнца, 12-19 сентября 2008г. и 25-31 августа 2009 г., для которых четко выявлены временный интервалы, в которых Земля находилась в зоне магнитного облака [1, 2]. Проведен поиск проявлений стелс-КВМ в межпланетном магнитном поле (ММП) и солнечном ветре на орбите Земли и исследована их геоэффективность. В обоих рассмотренных случаях геомагнитные возмущения, как отклик на КВМ типа «Стелс», проявляются в виде суббуревой активности на фоне малых бурь только в те промежутки времени, когда магнитные облака содержат в себе геоэффективную, т.е. отрицательную, Bz компоненту ММП, что соответсвует существующим представлениям о механизмах возникновения и развития буревой и суббуревой активности на Земле.

1. Wang Y., Wang B., Shen C., et al. // arXiv:1406.4684v1[physics.space- ph]. 2014.
2. Nieves-Chinchilla T., Vourlidas A., Stenborg G., et al. // arXiv:1311.6895v1[astro-ph.SR]. 2013.

МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ МОДУЛЯЦИИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

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

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, калинин273@sci.lebedev.ru

В работе представлена модель модуляции галактических космических лучей (ГКЛ), удовлетворительно описывающая долгопериодические вариации интенсивности в циклах солнечной активности как протонной так и электронной компонент. Модель основана на численном решении уравнения модуляции ГКЛ, коэффициенты которого везде в области решения (гелиосфера, $r_{max} = 122$ АЕ) формируются на основе измерительных данных по гелиосферному магнитному полю (ГМП) и солнечному ветру на орбите Земли, по турбулентной составляющей ГМП (по данным КА Улисс) и углу наклона токового слоя ГМП (данные Вилкокской обсерватории, США) в рамках общепринятого двухкомпонентного паркеровского магнитного поля. Два свободных параметра модели для солнечных циклов с разным $qA = \pm 1$ (q - заряд частицы, A - знак ГМП), определяющих тензор диффузии, являются константами при описании временного хода интенсивности и одинаковыми для протонов и электронов. Модель апробирована на ограниченном ряде опубликованных измерительных данных по интенсивности протонной и электронной компонент ГКЛ, полученных на спектрометре “Памела” (2006-2009 гг.) а также на многолетних (1983 г. - по настоящее время) данных стратосферных измерений заряженной компоненты ГКЛ (ФИАН).

МГД-ТИПЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ

Капорцева К.Б., Лукашенко А.Т., Веселовский И.С.

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

Представлена бинарная МГД-классификация типов солнечного ветра по четырём параметрам. В их число входят: скорость V, температура T, плотность n и β. Использованы 1-минутные данные OMNIWeb по протонам за 23-й и 24-й солнечные циклы. Параметр β определён по формуле: $\beta = \frac{8\pi n k_B T}{B^2}$, где B — модуль магнитного поля, k_B — постоянная Больцмана.

В пространстве указанных четырёх параметров установлены границы для быстрого и медленного ветра, горячего и холодного, плотного и разреженного, намагниченного и ненамагниченного. Ветер, у которого хотя бы один из параметров попадает в интервал между границами, считается относящимся к условному «нулевому» типу. Помимо него определены 16 типов ветра, которые описываются сочетаниями бинарных характеристик (быстрый-горячий-плотный-намагниченный, быстрый-горячий-плотный-ненамагниченный и так далее). Эти типы возникают вследствие различных проявлений солнечной активности и встречаются с разной частотой на разных фазах солнечного цикла.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НЕМОНОТОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА БОЛЬШИХ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ.

Р.А. Кислов[1], О.В. Хабарова[2], A. Bemporad[3], Х.В. Малова[1,4], В.Н. Обридко[2],

[1] *ИКИ РАН, Москва, Россия, kr-rk@bk.ru*
[2] *ИЗМИРАН, Троицк, Москва, Россия*
[3] *Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Osservatorio Astrofisico di Torino, via Osservatorio 20, I-10025 Pino Torinese, Torino, Italy.*
[4] *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Отдел излучений и вычислительных методов, Москва, Россия.*

По данным измерений ряда космических аппаратов на низких широтах в гелиосфере и по данным Ulysses на высоких широтах было обнаружено, что скорость солнечного ветра не монотонно зависит от гелиоцентрического расстояния. В частности, на низких широтах имеется область замедления солнечного ветра между 1.5 AU и 3 AU. Оценки в рамках идеальной МГД и предположения о доминировании газодинамического давления солнечного ветра над тепловым и магнитным давлениями показывают, что наблюдаемый профиль скорости может являться следствием двух пиков скорости солнечного ветра в ближней гелиосфере – на высоких и средних широтах. Неоднородности широтных распределений скорости вблизи Солнца транслируются по магнитным линиям на средние и дальние расстояния. Другая интерпретация, приводящая к тем же самым результатам – провал скорости плазмы вблизи границ корональной дыры. Пики скорости были найдены по данным дистанционных наблюдений солнечной атмосферы, начиная с 2.5 радиусов Солнца [Bemporad, 2017]. Природа пиков является предметом дальнейших исследований.

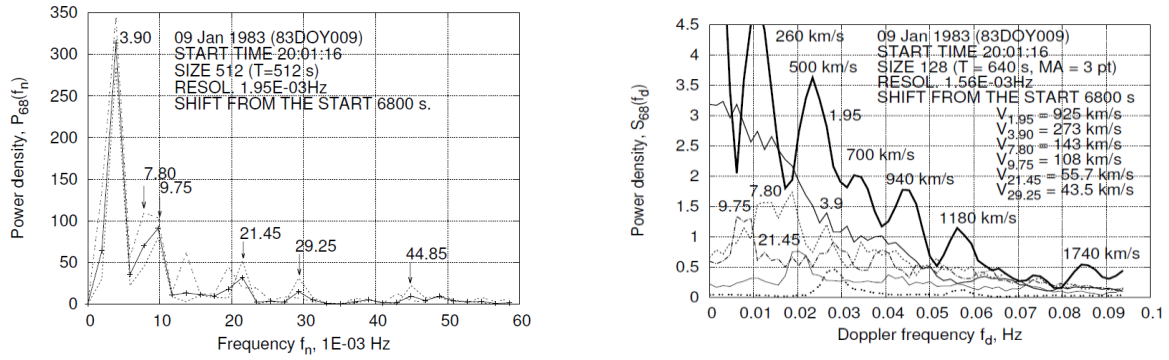
1. Bemporad A., Exploring inner acceleration region of solar wind: a study based on coronographic UV and visible light data, The Astrophysical Journal, 846:86 (17pp), 2017.

ОБРАТНОЕ ИНВЕРСНОЕ ДОПЛЕРОВСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Коломиец С.Ф., Луканина Л. А.

ФИРЭ РАН, г. Фрязино, Россия, smz@ms.ire.rssi.ru

Стабильность интерферометров со сверхбольшой базой, позволяет получать когерентные данные на времени порядка одной секунды, что считается достаточным для изучения солнечного ветра. Несмотря на это при обработке интерферометрических данных используются в основном дисперсионные и классические методы, основанные на кросс-корреляции сигналов. Их недостаток состоит в отсутствии оперативного анализа динамической структуры среды и использовании априорных данных, точность которых невысока, а достоверность – не поддается верификации. В таких условиях учет тонких эффектов, вызываемых сложной динамикой КА, выглядит необоснованно и допущение о неизменном расстоянии между лучами интерферометра является закономерным.



а) б)

Рис. 1 – Спектры флуктуаций сигнала и их (сплошная линия) кросс-спектр (а) и доплеровские спектры отдельных частотных составляющих (б).

Учет относительного движения лучей в рамках специально разработанных подходов к доплеровским измерениям на интерферометрах со сверхбольшой базой позволил установить наличие явно выраженных мод на доплеровских спектрах. Учитывая, что сигналы, принимаемые в плечах интерферометра хаотические, исследовалась разница фаз соответствующих составляющих фурье разложения. Для рассмотрения отбирались наиболее интенсивные составляющие пульсаций сигнала, которые к тому же слабо трансформируются при перемещении между лучами (см. Рис. 1).

Интерпретация полученных результатов в целом сдерживается отсутствием необходимых сведений о параметрах приемного оборудования и усложняется в низкочастотной области неизбежной предобработкой нестационарных сигналов радиопросвечивания. Следует указать и на возможность «недодискретизации» исходных сигналов, которая следует из превышения доплеровскими частотами соответствующих им частот флуктуаций. Тем не менее, в первом приближении, можно сделать выводы о многокомпонентной структуре потока, но скорости компонент в основном соответствуют характерными скоростями медленного и быстрого солнечного ветра. Наиболее высокоскоростная составляющая (порядка 1000 км/с), наблюдается в области низких частот. По указанным выше причинам, её физический смысл требует дальнейшего уточнения. Полученные результаты позволили также более ясно сформулировать ряд фундаментальных вопросов, касающихся использования хаотических сигналов в фазовых измерениях.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № АААА-А16-116052050055-4.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАЛИМБОВОГО ИСТОЧНИКА АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ ПО ЭФФЕКТУ «ГАЛО» В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Козлов В.И.

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

По изучению «групповых» особенностей поведения флуктуаций интенсивности галактических космических лучей исследуется переходный режим в окрестности фронта крупномасштабного возмущения солнечного ветра – межпланетной ударной волны. *Нелокальные* свойства космических лучей, обусловленные фрактальным характером замагниченной среды в окрестности ударной волны, проявляются в *кластеризации* фазового объема занимаемого космическими лучами, т.е. в *коррелированности* флуктуаций космических лучей. Коррелированные флуктуации или *пучки* частиц космических лучей (*эффект* «*Гало*») являются, по сути - *предвестниками* ударной волны.

Создана роботизированная экспертная система раннего обнаружения ударных волн «Cyber-FORSHOCK» с заблаговременностью порядка ~1 суток на базе наземного мониторинга космических лучей (http://www.forshock.ru/pred.html). Для этого (для начала, в тестовом режиме) используются 5-минутные данные мировой сети высокоширотных станций космических лучей: http://www.nmdb.eu. Показана возможность обнаружения **залимбового** источника активности на Солнце по эффекту «Гало» в космических лучах.

ОБ ЭФФЕКТЕ «ОМОЛОЖЕНИЯ» В СОЛНЕЧНЫХ И ГЕЛИОСФЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ И ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ

[1]Крайнев М.Б., [1]Базилевская Г.А., [2]Майоров А.Г.

[1]ФИАН РАН, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru

[2]МИФИ, г. Москва, Россия

Обсуждаются проявления, причины и смысл т.н. явления «омоложения» (rejuvenation, Sheeley & Wang, ApJ, **809**, 113, 1915) – резкого короткого всплеска в некоторых характеристиках на Солнце и в гелиосфере – наблюдаемого в определённой фазе последних циклов солнечной активности.

Необычная 27-дневная вариация в интенсивности ГКЛ рассматривается по данным нейтронных мониторов и космических аппаратов. Затрагиваются вопросы о роли в вариации гелиосферных характеристик (скорости солнечного ветра, радиальной компоненты магнитного поля и формы глобального гелиосферного токового слоя) тороидальной и полоидальной ветвей солнечной активности.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проекты 16-02-00100, 17-02-00584, 18-02-00582.

О НЕКОТОРЫХ ДЕТАЛЯХ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГКЛ

[1]Крайнев М.Б., [1]Базилевская Г.А., [1]Калинин М.С., [1]Свиржевский Н.С., [2]Майоров А.Г.

[1]ФИАН РАН, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru

[2]МИФИ, г. Москва, Россия

Глобальный гелиосферный токовый слой (ГГТС) и связанные с ним явления в гелиосфере рассматриваются как мощное проявление полоидальной ветви солнечной активности. В стандартных моделях гелиосферы, используемых при исследовании распространения ГКЛ, учитываются некоторые из явлений, связанных с ГГТС: магнитный дрейф в униполярных областях гелиосферного магнитного поля (ГМП) и на ГГТС; существенные вариации скорости солнечного ветра и связанного с ней ГМП с изменением углового расстояния от ГГТС.

В моделях, используемых нашей группой, учитываются некоторые другие явления:

1. Разный спектр неоднородностей ГМП вне и внутри зоны секторной структуры ГМП;
2. Источник интенсивности ГКЛ, появляющийся при переходе от трйхмерного (3D) к двумерному (2D) транспортному уравнению для интенсивности ГКЛ.

В докладе обсуждаются пути 1) усовершенствования моделирования первого из этих явлений и 2) проверки правильности моделирования нами второго явления.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проекты 16-02-00100, 17-02-00584, 18-02-00582.

ICARUS MISSION, NEXT STEP OF CORONAL EXPLORATION AFTER SOLAR ORBITER AND SOLAR PROBE PLUS.

Vladimir Krasnoselskikh, Bruce T. Tsurutani, Marco Velli, Milan Maksimovic, Mikhail Balikhin, Thierry Dudok de Wit, Matthieu Kretzschmar, and the ICARUS Team

CNRS-University of Orleans, LPCE, Orleans CEDEX 2, France, vkrasnos@cnrs-orleans.fr

The primary scientific goal of ICARUS, a mother-daughter satellite mission, will be to determine how the magnetic field and plasma dynamics in the outer solar atmosphere give rise to the corona, the solar wind and the entire heliosphere. Reaching this goal will be a Rosetta-stone step, with results broadly applicable within the fields of space plasma physics and astrophysics. Within ESA's Cosmic Vision roadmap, these science goals address Theme 2: How does the solar system work? "by investigating basic processes occurring from the Sun to the edge of the Solar System." ICARUS will not only advance our understanding of the plasma environment around the Sun, but also of the numerous magnetically active stars with hot plasma coronae. ICARUS I will perform the first ever direct in situ measurements of electromagnetic fields, particle acceleration, wave activity, energy distribution and flows directly in the regions where the solar wind emerges from the coronal plasma. ICARUS I will have a perihelion at 1 solar radius from its surface, it will cross the region where the major energy deposition occurs. The polar orbit of ICARUS I will enable crossing the regions where both the fast and slow wind are generated. It will probe local characteristics of the plasma and provide unique information about the physical processes involved in the creation of the solar wind. ICARUS II will observe this region using remote-sensing instruments, providing simultaneous information about regions crossed by ICARUS I and the solar atmosphere below as observed by solar telescopes. It will thus provide bridges for understanding the magnetic links between the heliosphere and the solar atmosphere. Such information is crucial to our understanding of the plasma physics and electrodynamics of the solar atmosphere. ICARUS II will also play a very important relay role, enabling the radio-link with ICARUS I. It will receive, collect and store information transmitted from ICARUS I during its closest approach to the Sun. It will also perform preliminary data processing before transmitting it to the Earth. Performing such unique in situ measurements in the region where presumably deadly solar energetic particles are energized, ICARUS will make fundamental contributions to our ability to monitor and forecast the space radiation environment. Such knowledge is extremely important for future space explorations, especially for long-term manned space missions.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ В ПЕРИОД ГЕОМАГНИТНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ В ЯНВАРЕ 2015 г.

Кравцова М.В., Сдобнов В.Е.

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

По данным наземных измерений космических лучей (КЛ) на мировой сети станций методом спектрографической глобальной съемки исследовано поведение интенсивности КЛ в период геомагнитного возмущения в январе 2015 г. Приведены спектры вариаций КЛ, показатели спектра этих вариаций при аппроксимации спектра степенной функцией от жесткости частиц в диапазоне жесткостей от 10 до 50 ГВ, питч-угловая анизотропия КЛ, а также изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания.

Показано, что показатели спектра вариаций КЛ при его аппроксимации степенной функцией от жесткости частиц в фазе максимальной модуляции больше, чем на фазах спада и восстановления интенсивности КЛ.

ВЛИЯНИЕ ЮПИТЕРА НА АКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

А.Ю.Ретеюм

МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, aretejum@yandex.ru

Задача определения условий, при которых происходит усиление солнечного ветра и энерговыделение на Солнце интенсифицируется, в первом приближении решается путем изучения отклика звезды на движение планет. Автором обнаружен эффект подавления активности солнечной короны в период перемещения Юпитера около точки перигелия, в особенности в период сближения небесных тел (рис. 1).

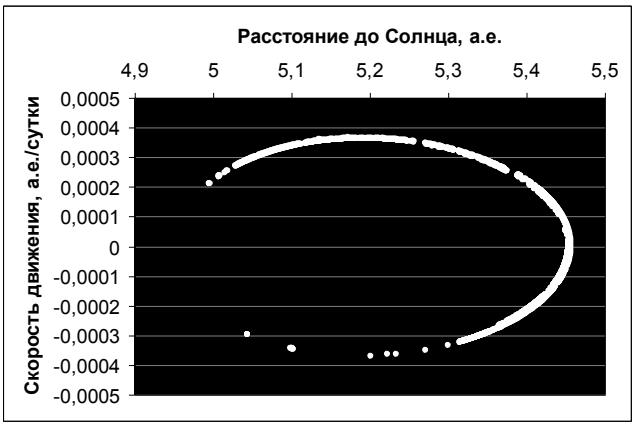


Рис. 1. Положение Юпитера на орбите в дни с аномально высокими значениями коронального индекса (≥15); 2703 случая в период 1939-2008 гг. Источник: расчет по данным Slovak Coronal Index

Полученный вывод подтверждается результатами анализа сведений по корональным выбросам массы за 1976-2017 гг. и солнечному ветру за 1996-2017 гг. Дополнительным свидетельством ведущей роли экзогенного фактора служит зависимость больших чисел Вольфа от пространственно-временного положения Юпитера (рис. 2).

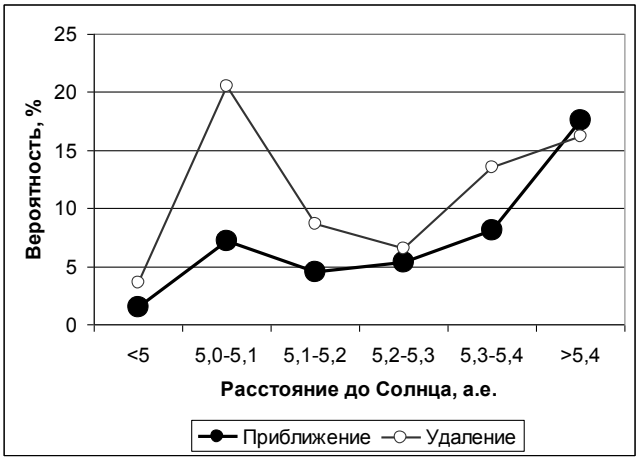


Рис. 2. Изменение вероятности значений суточных чисел Вольфа ≥ 250 при движении Юпитера; 2474 случая в период 1849-2017 гг. Источник: расчет по данным World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number

Установленная закономерность объясняется соприкосновением внешних оболочек двух небесных тел с прямым вращением. Противоположное влияние на активность короны Солнца оказывают Венера и Уран, обладающие обратным вращением.

ОСОБЕННОСТИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННЫХ ФЛУКТУАЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА.

Рязанцева М.О. [1], Рахманова Л.С.[1] , Будаев В.П. [1,2], Застенкер Г.Н.[1], Ермолаев Ю.И.[1], Лодкина И.Г. [1], Шафранкова Я.[3], Немечек З.[3], Прех Л.[3]

[1]*ФГБУН Институт Космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия, orearm@gmail.com*

[2] *Российский Научный центр «Курчатовский Институт» (РНЦ КИ), Москва, Россия.*

[3] *Charles University in Prague, Czech Republic.*

Турбулентные характеристики флуктуаций плазмы солнечного ветра могут значительно меняться в зависимости от условий их наблюдения. Различные типы крупномасштабных потоков, такие как невозмущенный солнечный ветер, EJECTA (межпланетный корональный выброс массы), MC (магнитное облако), CIR (область сжатия на границе быстрых и медленных потоков), SHEATH (область сжатия перед EJECTA/MC), обычно характеризуются специфическими значениями плазменных параметров, которые могут влиять на формирование турбулентного каскада. В данной работе анализируются свойства флуктуаций потока ионов солнечного ветра в области перехода от магнитогидродинамического к кинетическому масштабу на основе измерений с высоким временным разрешением с помощью плазменного спектрометра БМСВ на борту КА СПЕКТР-Р. Рассмотрены измерения флуктуаций потока наблюдаемые внутри различных крупномасштабных типов солнечного ветра и проведено сравнение основных характеристик турбулентности в них. Показано, что спектры флуктуаций, характеризующиеся наиболее типичными формами (спектры с двумя наклонами и одним изломом и спектры с уплощением в окрестности излома), наблюдаются во всех типах солнечного ветра примерно в равных пропорциях. Тем не менее, можно отметить, что спектры с одним изломом наиболее часто наблюдаются в областях SHEATH, тогда как спектры с уплощением в окрестности излома более часты в невозмущенном солнечном ветре. Спектры флуктуаций с нелинейным загибом на кинетических масштабах в значительном числе случаев наблюдаются внутри MC. Более экзотические формы спектров (спектры с пиком в области излома спектра, и спектры без укручения на кинетических масштабах) относительно немногочисленны и чаще наблюдаются в EJECTA. Обсуждается связь спектральных характеристик и статистических свойств флуктуаций потока ионов от типа крупномасштабного течения в солнечном ветре.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 16-12-10062.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНЗИЕНТНЫХ СТРУКТУР СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПЕРИОД РОСТА 24-ГО ЦИКЛА

Д.Г Родькин[1], В.А. Слемзин[1] А.Н. Жуков[2 3] Ю.С. Шугай[3], И.С. Веселовский[3 4]

[1]Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, rodkindg@gmail.com
[2]Solar-Terrestrial Centre of Excellence – SIDC, Royal Observatory of Belgium, Brussels, Belgium
[3]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия
[4]Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия

Идентификация и изучение транзиентных потоков солнечного ветра и их корональных источников имеет важное практическое и теоретическое значение. На основании данной информации ведется прогноз геомагнитных возмущений, что является одной из ключевых проблем солнечно-земной физики.

В данной работе исследованы особенности транзиентных структур солнечного ветра в период роста 24 цикла (с января 2010 по август 2011). Проведена идентификация солнечных источников межпланетных корональных выбросов массы (МКВМ). Для поиска корональных выбросов массы (КВМ), направленных в сторону Земли и являющихся возможными источниками МКВМ, использовались данные с космических аппаратов: STEREO, SDO(AIA), SOHO(LASCO). Результат идентификации КВМ показал, что 11 из 23 (48%) исследованных нами МКВМ связаны с несколькими возможными источниками на Солнце. Предположительно, в этих случаях происходило взаимодействие между несколькими КВМ. Дополнительно были выделены случаи взаимодействия между КВМ и высокоскоростным потоком солнечного ветра (ВСП СВ) из области корональной дыры. Было определено три вида комплексных структур, образующихся в результате взаимодействия потоков: (1) структуры, образующиеся в результате прихода нескольких следующих друг за другом КВМ (слабое взаимодействие КВМ-КВМ); (2) структуры, образующиеся при наложении двух или более КВМ в гелиосфере (сильное взаимодействие КВМ-КВМ); (3) комплексные участки взаимодействия, образующиеся при взаимодействии КВМ с потоками ВСП СВ (MIR – merged interaction regions). В качестве одного из основных параметров при исследовании транзиентных потоков солнечного ветра нами использовался ионный состав плазмы, который устанавливается в короне на расстояниях менее 4 солнечных радиусов и не изменяется в гелиосфере. В случае слабого КВМ-КВМ взаимодействия профили кинетических параметров плазмы и ионного состава (C^{6+}/C^{5+}, O^{7+}/O^{6+}, Fe/O и средний заряд ионов железа) могут содержать несколько пиков, связанных с последовательным прохождением КВМ. В случае сильного КВМ-КВМ взаимодействия, в рассмотренном нами случае, пики в профиле ионного состава, соответствующие КВМ, появляются раньше относительно участков, где температура протонов ниже ожидаемой (один из признаков КВМ). В случае КВМ-ВСП взаимодействия измеренный профиль ионного состава зависит от последовательности прихода потоков и параметров их источников на Солнце. Полученная средняя длительность структур солнечного ветра, образованных в результате взаимодействия, составляет 2,4 дня, что более чем в 2 раза превышает таковую для транзиентных событий с одним источником (1,12 дня).

Результаты исследования предполагается использовать для улучшения методов прогнозирования параметров солнечного ветра в околоземном пространстве и предсказания геомагнитных возмущений по данным солнечных наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 17-12-01567 (В.А. Слемзин, Д.Г. Родькин) и программы ESA-PRODEX (А.Н. Жуков) Федерального ведомства по научной политике Бельгии.

Изучение тонкой структуры фронтов межпланетных ударных волн по данным прибора БМСВ

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

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

Исследовалась тонкая структура фронтов Межпланетных Ударных Волн (МУВ), зарегистрированных плазменным спектрометром БМСВ, установленным на спутнике СПЕКТР-Р. Спектрометр позволяет непрерывно получать параметры плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением – 0.031 с для потока и направления и 1 с - для скорости, температуры и концентрации. Это позволяет изучать внутреннюю структуру фронта МУВ - рамп, подножие, овершут, а также колебания (как по параметрам плазмы, так и по значениям магнитного поля) как перед, так и за фронтом. 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. Особое внимание было уделено наблюдавшимся до фронта колебаниям (примерно в половине случаев). Их длина составила от 70 до 400 км.

Были построены годографы поведения векторов магнитного поля и потока в период колебаний в проекции на фронт МУВ или на плоскость, перпендикулярную среднему значению параметра.

Работа была выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 16-02-00669 А и № 16-02-00125 А.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Ю.С. Шугай[1], В.А. Слемзин[2] Д.Г Родькин[2]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

[2]Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, rodkindg@gmail.com

Рассматриваются принципы построения полуэмпирической модели прогнозирования потоков солнечного ветра (СВ) в околоземном пространстве на основе анализа изображений Солнца, короны и фотосферного магнитного поля, получаемых с космических аппаратов, и результаты тестирования модели на событиях 24-го солнечного цикла. Прогнозирование выполняется на основе предложенного ранее авторами иерархического подхода, позволяющего в рамках одной модели отдельно рассчитывать параметры трех типов потоков солнечного ветра: высокоскоростных потоков из корональных дыр, медленных потоков из пояса стримеров и межпланетных корональных выбросов масс (МКВМ).

Для определения времени и скорости прихода к Земле квазистационарных потоков СВ (высокоскоростных потоков и потока фонового медленного ветра) используется анализ изображений с ВУФ-телескопа AIA в каналах 171, 193 и 211Å, и магнитограмм HMI с космической обсерватории SDO. Расчет времени прихода и скорости межпланетных МКВМ выполняется комбинированным методом, который включает выбор возможных источников – направленных в сторону Земли корональных выбросов массы, зарегистрированных коронографами SOHO/LASCO и STEREO/Cor2, и применение модели динамического взаимодействия МКВМ с фоновым солнечным ветром (Drag-based model).

Расчет разных типов потоков СВ в рамках одной модели позволяет идентифицировать случаи, когда в гелиосфере одновременно распространяются несколько потоков одного или различных типов. При определенных соотношениях временных и кинематических параметров этих потоков возникает их взаимодействие в гелиосфере, при котором могут образовываться комплексные структуры солнечного ветра с параметрами, отличающимися от параметров исходных потоков, и может измениться их геоэффективность.

Эффекты солнечного ветра и солнечной УФ радиации в межгодовых изменениях магнитной активности в полярных шапках за период с 1997 по 2017 год.

О.А.Трошичев и Д.А.Сормаков
Арктический и Антарктический НИИ, С.Петебург, 199397
olegtro@aari.ru

Магнитная активность в полярных шапках, генерируемая солнечным ветром, характеризуется индексом PC, который вычисляется по данным магнитных наблюдений на двух околополюсных станциях: Туле в Гренландии (*PCN*) и Восток в Антарктиде (*PCS*). При этом магнитная активность отсчитывается от уровня спокойной суточной вариации магнитного поля (*QDC*), чтобы исключить из рассмотрения эффект изменения ионосферной проводимости, обусловленный сезонными и суточными вариациями солнечной УФ радиации в полярных шапках [Troshichev et al., 2006]. Величина *PC* индекса определяется с помощью статистически обоснованных коэффициентов регрессии, описывающих связь между магнитной активностью и межпланетным электрическим полем E_{KL} (определяемым согласно формуле [Kan and Lee, 1979]). Как результат, в каждый конкретный момент времени величина *PC* индекса соответствует полю E_{KL} вне зависимости от времени суток, сезона и положения станции.

По данным об 1-мин *PCN* и *PCS* индексах и соответствующих *QDC* были рассчитаны среднесуточные величины *PC* индекса и амплитуды *QDC* (разность между максимальными и минимальными значениями *QDC*) за каждый день в период с 1997 по 2017 год. Ход среднесуточного *PC* индекса рассматривался как показатель геоэффективности солнечного ветра (т.е. энергии солнечного ветра, поступающей в магнитосферу). Ход амплитуд *QDC* (строго различающийся в летние и зимние сезоны) рассматривался как показатель геоэффективности солнечного УФ излучения в различные эпохи солнечного цикла. Результаты анализа свидетельствуют о существенном различии межгодовых изменений геоэффективности солнечного ветра и солнечной УФ радиации. Проводится сопоставление указанных показателей с ходом других характеристик солнечной активности за 20-летний период.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТОПАУЗЫ И ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПЛАЗМЫ МАГНИТОСЛОЯ ЗЕМЛИ

Рахманова Л.Р., Рязанцева М.О., Застенкер Г.Н., Веригин М.И.

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

Магнитослой является естественной лабораторией для изучения турбулентности плазмы. Магнитопауза и головная ударная волна служат препятствием для свободно развивающейся турбулентности в магнитослое, чем вносят существенный вклад в формирование турбулентного каскада. В последнее десятилетие особый интерес представляет исследование флуктуаций параметров плазмы и магнитного поля с частотами более гирочастоты протона, которые формируют т.н. кинетический масштаб. На этом масштабе существенную роль в формировании турбулентного каскада начинают играть кинетические эффекты. На сегодняшний день влияние магнитопаузы и головной ударной волны на кинетическую часть турбулентного каскада в магнитослое исследовались статистически только на основе данных по магнитному полю. В настоящей работе используются данные прибора БМСВ на спутнике Спектр-Р, который измеряет параметры плазмы с временным разрешением 31 мс. Рассматриваются спектры флуктуаций величины потока ионов в различных частях магнитослоя - около границ и в середине. Исследуется влияние границ магнитослоя на форму спектра. Помимо этого рассматривается, как изменяются характеристики спектров, такие как наклоны на МГД масштабе и на кинетическом масштабе, а также частота перехода между этими масштабами, при пересечении спутником магнитослоя. В работе показано, что вероятность наблюдения спектров определенного типа существенно изменяется при пересечении магнитослоя: спектры с пиком на переходном (между МГД и кинетическим) масштабе наблюдаются чаще вблизи головной ударной волны, тогда как спектры с плато на переходном масштабе наблюдаются, как правило, ближе к магнитопаузе. Выявлено, что спектры с наибольшим наклоном на кинетическом масштабе наблюдаются в магнитослое вблизи квази-параллельной головной ударной волны.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 16-12-10062.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СТРУКТУР С ОТКРЫТЫМ ПОТОКОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛИНИИ Н-АЛЬФА ЗА ПЕРИОД 130 ЛЕТ

Тлатов А. Г.[1,2]
[1]*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, tlatov@mail.ru*
[2]*КалмГУ, Элиста*

Выполнена реконструкция областей с открытой конфигурацией магнитных силовых линий по данным синоптических Н-альфа карт за период более 100 лет. Области открытой конфигурации на фотосфере находились как совокупность точек оснований силовых линий, достигающих поверхности источника на высоте R~2.5Ro. Показано, что максимум площади открытых структур в цикле солнечной активности достигается на фазе спада, за 1-2 года до наступления минимума. Суммарная площадь открытых структур в текущем цикле n имеет высокую корреляцию (R~0.9) с амплитудой последующего цикла активности n+1. Также существует вековая огибающая площади с максимумом в середине 20-го века. Высказано предположения связи между площадью открытых структур и методом прогноза солнечной активности, предложенным А. Олем, а также вековым поведением геомагнитного индекса АА.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-02-00098 и РНФ проект 15-12-20001.

ИЗМЕНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ В РАЗНЫХ ТИПАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю., Бородкова Н.Л.

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

В настоящей работе на основе базы межпланетных данных OMNI и нашего "Каталога крупномасштабных явлений солнечного ветра" (см. сайт ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/ и статью [1]) анализируется временной ход углов (долготный φ и широтный ϑ) вектора скорости солнечного ветра (СВ) для 8 характерных последовательностей возмущенных типов течений (1) CIR, (2) IS/CIR, (3) Ejecta, (4) Sheath/Ejecta, (5) IS/Sheath/Ejecta, (6) MC, (7) Sheath/MC, и (8) IS/Sheath/MC, где используются следующие обозначения: IS - межпланетная ударная волна, CIR - область сжатия перед быстрым потоком СВ, MC - магнитное облако, Ejecta - межпланетное проявление выброса корональной массы, не являющиеся MC, и Sheath - область сжатия перед MC и Ejecta. Чтобы учесть разную длину интервалов наблюдений отдельных типов СВ, мы используем двойной метод наложенных эпох [2].

Используя такую же методику в недавней работе [3], мы получили следующие результаты: (1) подтвердили, что в среднем долготный угол φ в CIR растет и изменяется приблизительно от -2 до $+2^0$; (2) впервые показали, что угол φ в Sheath изменяется также, как в CIR, и (3) в MC и Ejecta угол φ изменяется в обратную сторону. При этом средний широтный угол ϑ практически сохраняется постоянным около 0^0. Мы предположили, что наблюдаемое поведение угла φ связано с вращением Солнца и постоянным взаимодействием разноскоростных потоков СВ в плоскости эклиптики, в то время как угол ϑ зависит от столкновения потоков поперек плоскости эклиптики, и таких столкновений, направленных в обе стороны эклиптики, приблизительно равное число, и поэтому среднее значения угла ϑ оказывается постоянным около 0. В настоящей работе мы сравнили средние углы в первой и второй половинах интервалов и провели селекцию событий по изменению направления вектора скорости. Полученные результаты подтвердили наше предположение, что существует приблизительно одинаковое число событий, в которых потоки СВ при столкновении имеют компоненту скорости как вверх относительно эклиптики, так и вниз. При этом было показано, что средний временной профиль угла ϑ имеет аналогичную форму (с учетом направление его изменения) для угла φ.

Работа поддержана Российским Научным фондом, проект № 16-12-10062.

1. Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. // Космич. исслед. 2009. Т. 47. № 2. С. 99–113.

2. Yermolaev Y.I., Nikolaeva N.S., Lodkina I.G., Yermolaev M.Y. // Ann. Geophys. 2010. V. 28. P. 2177–2186.

3. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Nikolaeva N.S., Yermolaev M.Y. // J. Geophys. Res. 2015. V. 120(9). P. 7094–7106. doi 10.1002/2015JA021274

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ НА 1 а.е. В 1996-2017 гг.

Зельдович М.А., Логачев Ю.И., Сурова Г.М.

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия,ms.zeldovich@mail.ru

Исследуются временные вариации интенсивностей и относительного содержания ионов ^{3}He, ^{4}He, C, O и Fe с энергиями 0.04–2 МэВ/нуклон по данным прибора ULEIS на к.а. ACE в 23 и 24 солнечных циклах. Получены положительные значения корреляций интенсивностей ионов с параметрами солнечной активности и углом наклона токового слоя. В 23 цикле наилучшая корреляция наблюдалась между интенсивностями ионов и числом вспышечных протонных событий по каталогу СПС 1997-2008 [1], что предполагает вспышечное происхождение ионов. В противоположность этому, временное поведение отношений ^{3}He/^{4}He, C/O и Fe/O различно и зависит от величины первого ионизационного потенциала (FIP) ионов. Величины ^{3}He/^{4}He и C/O с FIP > 10 эВ остаются постоянными на протяжении 2 последних циклов, в то время как Fe/O с FIP(Fe)=7.6 эВ изменяется в фазе с солнечными циклами, демонстрируя наибольшие значения в максимумах циклов. Этот результат согласуется с предположением о преимущественно вспышечном происхождении надтепловых ионов во внутренней гелиосфере.

В области минимума 23 цикла в 2006-2012 гг были обнаружены 39 потоков надтепловых ионов из приэкваториальных корональных дыр (КД). При этом в потоках солнечного ветра (СВ) из этих КД величины $O^7/O^6 \leq 0.145$ и заряд иона Fe Q(Fe) < 10 по данным прибора SWICS на к.а. ACE соответствовали параметрам потоков тепловых ионов из КД. В период спада активности 24 цикла в 2015-17 гг. наблюдались 32 потока ионов из КД, среди которых был обнаружен рекуррентный поток СВ из КД, существовавший в течение 7 солнечных оборотов. Было показано, что величины C/O и Fe/O надтепловых энергий в потоках из КД соответствовали содержанию тепловых ионов в потоках СВ из КД (данные SWICS), демонстрируя одинаковую зависимость содержания тепловых и надтепловых ионов от скорости СВ. Полученные результаты подтверждают высказанное нами ранее по данным 23 цикла предположение, что, возможно, исследованные здесь надтепловые ионы представляют собой высокотемпературный «хвост» солнечного ветра из КД.

1. Logachev Yu.I., Bazilevskaya G.A., Vashenyuk E.V., Daibog E.I., Ishkov V.N., Lazutin L.L., Miroshnichenko L.I., Nazarova M.N., Petrenko I.E., Stupishin A.G., Surova G.M., Yakovchouk O.S.. // Catalog of Solar Proton Events in the 23rd Cycle of Solar Activity (1996 – 2008). Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, M., 740 стр., DOI: *10.2205/ESDB-SAD-001.*

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ НА 1 а.е. В МАКСИМУМАХ АКТИВНОСТИ 23 И 24 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ

Зельдович[1] М.А., Логачев[1] Ю.И., Кечкемети[2] К

[1]*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, ms.zeldovich@mail.ru*
[2] *Wigner Research Centre for Physics Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary*

Было проведено сравнение интенсивностей надтепловых (0.04–2 МэВ/нуклон) ионов ^{3}He, ^{4}He, C, O и Fe в последних двух солнечных циклах по данным прибора ULEIS на к.а. ACE. Показано, что во время максимумов циклов интенсивности всех ионов меньше в 24 цикле, как в возмущенные, так и в безвспышечные периоды солнечной активности, где, соответственно, относительное содержание этих ионов было близко к содержанию во вспышках солнечных космических лучей или в солнечной короне. Относительное содержание ионов в потоках частиц служит указанием на популяцию частиц, ускоренных в различных процессах на Солнце или в межпланетном пространстве и образующих надтепловые потоки. Распределения Fe/O показали бóльшие средние и медианные значения в 23 цикле, в то время как распределения C/O и ^{3}He/^{4}He для 23 и 24 циклов не демонстрируют различий (рис. 1). Полученные результаты позволяют предположить, что потоки надтепловых ионов Fe от Солнца во вспышках и в короне уменьшились в 24 цикле в большей степени, чем потоки ^{3}He, ^{4}He, C, O.

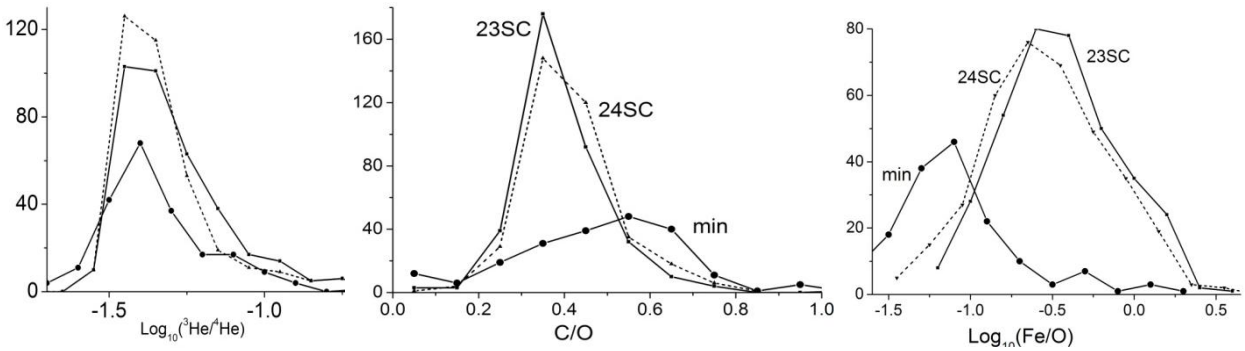


Рис. 1. Распределения 5-ти дневных средних ~0.08−0.16 МэВ/нуклон значений относительного содержания ионов 3He/4He, C/O и Fe/O. *Сплошные тонкие кривые* представляют распределения фаз возрастания и максимума 23 цикла СА (1998–2002) и *пунктирные линии* – для тех же периодов 24 цикла (2010–14). *Толстые сплошные кривые* представляют распределения во время минимума солнечной активности (2008-2009).

НАБЛЮДЕНИЯ КОМЕТНЫХ ХВОСТОВ В ГРАНД-МИНИМУМАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Золотова[1] Н.В., Сизоненко[2] Ю.В., Вохмянин[1] М.В., Веселовский[3,4,5] И.С.

1) Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия, ned@geo.phys.spbu.ru;
2) Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, г. Киев, Украина;
3) Московский государственный университет, г. Москва, Россия;
4) НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия;
5) Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия.

Рассмотрен вопрос о том, действительно ли наблюдатели в период с 1000 по 1800 г. оставили исторические записи о наблюдении плазменных хвостов комет, которые позволили бы судить о физических параметрах солнечного ветра в прошлом. Особое внимание уделено периодам гранд-минимумов. Проведен анализ формы, цвета и ориентации кометных хвостов. С использованием расчетов Бесселя и Бредихина мы указываем, что значения углов между осями хвостов и продолженными радиус-векторами комет превышают 10 градусов, что характерно для пылевых хвостов. Также отметим, что визуальные наблюдения ионных хвостов комет весьма затруднены из-за спектрального состава их излучения. Это подтверждает наш вывод о том, что наблюдавшиеся в течение восьми веков кометные хвосты мало пригодны для дискуссии о физических параметрах солнечного ветра в прошлом.

Структура солнечного ветра в гелиосфере в зависимости от солнечного цикла: динамика гелиосферного токового слоя

Маевский Е.В., Кислов Р.А., Малова Х.В., Хабарова О.В., Попов В.Ю., Петрукович А.А.

Построена асимметричная МГД-модель солнечного ветра, позволяющая исследовать практически на всех гелиоширотах пространственное распределение характеристик магнитного поля и плазмы на радиальных расстояниях от 20 до 400 радиусов Солнца. В модели учтены изменения магнитного поля Солнца в течение части солнечного цикла, когда доминирующее дипольное магнитное поле сменяется квадрупольным. Получены самосогласованные решения для магнитного поля, плотностей плазмы и тока в солнечном ветре (СВ) в зависимости от фазы солнечного цикла. Показано, что в период доминирования дипольной магнитной компоненты в солнечном ветре формируется гелиосферный токовый слой (ГТС), который является частью более сложной системы продольных и поперечных токов, симметричных в северном и южном полушариях. По мере возрастания относительного вклада квадрупольной компоненты в полное магнитное форма ГТС становится конусообразной; раствор конуса уменьшается с течением времени, вследствие чего токовый слой перемещается целиком в одно из полушарий. Одновременно на высоких широтах противоположного полушария зарождается второй конический ГТС, раствор которого увеличивается. Когда квадрупольное поле становится доминирующим (в максимуме солнечной активности), оба ГТС лежат на конусных поверхностях, наклоненных под углом 30 градусов к экватору. Модель также описывает плавный переход от быстрого солнечного ветра на высоких гелиоширотах к медленному солнечному ветру на низких гелиоширотах, а также укручение профилей основных характеристик солнечного ветра с ростом радиального расстояния от Солнца. Сравнение полученных зависимостей с имеющимися данными наблюдений обсуждается.

Теория и наблюдения токовых слоев

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ЭНЕРГИИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ (УМЕНЬШЕНИИ) СУММАРНОГО ТОКА В ПРЕДЕЛАХ СЛОЯ

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

Институт общей физики им. А.М. Прохорова, annfrank@fpl.gpi.ru

Впервые исследована зависимость энергии направленных потоков плазмы и температуры ионов от амплитудных значений полного тока, протекающего в лабораторном токовом слое. Эксперименты проведены на установке ТС-3D (ИОФ РАН), скорости плазмы - тепловые и направленные - определялись методами спектроскопии, с использованием двухканальной схемы измерений [1,2].

Изменение амплитуды тока в пределах $J_z^0 = 14 \div 45$ кА не приводит к значительным изменениям температуры ионов в центральной области слоя, в окрестности $\boldsymbol{X}$ линии. В отличие от температуры, кинетическая энергия потоков плазмы W_x существенно зависит от амплитуды тока, обнаруживая стремительный рост с увеличением амплитуды, и эта зависимость может быть аппроксимирована степенной функцией $W_x \sim (J_z^0)^{\alpha}$, где показатель степени $\alpha \approx 1.8 \div 1.9$.

На основе соотношений для нейтрального токового слоя [3,4] была рассчитана усредненная энергия потоков плазмы W_x в зависимости от величины суммарного тока в слое J_z, в рамках представлений об ускорении в токовых слоях под действием сил Ампера [5,6]. Показано, что рост энергии направленных движений плазмы с увеличением тока обусловлен как возрастанием сил Ампера, так и увеличением ширины токового слоя, в пределах которого происходит процесс ускорения плазмы. В результате получено, что зависимость энергии плазменных потоков W_x от величины протекающего в слое тока J_z должна быть более сильной, чем линейная, а именно: $W_x \sim (J_z)^{3/2}$. Эти данные позволяют обосновать определяющую роль сил Ампера в процессах ускорения плазмы в токовых слоях.

Вместе с тем, экспериментальные результаты свидетельствуют, что в реальных токовых слоях энергия плазменных потоков растет несколько быстрее с увеличением амплитуды тока, чем это следует из оценок на основе соотношений для нейтрального токового слоя. Можно предполагать, что имеются дополнительные факторы, приводящие к росту энергии потоков плазмы с увеличением суммарного тока в слое, например, нелинейные процессы, которые должны проявляться при больших токах плазмы.

1. *Frank A.G.* // Plasma Phys. & Contr. Fusion. 1999. V. 41. Suppl. 3A. P. A687.
2. *Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г.* // Физика плазмы. 2010. Т. 36. С. 387.
3. *Сыроватский С.И.* //ЖЭТФ. 1971. Т. 60. С. 1727.
4. *Франк А Г*, в сб. Нейтральные токовые слои в плазме, Труды ФИАН **74** (под ред. Н Г Басова) (М.: Наука, 1974) с. 108.
5. *Франк А.Г., Сатунин С.Н.* // Физика плазмы. 2011. Т. 37. С. 889.
6. *Frank A.G., Kyrie N.P.* // Plasma Physics Reports 2017. V. 43. P. 696.

ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ТОКОВЫЕ СТРУКТУРЫ, НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ЭЛЕКТРОННЫХ МАСШТАБАХ В ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ БЛИЖНЕГО ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ ДИПОЛИЗАЦИЙ

Е.Е. Григоренко, С. Дубягин, А.Ю. Малыхин, Ю.В. Хотяинцев, Е.А. Кронберг, Б. Лавро, Н.Ю. Ганюшкина

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, elenagrigorenko2003@yandex.ru

Исследована многомасштабная магнитная структура областей диполизации магнитного поля в Плазменном Слое (ПС) ближнего хвоста на расстояниях от Земли $\boldsymbol{X}$ ~ -7 - -15$\boldsymbol{R_E}$ на основе наблюдений Cluster в период, когда расстояние между парой спутников (Cluster-3,4) не превышало нескольких десятков км или (1-2)$\boldsymbol{\lambda_e}$, где $\boldsymbol{\lambda_e}$ - электронная инерционная длина. Анализ 14 диполизаций, связанных с торможением быстрых плазменных потоков и Диполизационных Фронтов (ДФ) в ближнем хвосте, позволил выявить три характерных временных масштаба магнитных возмущений: 1) медленный рост положительной ***Bz***-компоненты магнитного поля в течение ≤ 20 мин; 2) кратковременные с длительностью ≤ 1 мин ДФ, наблюдаемые на фоне общего роста ***Bz*** и 3) усиления градиента магнитного поля на электронных масштабах с длительностью наблюдения менее 1 сек. Обнаружено, что в окрестности ДФ величина градиента, измеренная на электронных масштабах, на 2 порядка превышает соответствующую величину, измеренную на ионных масштабах. Это свидетельствует о наблюдении интенсивных локализованных токовых структур, формирующихся в окрестности ДФ. Определены скорости движения и пространственные масштабы этих структур, которые составили ~100 - 200 км или 2.5 - 5.0$\boldsymbol{\lambda_e}$. Также выполнена оценка частичной плотности тока $\boldsymbol{J^* \sim \mu_0^{-1} dB_L/dN}$ в таких структурах, которая в большинстве случаев составляла несколько десятков нА/м^2. С помощью метода наложения эпох установлено, что локализованные токовые структуры наблюдаются в окрестности ДФ во время фазы роста диполизации и формирования суббуревого токового клина. Данные наблюдения свидетельствуют о важности процессов, происходящих на электронных масштабах, в формировании трехмерной суббуревой токовой системы.

Работа выполнена при поддержки гранта РНФ № 14-12-00824

ЭВОЛЮЦИЯ НАГРЕВА И УСКОРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ НА СТАДИЯХ ПРЕДФОРМИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ТОКОВЫХ СЛОЕВ

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

Институт общей физики им. А.М. Прохорова, kyrie@fpl.gpi.ru

В докладе представлены результаты исследования эволюции нагрева и ускорения ионов аргона и криптона на стадии создания начальной плазмы (предварительной ионизации), предшествующей формированию слоя, и в процессе формирования токового слоя. Исследования были выполнены на экспериментальной установке ТС-3D в следующих режимах: начальное давление рабочего газа - p ≈ 30 мТорр, градиент поперечного магнитного поля - h ≈ 0.6 кГс/см, амплитуда электрического тока в плазме - J_z = 46/52 кА, при B_z = 0/2.9 кГс (2D/3D магнитные конфигурации). Измерения проводились методами спектроскопии: регистрировались и анализировались профили спектральных линий ионов аргона Ar II 480.6 нм и криптона: Kr II 473.9 нм, Kr III 501.6 нм, которые уширялись в плазме токового слоя благодаря эффекту Доплера. Для выделения направленных движений ионов на фоне тепловых движений измерения проводились одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к слою. В направлении вдоль электрического тока измерялись тепловые скорости ионов, а в перпендикулярном к току направлении - скорости движения плазмы вдоль ширины токового слоя, большего из поперечных размеров слоя.

Установлено, что нагрев ионов Ar II, Kr II и Kr III начинается на стадии предварительной ионизации. Температура ионов Ar II в типичном режиме составляет ~ 40 эВ, ионов Kr II и Kr III – T_i ≈ 60 - 70 эВ к моменту времени t = 0, когда в плазме возбуждается ток, который затем приводит к сжатию начальной плазмы, первоначально заполнявшей весь объем вакуумной камеры, в пределы тонкого плазменного слоя. Ионная температура начальной плазмы в 2D и 3D магнитных конфигурациях примерно одинакова.

Затем нагрев ионов продолжается на стадии формирования токового слоя, и температура ионов Ar II достигает максимума T_i ≈ 65 эВ при t ≈ 3 мкс. Однако эта температура не отражает максимальную температуру ионов в слое, поскольку, как было установлено ранее, температура ионов аргона Ar III и Ar IV, а также ионов примесного углерода C IV выше.

Показано, что ионы криптона Kr II и Kr III в 2D магнитных конфигурациях нагреваются медленнее ионов аргона Ar II и достигают максимальной температуры T_i ≈ 125 эВ к моментам времени t = 4.5 - 5.0 мкс, когда величина тока в слое существенно уменьшается. При формировании токового слоя в 3D магнитных конфигурациях ионы криптона нагреваются гораздо раньше, достигая величины T_i^{max} ≈ 100 эВ при t = (2.0 - 2.5) мкс.

Таким образом, температуры ионов Ar II, Kr II и Kr III в плазме токового слоя существенным образом зависят от интенсивности нагрева ионов на стадии предварительной ионизации, предшествующей формированию слоя. Напротив, ускорение ионов как аргоновой, так и криптоновой плазмы происходит только в сформированном токовом слое.

НОВЫЙ КЛАСС ТОКОВЫХ СЛОЕВ С ШИРОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Кочаровский Вл.В.[1], **Кочаровский В.В.**[1,2], **Мартьянов В.Ю.**[3], **Нечаев А.А.**[1]

[1]*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, kochar@appl.sci-nnov.ru*
[2]*Dept. of Physics and Astronomy, Texas A&M Univ., College Station, USA*
[3]*Intel Corp., Chandler, USA*

Аналитически построен и исследован новый обширный класс самосогласованных магнитостатических одномерных структур с широм магнитных силовых линий в бесстолкновительной плазме с немаксвелловским распределением частиц. Для этого использованы суперпозиции токовых слоев с ортогональными планарными магнитными полями и произвольными энергетическими распределениями частиц [1, 2].

Рассмотрены функции распределения частиц по импульсам, представимые в виде суммы двух цилиндрически симметричных функций обобщенного импульса с ортогональными осями. В этом простом случае проведена классификация возможных профилей тока и магнитного поля. Показано, что большинство известных ранее токовых слоев с широм силовых линий магнитного поля представляют собой частные случаи слоев описываемого типа. Приведены аналитические примеры качественно различных структур с широм магнитного поля, определены ограничения на степень анизотропии распределений частиц и величину относительной магнетизации, а также показано, что соотношения между типичным гирорадиусом частиц и масштабами изменения величины и угла поворота поля могут быть произвольными.

Обсуждаются возможные приложения найденного класса конфигураций магнитного поля с широм к физике локализованных квазистационарных токовых структур в магнитосферах планет, Солнца и звезд, включая области формирования ударных волн при взаимодействии звездного ветра с плазмой.

1. Кочаровский В. В., Кочаровский Вл. В., Мартьянов В. Ю., Тарасов С. В. // УФН. 2016. Т. 186, № 12. С. 1267.

2. Kocharovsky V. V., Kocharovsky Vl. V., Martyanov V. Yu., Nechaev A. A. // J. Phys.: Conf. Ser. 2017. V. 932. P. 012019.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ЛОКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМЫ

Лагода В.Б.

МИФИ, г. Москва, Россия, VBLagoda@mephi.ru

В сообщении проводится анализ результатов исследований структуры высокотемпературной нестационарной плазмы (ВНП) в различных лабораторных и природных условиях в рамках предложенной автором настоящего сообщения и поддержанной Кадомцевым Б.Б. концепции (1), согласно которой дрейф носителей заряда в периферийных областях ВНП, при определённых условиях, осуществляется по токовым каналам, локализованным во внутренних областях двумерной (в масштабе поперечных размеров каналов) системы взаимосвязанных пар ионных вихрей (СВИВ) с противонаправленными в соседних вихрях продольными току компонентами вихревого магнитного поля. Слой, несущий СВИВ, может быть замкнутым (частный случай – плазма в токамаке) или незамкнутым (частные случаи – плазма в плазменном фокусе, плазма областей солнца, эволюция которых приводит к солнечным вспышкам). Захватывая диффундирующие по нормали к слою СВИВ ионы в вихревые вращения, СВИВ формирует скачок нормальной к слою компоненты градиента концентрации, минимизируя потери через слой СВИВ и, соответственно, выполняя роль стабилизирующего фактора удержания плазмы внутри ограниченного слоем СВИВ объёма.

В соответствии с концепцией, поперечная дрейфу носителей заряда составляющая вихревого магнитного поля отдельного канала СВИВ обеспечивается током канала, продольная – диффузионным потоком, противонаправленным нормальной к слою СВИВ компоненте градиента концентрации. Для существования вихря должны обеспечиваться определённые соотношения между продольной и поперечной компонентами его магнитного поля, зависящими от разных факторов, противонаправленно меняющимися во времени, – интегрального по слою СВИВ тока (обеспечивающего поперечные компоненты СВИВ), нарастающего во времени, и от нормальной составляющей градиента концентрации (обеспечивающей продольные компоненты магнитного поля СВИВ), спадающей во времени вследствие частичной диффузии через слой. В стадии существования СВИВ, количество пар вихрей в слое СВИВ и пространственная локализация самого слоя СВИВ формируются в самосогласованном режиме, при котором количество пар вихрей в слое регулирует величину поперечной компоненты магнитного поля вихрей, а пространственное положение слоя регулирует продольные компоненты магнитных полей вихрей . С течением времени достигается порог, при котором пределы саморегулирования исчерпываются, СВИВ распадается, и плазма, ранее удерживаемая внутри объёма ограниченного слоем СВИВ, выбрасывается, вследствие скачка градиента концентрации в области исчезнувшего СВИВ, из области удержания. Порог самосогласованного режима удержания может достигаться как в результате уменьшения нормальной к слою компоненты градиента концентрации (замкнутые системы, частный случай – большой срыв в токамаке), так и в результате уменьшения расстояния между вихрями в СВИВ ниже критического (открытые системы, частные случаи – конечная стадия пинчевания в плазменном фокусе, солнечная вспышка).

Энергия локальных магнитных полей вихрей, в стадии распада СВИВ, через механизм взаимодействия электронов дрейфа с ионнозвуковыми колебаниями плазмы в областях смыкания волокон (2), трансформируется в тепловую энергию локальных плазменных сгустков (с kT в несколько кэВ), энергию ионных потоков с энергией ионизации до 800 эВ и электромагнитного излучения в широком, от СВЧ до рентгеновской области, диапазоне (3, 4).

1. Быковский Ю.А., Лагода В.Б. ЖЭТФ.-1982.-Т.83.-В.1-С114-127.
2. Быковский Ю.А., Лагода В.Б. Шерозия Г.А. Письма в ЖЭТФ. 1980.-Т.31.-В.5-С.265.
3. Быковский Ю.А., Лагода В.Б., Шерозия Г.А. Письма в ЖЭТФ.- 1979.-Т.30.-В.8-С489.
4. Быковский Ю.А., Лагода В.Б., Облизин А.Н. Письма в ЖЭТФ.-1982.-Т.35.-В.4-С.139.

СТРУКТУРА СИЛЬНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ, ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ КВАЗИАДИАБАТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ ЧАСТИЦ

Малова Х.В.[1,2], **Попов В.Ю.**[3], **Григоренко Е.Е.**[2], **Петрукович А.А.**[2], **Хабарова О.В.**[4], **Зеленый Л.М.**[2]

[1]НИИЯФ МГУ, [2]ИКИ РАН, hmalova@yandex.ru, [3]Физический Факультет МГУ, [4]ИЗМИРАН

Исследована квазиадиабатическая динамика заряженных частиц в сильных токовых слоях (СТС) в солнечном ветре, в том числе, в гелиосферном токовом слое. Построена самосогласованная гибридная модель СТС, в которой динамика ионов может быть описана в рамках квазиадиабатического приближения, в то время как электроны замагничены, их движение рассматривается с помощью приближения ведущего центра. Результаты моделирования показывают, что профили СТС определяются относительными вкладами двух токов: (i) тока размагниченных ионов, движущихся вдоль квазиадиабатических орбит, и (ii) электронными дрейфовыми токами. По своей структуре СТС, наблюдаемые на расстояниях порядка 1 АЕ, представляют собой многомасштабые конфигурации, состоящие из тонких токовых слоев толщиной ~10^4 км, вложенных внутрь более толстого плазменного слоя толщиной порядка 10^5 и более км. Показано, что подобная многомасштабная структура является внутренним свойством СТС в солнечном ветре.

ПУЧОК КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ФРАГМЕНТИРОВАННОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

Мерзляков В.Л.

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

Предложена концепция возникновения пучка петель в короне Солнца вследствие фрагментации цилиндрического плотного слоя. Появление плотного слоя, вероятно, связано с дрейфовым перемещением корональной плазмы в переменном магнитном поле. В этом случае конфигурация магнитного поля имеет особенность Х-типа. Наблюдаемая динамика окружающей корональные петли плазмы указывает на наличие тока величиной $10^9 – 10^{10}$ А вдоль особенности Х-типа. Это означает наличие токового слоя над вершинами петельной структуры. Модельные расчеты показали, что при разрывах тока на отдельные фрагменты цилиндрический слой разбивается на части в виде системы петель. Наиболее вероятной причиной разрывов тока является тиринг неустойчивость токового слоя вдоль силовых линий магнитного поля.

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С ПОСТОЯННОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С УЧЕТОМ ЗАМАГНИЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

О.В. Мингалев[1], И.В. Мингалев[1], Х.В. Малова[2,3], М.Н. Мельник[1], П.В. Сецко[1], Л.М. Зеленый[3]

[1] *Полярный геофизический институт, Апатиты, mingalev_o@pgia.ru*

[2] *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва*

[3] *Институт космических исследований РАН, Москва*

Выведена новая версия системы уравнений модели стационарного пространственно 1-мерного тонкого токового слоя (ТТС) с постоянной нормальной компонентой магнитного поля, в которой по сравнению с существующими моделями ТТС более точно описываются электроны и электростатические эффекты.

В модели ионы описываются уравнением Власова, которое решается численно, а для описания электронов применяется аналитический подход. Электроны считаются замагниченными и описываются уравнением Власова в дрейфовом приближении, для которого получено точное решение – функция распределения электронов во всем ТС. Из этого решения получена формула, дающая взаимно однозначное выражение электронной концентрации через потенциал электрического поля и магнитное поле. Подстановка этой формулы в уравнение Пуассона дает нелинейное уравнение относительно потенциала электрического поля, для которого создана методика численного решения. По этому численному решению для потенциала рассчитывается электронная концентрация в токовом слое. Также получены формулы, которые выражают продольное и поперечное давление электронов через их концентрацию и магнитное поле, и формулы, выражающие плотность тока электронов через их концентрацию и магнитное поле. Из этих формул следует, что если электроны вне ТТС изотропны, то они будут изотропными и в ТТС, причем их температура будет постоянной, а их ток будет нулевым. Если же электроны вне ТТС анизотропны, то они будут анизотропными и в ТТС, причем их продольная температура будет постоянной, а поперечная температура будет уменьшаться от края к центру слоя. При этом ток электронов отличен от нуля, и подстановка его выражения через магнитное поле и концентрацию электронов в уравнение Ампера дает систему нелинейных дифференциальных уравнений 1-го порядка относительно самосогласованных компонент магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-01-00100.

СТАЦИОНАРНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С ПОСТОЯННОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОНОВ

О.В. Мингалев[1], И.В. Мингалев[1], Х.В. Малова[2,3], М.Н. Мельник[1], П.В. Сецко[1], Л.М. Зеленый[3]

[1] *Полярный геофизический институт, Апатиты, mingalev_o@pgia.ru*

[2] *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва*

[3] *Институт космических исследований РАН, Москва*

Разработана численная модель на основе новой версии системы уравнений стационарного тонкого токового слоя (ТТС) с постоянной нормальной компонентой магнитного поля с учетом электронов и электростатических эффектов. Получен ряд конфигураций ТТС в симметричной постановке.

В модели ионы описываются уравнением Власова, которое решается численно, а для описания электронов применяется аналитический подход. Для численного решения уравнения Власова впервые применен новый разработанный нами метод, который работает напрямую с функциями распределения и сочетает достоинства как метода частиц, так и сеточных методов, но свободен от их недостатков. Новый метод удобен для построения эффективных параллельных алгоритмов с выполнением основной части вычислений на графических процессорах, и позволяет создавать численные модели крупномасштабных процессов в бесстолкновительной космической плазме, заведомо недоступные для моделирования методом частиц. Для аппроксимации функций распределения используется фиксированная регулярная сетка в координатном пространстве и подвижная регулярная сетка в пространстве скоростей с фиксированным размером и шагом, с центром в локальной гидродинамической скорости, и с возможностью ориентации ее осей по магнитному полю. Этот прием позволяет отслеживать носитель функции распределения в пространстве скоростей при помощи сетки минимального размера. По сравнению с методом частиц новый метод дает намного более точную аппроксимацию функции распределения и граничных условий.

На основе нового метода были созданы два варианта программы: в первом расчеты выполнялись на 8 нитях 4-ядерного процессора Intel i7 с практически 100% распараллеливанием при помощи системы OpenMP, а во втором варианте основной объем вычислений – расчет траекторий, выполнялся на графическом процессоре (GPU) Titan 1080. Второй вариант программы продемонстрировал примерно в 20 раз более высокое быстродействие. Результаты расчетов по сравнению с ранее выполненными расчетами на основе метода частиц подтвердили существенно лучшие свойства нового метода. В частности, он оказался априорно свободен от ряда модельных эффектов, присущих методу частиц. Также равновесная конфигурация в новом методе достигается всего за несколько итераций, в пределах 10, в то время как в расчетах по методу частиц требовалось несколько десятков итераций. Таким образом, использование нового метода позволяет на хорошем персональном компьютере с одним или двумя современными графическими процессорами (GPU) Titan 1080 моделировать задачи, для которых в случае использования метода частиц требовался бы достаточно мощный кластерный суперкомпьютер.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-01-00100.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЁВ В МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

Самсонов М.С.[1], Малова Х.В.[2,4], Попов В.Ю.[1,2,3]

[1]*Физический факультет МГУ, Москва, Россия, t9163311603@gmail.com*

[2]*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

[3]*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия*

[4]*НИИЯФ МГУ, Москва, Россия*

При пересечении околопланетных ударных волн токовыми слоями солнечного ветра могут возникать пучки заряженных частиц, направленные от Земли к Солнцу. При некоторых конфигурациях электромагнитного поля эти пучки фокусируются в токовом слое солнечного ветра, из-за чего в нём возникает двухпучковая неустойчивость и происходит разогрев плазмы. Такой токовый слой называют активным, а также аномалией горячего потока. Это явление исследуется уже более 30 лет. Однако до сих пор остаются не до конца ясными условия возникновения пучков заряженных частиц, вызывающих активацию токовых слоёв, и движение частиц в этих пучках. В докладе описывается модель, предложенная для решения указанных вопросов, и анализируются результаты численного моделирования, в частности зависимость угла наклона пучка заряженных частиц по отношению к нормали к ударной волне от угла наклона токового слоя по отношению к нормали к ударной волне.

The self-consistent description of the current sheet, using the particle trajectory method and angular variables.

Yu. L. Sasunov, G. Schwarzbauer M. L. Khodachenko, I. I. Alexeev, E. S. Belenkaya, V.M. Gubchenko, N. Dwievedy

The current sheets (CSs) in space plasma appear as fundamental objects which play an important role in structuring and dynamical evolution of the global magnetic environments of astrophysical and space objects. The physical nature of the current sheet consists in specific motion of the current-creating particles which has a strong non-linear character. By this, the self-consistent description of dynamics of the current-creating particles in CS is one of the key challenging tasks of the space plasma physics. Since, the universal solution expressed via analytical functions of a problem regarding charged particle motion in arbitrary magnetic field geometry is still not found, the mostly used approach of finding analytical solutions is based on specific assumption about the conservation of some relations along the particle trajectory. The most developed method in that respect uses the conservation of the canonical momentum Py=mVy+q A (where Vy is local y-component of particle velocity, m and q are a mass and charge of particle and A is a vector potential of magnetic field) along the particle trajectory. The fact of Py-conservation allows to avoid the detail description of non-linear dynamic of the current creating particles. By this, the representation of the particle distribution function f as an arbitrary function of Py and H (i.e. f=F(Py,H)), where H is a total energy (or Hamiltonian), and making averaging for whole range of the space-phase allows to find the self-consistent CS description in frame of kinetic approach. However, such approach might have physical artifacts which are not mentioned in the original formulation of the problem.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА У МАРСА

Шувалов С.Д.[1], Вайсберг О.Л.[1], Ермаков В.Н. [1], Ким К.И. [1,2]

[1]Институт космических исследований РАН, shuvalovsergei@gmail.com
[2]МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аномалия горячего потока (АГП) представляет собой область вдоль линии пересечения ударной волны и токового слоя, характеризующуюся низкой концентрацией и высокой температурой плазмы в центральной части, и высокими плотностью и температурой во внешней области. В этом горячем плазменном образовании выделяется так много энергии, что оно может двигаться навстречу потоку солнечного ветра.

Будучи в достаточно хорошо изученными у Земли, эти явления практически не исследовались на других планетах. Первое возможное свидетельство наличия этих структур на Марсе было получено по наблюдениям на спутнике MGS в [Øieroset и др., 2001], однако, из-за отсутствия спектрометра ионов на космическом аппарате невозможно было сделать однозначный вывод о принадлежности обнаруженной структуры именно к АГП.

С конца 2014 года на орбите Марса впервые функционирует космический аппарат, оснащенный магнитометром и комплексом приборов измерения плазмы с высоким временным и угловым разрешениями MAVEN, что открывает возможность идентификации АГП на Марсе и подробному изучению их структуры и характеристик. На текущий момент имеется всего одна работа, посвященная наблюдению АГП на спутнике MAVEN, в которой проведен анализ характеристик одного события [Collinson и др., 2015].

Целью работы является составление каталога событий АГП с расчетом их характеристик за период работы спутника MAVEN (с ноября 2014 года по настоящее время), оценка частоты их возникновения и создание физически обоснованной классификации АГП у Марса.

Список литературы:

1. Øieroset, M., D. L. Mitchell, T. D. Phan, R. P. Lin, and M. H. Acuña (2001), Hot diamagnetic cavities upstream of the Martian bow shock, Geophys.Res.Lett.,28,887–890.
2. Collinson, G., et al. (2015), A hot flow anomaly at Mars, Geophys. Res. Lett., 42, 9121–9127, doi:10.1002/2015GL065079.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПО ДАННЫМ МИССИИ CLUSTER.

Виноградов А.А.[1,2], **Васько И.Ю.**[1], **Артемьев А.В.**[1], **Юшков Е.В.**[1,2], **Петрукович А.А.**[1],

[1] *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*
[2] *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет*
ISashaVinogradov@gmail.com

В работе представлены наблюдения в солнечном ветре 50 токовых слоев с масштабами меньше ионной инерционной длины, которые наблюдались на спутниках Cluster в 2003-2004 при умеренном разнесении аппаратов. Для восстановления локальной системы координат используется комбинация метода MVA (Minimum Variance Analysis) и метода временных задержек (timing), которые позволяют определить направление максимальной вариации магнитного поля, направление нормали к токовому скою, вычислить скорость его движения с системе отсчета спутника, восстановить плотность тока и пространственный масштаб токового слоя. Сравнение нормалей определенных с помощью метода MVA и метода timing позволило отобрать локально одномерные токовые слои и выработать критерий применимости односпутникового метода MVA для определения нормали к токовому слою. Проведено сравнение профилей и параметров плазмы токовых слоев наблюдаемых последовательно на спутнике Wind спутниках Cluster. В рамках исследования показано, что токовые слои являются практически бессиловыми, полученые статистические распределени амплитуды плотности тока и пространственных масштабов токовых слоев, определены характерные параметры плазмы (плотности, температуры, плазменное бета, скорость движения ионов в системе отсчета ионов). Проанализирована гипотеза о нагреве плазмы в токовых слоях солнечного ветра.

ДВУМЕРНЫЕ БЕССИЛОВЫЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ: УСТОЙЧИВОСТЬ МАГНИТНОГО ХВОСТА

Лукин А.С.[1,2], Васько И.Ю.[1,3], Артемьев А.В.[1,4], Юшков Е.В.[1,5]

[1]ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, as.lukin.phys@gmail.com
[2]Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Факультет физики, г.Москва, Россия
[3]Калифорнийский университет, Беркли
[4]Калифорнийский университет, Лос-Анджелес
[5]Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, г.Москва, Россия

Предполагается, что бессиловые плазменные конфигурации формируются в солнечной короне, тогда как прямые спутниковые наблюдения доказали существование бессиловых и почти бессиловых конфигураций в хвостах планетарных магнитосфер. В настоящее время существует ограниченный класс моделей для описания структуры подобных равновесий. В данной работе в рамках гидродинамического подхода разработаны модели двумерных аксиально-симметричных бессиловых и почти бессиловых равновесий. С помощью группового анализа показано, что уравнение Град-Шафранова с экспоненциальными и степенными нелинейностями может быть приведено к обыкновенным дифференциальным уравнениям для автомодельных (также называемых самоподобными) решений. Полученные автомодельные решения проанализированы аналитически и численно. Равновесия данного класса имеют вытянутую в радиальном направлении конфигурацию силовых линий, схожую с конфигурацией токовых слоев в магнитосферных хвостах планет. В рамках группового анализа удалось также построить почти бессиловые автомодельные равновесия с конечным градиентом плазменного давления. Обсуждаются недостатки и применимость разработанных моделей для описания токовых слоев в планетарных магнитосферах.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ ВЫТЯГИВАНИЯ МАГНИТНОГО ХВОСТА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ МИССИЙ EMIS и L S ER

Юшков Е В Артемьев А.В., Петрукович А.А.

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

Механизм вытягивания и утоньшения магнитного хвоста Земли, предшествующий качественному изменению его конфигурации, представляется весьма неясным не только из-за отсутствия корректной теоретической модели, но и из-за недостатка экспериментальных данных об изменении плазменных характеристик как вдоль, так и поперек хвоста в процессе вытягивания. В докладе представлены результаты анализа данных миссий THEMIS (2015) и Cluster (2001-2009), собранные в областях от -10Re до -20Re в направлении Земля-Солнца и от -10Re до 10Re в направлении утро-вечер (X и Y направления в системе GSM соответственно). Отобранные случаи четко показывают временной рост плотности тока одновременный с изменением Bz компоненты и позволяют проанализировать поведение от времени анизотропии плазмы, электронной и ионной температуры и плотности, а также оценить толщины токовых слоев и амплитуду лобового магнитного поля. Полученные временные зависимости и как и зависимости от Bz (которое уменьшается в процессе формирования токового слоя) подтверждают, что в процессе вытягивания концентрация плазмы в центре токового слоя растет (даже при отсутствии роста лобового поля), в то время как ионные, так и электронные температуры падают. Согласно собранной статистике механизм вытягивания слабо зависит от расстояния до Земли, в то время как зависимость в азимутальном направления четко характеризует асимметрию процесса. Подобные закономерности также показывают и средние величины характеристик плазмы в непосредственный момент перед пересоединением, то есть перед концом процесса утоньшения. Результаты исследования, проводимого при поддержке РФФИ N 16-32-00011, позволяют сделать предположения о возможных механизмах формирования слоя.

МАГНИТНЫЕ ДЫРЫ В ДИПОЛИЗОВАННОМ ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ: СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, p.shustov@gmail.com

В представленной работе рассматриваются магнитные дырки суб-ионного масштаба, наблюдаемые THEMIS в околоземном диполизованном магнитном слое. На основе данных наблюдений THEMIS, продемонстрировано, что магнитные дырки как правило наблюдаются за фронтом диполизации (быстрый рост компоненты поля GSM Bz) около экваториальной плоскости (GSM |Bx|<Bz). Рассматриваемые магнитные дырки характеризуются интенсивными электронными токами, протекающими вдоль границ дырок. Данные токи поддерживаются горячей популяцией электронов, у которой поперечная температура (относительно фонового магнитного поля) намного больше продольной компоненты температуры.

В данной работе рассматривается сценарий, описывающий формирование подобных горячих анизотропных популяций электронов. В предложенном сценарии используются модель анизотропного нагрева на диполизационном фронте и модель генерации электронных токов анизотропным диамагнитным дрейфом частиц. Основные результаты предложенных моделей находятся в хорошем соответствии с данными наблюдений THEMIS.

Теория
и
наблюдения Солнца

ТУРБУЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

Абраменко В.И.

КРАО РАН, Научный, Крым, Россия, vabramenko@gmail.com

Основной физический источник нестационарных процессов на Солнце – постоянно меняющееся магнитное поле нашей звезды и его взаимодействие с окружающей плазмой. Встает задача понять характер генерации и диссипации магнитных структур на Солнце, выстроить адекватную теорию, способную описать наблюдаемые явления. Солнечная фотосфера при хорошем разрешении выглядит как хаос магнитных элементов обеих полярностей самых разных размеров. Теории переноса магнитного потока пытаются описать перемещения элементов за счет турбулентной диффузии, дифференциального вращения и меридиональных потоков. Коэффициент турбулентной диффузии, η_t, характеризует подвижность магнитных элементов и является одним из ключевых свободных параметров моделей динамо: в некоторых моделях он принимается в приповерхностных слоях возрастающим с глубиной от ~ 60 км^2 сек$^{-1}$ (напр., [1]), а в других моделях – убывающим от ~ 200 км^2 сек$^{-1}$ (напр., [2]). При этом он всегда принимается постоянным по поверхности Солнца и не зависящим от масштаба (режим нормальной диффузии).

Для вычисления коэффициента турбулентной диффузии в разных зонах невозмущенной фотосферы Солнца использовались SDO/HMI/hmi.M_720s магнитограммы для двух участков: внутри корональной дыры (CH) и в зоне закрытых магнитных полей, т.е., в сетке супер-грануляции (SG). Были определены траектории магнитных элементов и по ним – спектры смещений индивидуальных элементов и спектры разлетов в парах элементов. По параметрам спектров был вычислен коэффициент турбулентной диффузии, η_t, в зависимости от масштаба. Показано, что 1) Преобладает режим супер-диффузии (η_t растет с увеличением масштаба); 2) Адвекция влияет весьма незначительно на дисперсию магнитных элементов в невозмущенной фотосфере. Это означает, что небольшие магнитные элементы скорее всего не участвуют в регулярных крупномасштабных меридиональных потоках от экватора к полюсам; 3) Мелкие магнитные элементы диффундируют одинаково в самом слабом магнитном окружении (в корональной дыре) и в сильном магнитном окружении (в супер-грануляции): везде выполняется режим супер-диффузии с индексом $\gamma \approx 1.3$ и коэффициентом турбулентной диффузии η_t, растущем от ~100 до ~300 км^2 сек$^{-1}$. Этот вывод согласуется с предположениями о том, что мелкие элементы генерируются по всей невозмущенной фотосфере единым механизмом локального турбулентного динамо; 3) С увеличением масштаба, признаки супер-диффузии постепенно ослабевают, и на масштабах порядка супер-гранулы возможен режим нормальной диффузии с коэффициентом диффузии $\eta_t \approx 500$ км^2 сек$^{-1}$, что благоприятно для работы моделей переноса магнитного потока.

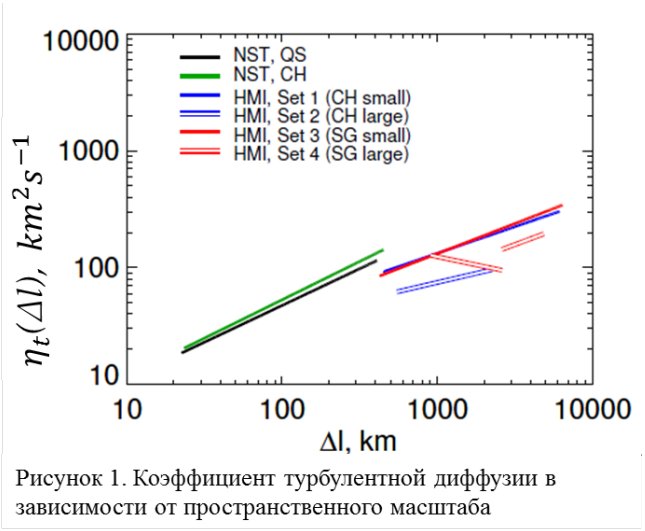


Рисунок 1. Коэффициент турбулентной диффузии в зависимости от пространственного масштаба

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 17-02-00049-а.

1. Pipin V.V., Kosovichev A.G. // Astrophys.J.Lett. 2011, V.727. P. L45.
2. Dikpati M., Gilman P.A. // Astrophys. J. 2006, V. 649, P. 498.

ПРИЗНАКИ ПОДГОТОВКИ БОЛЬШИХ ВСПЫШЕК В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА ПО ИХ МИКРОВОЛНОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ И МАГНИТОГРАФИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Абрамов-Максимов В.Е.[1], Боровик В.Н.[1], Тлатов А.Г.[1], Опейкина Л.В.[2], Шрамко А.Д.[1] Яснов Л.В.[3]

[1]*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, beam@gaoran.ru*
[2]*САО РАН, г. Нижний Архыз, Россия*
[3]*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия*

В сентябре 2017 г., в конце ветви спада 24-го цикла солнечной активности, на Солнце произошли самые мощные геоэффективные вспышки текущего цикла - X9.3 и X8.2 (6 и 10 сентября 2017 г.). Отметим, что события 2017 г. на ветви спада 24 цикла активности Солнца оказались аналогичными событиям в конце 23 цикла, когда также на фазе спада цикла появилась активная область (АО) NOAA 10930, которая произвела «последний залп 23 цикла солнечной активности» - две мощные протонные вспышки X9.0 и X3.4 (5 и 13 декабря 2006 г.) [1]. Сопоставлены изменения структуры магнитного поля АО 10930 и АО 12673 перед мощными X-вспышками и их микроволновое излучение по данным РАТАН-600 [2]. С целью выявления признаков подготовки больших вспышек в сентябре 2017 г. проведен сравнительный анализ микроволнового излучения (по данным РАТАН-600) и магнитографических характеристик (по данным SDO/HMI) активной области АО 12673 с характеристиками соседней развитой, равной по площади, АО 12674, в которой произошло только несколько слабых вспышек С-класса. Выявлен резкий рост горизонтального градиента магнитного поля перед первой большой вспышкой класса M5.5 в АО 12673 с последующим его падением непосредственно перед вспышкой, а также значительное возрастание интенсивности микроволнового излучения АО. При этом в АО 12674 не регистрировалось заметных возрастаний градиента магнитного поля и изменений микроволнового излучения. Полученные результаты согласуются с выводами, сделанными ранее авторами на основе анализа всех рассмотренных эруптивных событий 2011-2015 гг. (с X-вспышками): 1) перед вспышкой в активной области регистрируется быстрый рост горизонтального градиента магнитного поля, вспышка происходит через 5-20 часов после максимума градиента; 2) одновременно с ростом градиента за 1-3 дня до вспышки в АО развивается новый микроволновый источник над местом наибольшего сближения фотосферных магнитных полей противоположного знака. Полученные данные могут быть использованы для разработки методов прогноза мощных (геоэффективных) вспышек.

1. Язев С.А., Савинкин М.Ю. // Труды ВАК-2007. Казань. С. 171.
2. Боровик В.Н., Абрамов-Максимов В.Е., Григорьева И.Ю., Опейкина Л.В., Богод В.М., Коржавин А.Н. // Труды XI Пулковской международной конференции по физике Солнца "Физическая природа солнечной активности и прогнозирование ее геофизических проявлений" 2007. Санкт-Петербург. С. 67.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА ПЕРЕД ВСПЫШКОЙ

Абрамов-Максимов В.Е. [1] **Бакунина И.А.** [2]

[1]*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, beam@gaoran.ru*
[2]*НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия*

В работе представлен анализ короткопериодических колебаний микроволнового излучения активной области NOAA 12242 перед двумя вспышками 17 декабря 2014 г. Анализ выполнен на основе радиокарт Солнца, полученных на радиогелиографе Нобеяма с двумерным пространственным разрешением 10"-15" в нестандартном режиме синтеза с временным интервалом между изображениями и временем усреднения 10 секунд. Обнаружено, что примерно за 40-50 минут до вспышки M1.5 (00:57UT) наблюдается усиление мощности колебаний микроволнового излучения с периодом чуть больше 10 минут. В тот же день примерно за 60 минут до вспышки M8.7 (04:25UT) наблюдается усиление мощности 10-ти минутных колебаний. Обнаруженный эффект подобен выявленному ранее независимо двумя авторскими коллективами эффекту для 3-х минутных колебаний, а именно, за 15-20 минут до радиовсплеска, сопровождающего вспышку, наблюдалось резкое увеличение мощности 3-х минутных колебаний [1,2]. Эффект может быть интерпретирован как связь МГД-волн, распространяющихся вдоль силовой трубки пятна и началом солнечной вспышки.

1. Sych R., Nakariakov V.M., Karlicky M., Anfinogentov S. // Astron. Astrophys. 2009. V. **0** . P. 791.
2. Abramov-Maximov V.E., Gelfreikh G.B., Shibasaki K. // Solar. Phys. 2011. V. **273**. P. 403.

Практические вычисления для применения квадратичной магнитной спиральности в МГД.

П.М.Ахметьев, Simon Candelaresi, А.Ю.Смирнов.

Известно, что магнитная спиральность успешно применяется в МГД, в частности, доставляет препятствие к генерации магнитного поля. В работе Д.Д.Соколов, Е,А.Илларионов, П.М.Ахметьев, «Высшие инварианты спиральности и солнечное динамо», Геомагнетизм и Аэрономия (2017), том 57, вып. 1. проанализирован вопрос о возможности применить высшие моменты магнитной спиральности, которые служат инвариантами в идеальной МГД, по аналогии. Авторы этой работы выяснили, что трудность в решении указанной задачи состоит в том, что формула для высших моментов магнитной спиральности, которая использует лишь значения магнитного вектор-потенциала и его частных производных в области с магнитным полем не была известна.

Авторы доклада предложили искомую формулу в работе Physics of Plasmas, Vol.24, N 10 (2017). Я расскажу об этой новой формуле и о том, как квадратичную магнитную спиральность можно выразить через спектр оператора завихренности.

СЕЙСМОЛОГИЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО НЕЗАТУХАЮЩИМ ИЗГИБНЫМ КОЛЕБАНИЯМ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ

Анфиногентов С.А., Накаряков В.М.

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, anfinogentov@iszf.irk.ru; University of Warwick, UK

Магнитное поле играет определяющую роль в большей части процессов, протекающих в короне Солнца, включая накопление энергии и ее высвобождение во время вспышек и корональных выбросов масс (КВМ). Поэтому информация о магнитном поле в короне Солнца является ключевой для понимания Солнечной активности и прогноза состояния околоземного и межпланетного космического пространства (т.н. космической погоды). К сожалению практическое применение существующих методов измерения и моделирования коронального магнитного поля (радиомагнитография, экстраполяция фотосферных магнитограмм и МГД сейсмология) ограничено труднопреодолимыми сложностями. Как результат, в настоящее время отсутствуют регулярные и достоверные измерения магнитного поля в короне Солнца.

Основной принцип МГД-сейсмологии состоит в использовании МГД-волн в качестве естественных зондов для оценки параметров корональной плазмы. Для измерения магнитного поля наиболее перспективным сейсмологическим инструментом является изгибная (кинк) мода колебания корональных петель. Абсолютное значение магнитного поля в этом случае может быть легко получено из наблюдаемых величин, таких как период колебаний, длина колеблющейся петли, контраст плотности и плотность плазмы внутри петли.

Вплоть до настоящего времени наблюдения изгибных колебаний корональных петель были достаточно редки. Эти события обычно связаны с солнечными вспышками и КВМ, а, следовательно, могут наблюдаться лишь изредка. Поэтому они не могут быть использованы для регулярной сейсмологической диагностики солнечных активных областей. В данной работе мы концентрируемся на недавно обнаруженном незатухающем режиме изгибных колебаний, которые, как оказалось, являются повсеместным явлением в солнечной короне и наблюдаются практически в любой активной области в любое время, являясь, таким образом, перспективным сейсмологическим инструментом для регулярной диагностики корональных магнитного поля.

К сожалению, из-за малой амплитуды (~0.2 Мм) незатухающих изгибных колебаний их обнаружение и анализ осложнены. Для преодоления этого препятствия мы используем методику увеличения движений, которая подобно микроскопу искусственно увеличивает амплитуду слабых движений в последовательности изображений. Малые колебания, при этом, становятся хорошо заметными на анимациях и пространственно-временных диаграммах, что даёт возможность легко измерить их период и амплитуду. Плотность плазмы внутри петли и контраст плотностей оценивается с помощью анализа дифференциальной меры эмиссии. В сочетании с оценкой длины петли по её наблюдаемой проекции на картинную плоскость, эти параметры позволяют нам вычислить абсолютное значение магнитного поля в корональной части активной области. А анализ нескольких петель позволяет картографировать пространственное распределение магнитного поля.

Предлагаемый подход был применён для оценки магнитного поля в нескольких активных областях. Показана его практическая применимость для регулярной диагностики корональных магнитного поля по наблюдениям незатухающих изгибных колебаний корональных петель.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРЕД ВСПЫШКАМИ КЛАССА М В АО 12673

Бакунина И.А.[1], Мельников В.Ф.[2]

[1]*НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия, rinbak@mail.ru*

[2]*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

Микроволновое излучение является очень чувствительным индикатором изменения параметров активной области (концентрации нетепловых электронов, температуры и плотности плазмы, напряженности и пространственной структуры магнитного поля). Поэтому использование его наблюдаемых характеристик для диагностики процессов, происходящих перед вспышками и корональными выбросами массы (КВМ) представляется очень перспективным.

В данной работе представлен анализ микроволнового излучения активной области NOAA 12673 перед вспышкой класса M1.2 (05:36) 4 сентября 2017 г и четырьмя вспышками 5 сентября 2017 г классов M3.2(04:33), M1.0(03:42), M4.2(01:03), C9.8(00:30). Анализ выполнен на основе радиокарт Солнца, полученных на радиогелиографе Нобеяма с двумерным пространственным разрешением 10"-15" и с временным интервалом между изображениями 10 с. Выявлено, что пространственная структура радиоисточников перед всеми вспышками была нестабильной.

В частности, для вспышки 4 сентября 2017 г класса M1.2 (05:36) показано, что в течение 6.5 часов до её начала временные профили полного потока в параметрах Стокса I и V демонстрировали значительную нестационарность с характерными временами 1.5 часа и менее. В течение всего этого времени пространственное распределение радиояркости кардинально изменялось от двух почти параллельных петлеобразных структур, вытянутых в направлении «север-юг» с положительной поляризаций южных оснований и отрицательной – северных оснований в начале наблюдений (22:50 UT) до появления за ~2.5 часа до начала вспышки яркой петлеобразной структуры, вытянутой в направлении «восток-запад». Эта поперечная структура в дальнейшем продолжала усиливаться и стала источником относительно мощного микроволнового излучения анализируемой вспышки. Наиболее вероятными причинами такого перераспределения радиояркости являются: а) перестройка пространственной структуры магнитного поля активной области перед вспышкой; б) активация других (ортогональных) магнитных трубок с возможным ускорением электронов в них.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОТОКОМ ВЕЩЕСТВА ЧЕРЕЗ ФРОНТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ И СВЕЧЕНИЕМ В ЛИНИЯХ ВОДОРОДА ДЛЯ УСЛОВИЙ В СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЕ

Белова О.М., Бычков К.В.

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, whitecanvas05122010@mail.ru

Выполнены расчёты потока излучения в линиях водорода при высвечивании газа за фронтом плоской стационарной ударной волны для типичных условий в солнечной хромосфере. Концентрация натекающего газа взята в диапазоне (10^{11} – 10^{14}) $см^{-3}$, его температура — (5500 – 8000) К, скорость натекания на фронт — (40 – 70) км/с., а перпендикулярная скорости компонента магнитного поля — (2 – 5) Гс. Принято во внимание различие между температурами атомно–ионной и электронной компонент. В расчётах охлаждения учитывались следующие химические элементы: водород, гелий, атомы и первые два иона углерода, азота, кислорода, магния, кремния, серы, кальция и железа.

Для атома водорода решалась система кинетических уравнений для 15 дискретных уровней и континуума. Учитывались возбуждение и деактивация электронным ударом, ударная ионизация и тройная рекомбинация, ионизация и возбуждение фотосферным излучением, спонтанные и вынужденные процессы фотодеактивации, фоторекомбинации. В скорость охлаждения также включены спонтанные и вынужденные свободно–свободные переходы. Излучение фотосферы рассматривалось как чернотельное с фактором дилюции равным 1/2. Расчёт рассеяния в линиях дискретных переходов проводился в рамках модели Бибермана–Холстейна для доплеровского контура.

Для металлов применено квазистационарное приближение. В нём концентрации атомов и ионов находились путём решения кинетических уравнений, в которых при вычислении скорости ионизации учитывалось только основное состояние, а для населённостей дискретных уровней применялась стационарная модель. Возможность такого подхода определяется тем, что у всех металлов, в отличие от атомов водорода, есть дискретные состояния, далеко отстоящие от континуума.

Вычислены потоки излучения в линиях водорода, нормированные на поток энергии натекающего на фронт газа.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ЦИКЛОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ НА СОЛНЦЕ

Богод В.М.[1], Кальтман Т.И.[1], Ступишин А.Г. [2], Яснов Л.В. [2]

1-САО РАН, Н.Архыз, КЧР, Россия, vbog@sao.ru
2- СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Спектры микроволнового излучения в активных областях (АО) над пятнами являются важным инструментом для изучения магнитных полей в короне. Регулярные наблюдения на радиотелескопе с большой эффективной площадью РАТАН-600 в широком микроволновом диапазоне с высоким спектральным (1%) и умеренным пространственным разрешением (15 сек дуги) дают подробную информацию о поляризационной структуре о всех АО на диске Солнца. Для оценок величин коронального магнитного поля в АО широко используется циклотронный механизм, поскольку частоты излучения на 2-й и 3-й гармониках прямо связаны с величиной магнитного поля. Теория излучения предсказывает вклад и 4-й гармоники в суммарный спектр излучения, которая однако не наблюдается. В данной работе, мы отмечаем регистрацию уярчения этой гармоники на необыкновенной моде в коротковолновой части спектра, при этом спектры поляризации имеют резкий перелом на коротких волнах. Проведено моделирование вкладов свободно-свободного излучения, излучения 1-5 гирогармоник и дана интерпретация наблюдательного материала. Результаты указывают на прямое обнаружение излучения 4-й гармоники гирочастоты. Разработан метод диагностики параметров солнечной атмосферы, основанный на реконструкции фотосферного магнитного поля, модельных расчетах радиоизлучения и их сопоставлений с наблюдаемыми спектрами излучения АО. Спектрально-поляризационные данные используются в методе многоволновой радио стереоскопии для построения высотного профиля корональной магнитного поля по изменениям высотных проекций стабильных АО при их перемещении по диску Солнца.

Работа выполнена в рамках Государственного задания*: №АААА-А17-117011810013-4*, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 18-02-00045, и Программой ПРАН №28 IV.2.14 « Космос: исследования фундаментальных процессов и их взаимосвязей».

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ ВОДОРОДА ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В УСЛОВИЯХ СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЫ

Бычков К.В., **Белова О.М.**

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

Выполнены расчёты формирования потока излучения в линиях водорода как функции времени по мере оттока высвечивающегося газа от фронта плоской стационарной ударной волны. Принятые параметры задачи отражают типичные условия в солнечной хромосфере: концентрация натекающего газа (10^{11} – 10^{14}) $см^{-3}$, его температура — (5500 – 8000) К, скорость натекания на фронт — (40 – 70) км/с., а напряжённость перпендикулярной скорости компоненты магнитного поля — (2 – 5) Гс. Учитывается различие между температурами атомно-ионной и электронной компонент после прохождения вязкого скачка. В расчётах охлаждения учитывались водород, гелий, а также атомы и первые два иона наиболее обильных химических элементов: углерода, азота, кислорода, магния, кремния, серы, кальция и железа. Для атома водорода решена система кинетических уравнений для 15 дискретных уровней и континуум. Учитывались ударные и радиационные связанно-связанные и связанно-свободные. В скорость охлаждения также включены спонтанное и вынужденное тормозное излучение. Излучение фотосферы рассматривалось как чернотельное с фактором дилюции равным 1/2. Для рассеяния в линиях дискретных переходов использовалась модель Бибермана–Холстейна для доплеровского контура.

Новые аспекты теории тонкой структуры солнечного радиоизлучения

Чернов Г.П., Фомичев В.В.

ИЗМИРАН, Москва,Троицк, gchernov@izmiran.ru

В литературе продолжается дискуссия о природе зебра-структуры (ЗС) в радиовсплесках IV типа, и даже самый распрстраненный механизм на двойном плазменном резонансе подвергается совершенствованию в целой серии работ. Более того в недавней работе (Benácek, Karlicky, Yasnov, 2016, A&A) была показана его неэффективность в обычно принимаемых условиях в раиоисточнике. При этом в ряде работ мы показали возможности модели с вистлерами объяснить многие тонкие эффеты полос ЗС с учетом эффектов рассеяния вистлеров на быстрых частицах. Такая ситуация стимулирет поиск новых механизмов. Например, ранее мы показали важность взрывной неусточивости, по крайней мере, для крупных вспышек с выбросами протонов. В системе слабо релятивисткий пучок протонов - неизотермичная плазма медленная пучковая мода пространственного заряда обладает отрицательной энергией, и в триплете медленная и быстрая пучковые моды и ионно-зуковая волна возбуждается взрывной каскад гармоник ионного звука. Электромагнитная волна в виде полос ЗС возникает в результате рассеяния быстрых протонов на этих гармониках.

Взрывная неустойчивость сильно зависит от начальных условий в источнике. Ранее мы предлогали механизм возбуждения гармоник ленгмюровской частоты эдектронов в результате развития взрывной неустойчивости в системе слаборелятивистский поток протонов - плазма во фронте ударной волны. Тем самым, появилась альтернативное объяснение иногда наблюдающейся сильной третьей гармоники во всплесках II типа. Однако во фронте вероятнее ожидать систему взаимопроникающих потоков протонов и электронов. Поэтому здесь мы рассматриваем в этой системе альтернативную взрывную неустойчивость гармоник ленгмюровской частоты. В этом случае медленная пучковая мода обладает отрицательной энергией, а быстрая и ионно-звуковая мода положительной, что и создает условие для взрывной неустойчивости. Возбуждение ленгмюровских гармоник в этом случае оказывается не менее эффективным, причем появляется возможность объяснить дополнительное расщепление гармоник и клочковатую структуру спектра.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ ВСПЫШЕК СЕНТЯБРЯ 2017 г. ПО ИХ РАДИОВСПЛЕСКАМ

Черток И.М.

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

Мощные вспышки, произошедшие на Солнце при приближении к минимуму 24-ого цикла 4−10 сентября 2017 г. в результате неожиданно быстрого развития на западной половине диска крупной активной области AR 12673, анализируются на основе методики количественной диагностики протонных вспышек, разработанной в ИЗМИРАН в 1970−1980-ых годах (см. [1-4]). Методика основывалась на следующих положениях. Параметры интенсивности и частотного спектра микроволновых всплесков, хотя последние и генерируются электронами, распространяющимися к фотосфере, отражают количество и энергетический спектр ускоренных частиц, в том числе приходящих к Земле протонов с энергией десятки МэВ. Метровая компонента радиоизлучения (всплески II, IV типов) характеризует условия выхода частиц в межпланетное пространство. Учитывается и гелиодолгота вспышки.

Показано, что наблюдавшиеся после сентябрьского всплеска активности у Земли потоки протонов с энергией десятки МэВ качественно и количественно соответствуют интенсивности и частотным спектрам микроволновых радиовсплесков в диапазоне 3−15 ГГц. В частности, постэруптивная вспышка 4 сентября с пиковым радиопотоком S ~2000 sfu на частоте f ~3 ГГц (т.е. с мягким радиоспектром) сопровождалась значительным потоком протонов J (>10 МэВ) ~100 pfu и мягким степенным энергетическим спектром с показателем γ ~3.0, а мощная продолжительная вспышка 10 сентября с S ~21000 sfu на f ~15 ГГц (т.е. с жестким радиоспектром) привела к весьма интенсивному протонному событию с J(>10 МэВ) ~1000 pfu с жестким энергетическим спектром (γ ~1.45), в том числе к наземному возрастанию (GLE72). Эруптивная вспышка 6 сентября обладала промежуточными параметрами радиоизлучения (S ~8100 sfu на f ~15 ГГц) и вызвала умеренное возрастание потока протонов тоже с достаточно жёстким энергетическим спектром (γ ~1.6).

Положительные результаты радиодиагностики этих вспышек являются ещё одним свидетельством того, что данные о микроволновых радиовсплесках, независимо от конкретного источника ускорения частиц на Солнце, могут с успехом использоваться для диагностики протонных вспышек, в частности, с применением методики ИЗМИРАН.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-02-00308.

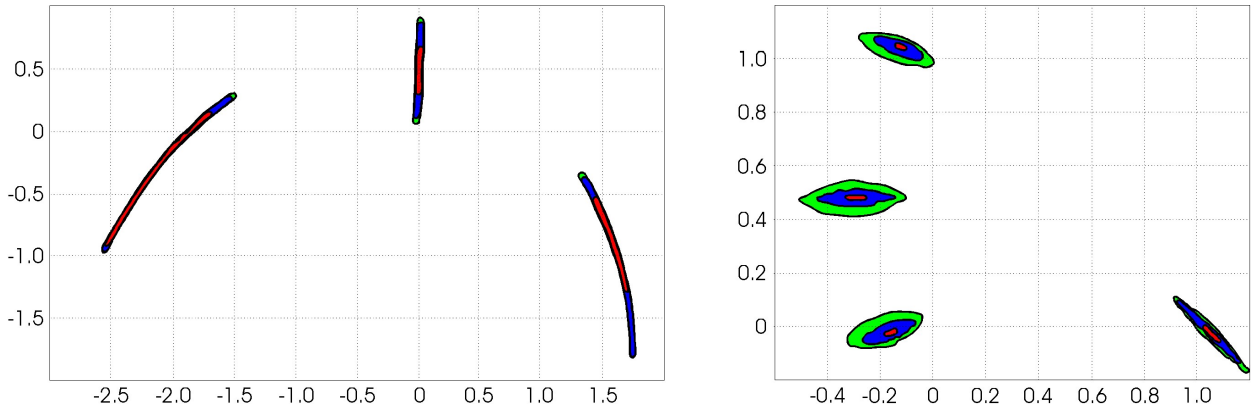
1. Акиньян С.Т., Фомичев В.В., Черток И.М. // Геомагн. и аэрономия. 1977. Т. **17**. С. 10.
2. Акиньян С.Т., Фомичев В.В., Черток И.М. // Геомагн. и аэрономия. 1980. Т. **20**. С. 385.
3. Черток И.М. // Геомагн. и аэрономия. 1982. Т. **22**. С. 182.
4. Chertok I.M. // Astron. Nachr. 1990. V. **311**. N 6. P. 379–381.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ “АНЕМОННЫХ” МИКРОВСПЫШЕК В СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЕ

Думин Ю.В.[1,2], **Сомов Б.В.**[1]

[1]*ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com*
[2]*ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Одним из наиболее интересных результатов наблюдений солнечной хромосферы с высоким пространственным разрешением, впервые осуществленным со спутника *Hinode* около 10 лет назад, стало обнаружение так называемых “анемонных” (многолепестковых) микровспышек [1, 2]. Они начинаются с высвечивания в их основании нескольких (как правило, трех или, реже, четырех) вытянутых пятен (“лепестков”) с последующей эрупцией – распространением свечения в вертикальном направлении. В ряде последующих работ было дано достаточно детальное количественное описание эруптивной стадии анемонных вспышек; однако теория формирования их многолепестковой структуры на начальном этапе так и не была построена, если не считать некоторых качественных картинок с расщепляющимися магнитными потоками.



В настоящей работе нами предпринята попытка количественно описать возникновение нескольких лепестков на основе топологической модели магнитного поля Горбачева-Кельнера-Сомова-Шварца (ГКСШ) [3]. Эта модель первоначально предназначалась для объяснения быстрой эрупции нулевой точки при сравнительно малом изменении источников магнитного поля; однако в данном случае она используется для совершенно иной цели – анализа пространственной структуры свечения, получающейся проектированием области энерговыделения вблизи вершины магнитного сепаратора на нижележащие слои вдоль специфической конфигурации силовых линий магнитного поля, присущих данной модели.

Как вытекает из проведенных расчетов, при антипараллельной конфигурации диполей, являющихся источниками фотосферного магнитного поля, чаще всего формируется трехлепестковая структура свечения (левая панель на рисунке), что и имеет место в наблюдениях. В более редких случаях, вблизи области “топологического триггера” (а именно, когда магнитные диполи-источники ориентировании приблизительно ортогонально друг к другу), возникает четырехлепестковая структура (правая панель на рисунке), которая также иногда наблюдалась со спутника *Hinode*.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 16-02-00585.

1. Shibata K., et al. // Science 2007. V. **318.** P. 1591.
2. Nishizuka N., et al. // Astrophys. J. 2011. V. **731.** P. 43.
3. Горбачев В.С., Кельнер С.Р., Сомов Б.В., Шварц А.С. // Астрон. Ж. 1988. Т. **65**. С. 601.

ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ НЕТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ВИСТЛЕРОВ ВО ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛЕ

Филатов Л.В.[1] **, Мельников В.Ф.**[2]

[1]*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, filatovlv@yandex.ru*
[2] *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург*

Известно, что нетепловые электроны, инжектированные во вспышечную магнитную петлю, попадают и удерживаются в ней некоторое время. Время нахождения нетепловых электронов в магнитной ловушке определяется процессом их рассеяния на различного рода неоднородностях, таких как частицы и волны фоновой плазмы, флуктуации ее плотности и магнитного поля петли. Влияние турбулентности вистлеров, генерируемой в области нестационарного энерговыделения, на распределение электронов в магнитной ловушке рассматривалось нами ранее (Filatov & Melnikov, Ge&Ae, 2017, v.57, №8).

В настоящей работе спектр турбулентности не является заданным, а рассчитывается из согласованной динамики волнового пакета и быстрых электронов в квазилинейном приближении. Кинетика электронов исследуется в каждой точке неоднородной магнитной петли. Для этого проводится численное решение нестационарного уравнения Фоккера-Планка с коэффициентами трения и диффузии, вычисленными для резонансного взаимодействия с вистлерами. Инкремент нарастания (декремент затухания) вистлеров для случая слабой турбулентности также рассчитывается в каждой точке петли и с учетом распределения быстрых электронов в ней. Это позволяет исследовать не только влияние волн на электроны, но и обратное влияние электронов на затухание (нарастание) волн в петле. В докладе представлены результаты исследования различных режимов инжекции быстрых электронов в петлю с неоднородными вдоль петли и постоянными во времени магнитным полем и плотностью плазмы. Приведен анализ энергетических, питч-угловых, временных и пространственных профилей распределения нетепловых электронов и спектра турбулентности вистлеров.

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЭРУПЦИИ ПРОТУБЕРАНЦЕВ

Филиппов Б.П.

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

Корональные выбросы вещества тесно связаны с эрупциями протуберанцев и обычно являются их продолжением в верхней короне Солнца. Часто эруптивный процесс можно проследить почти непрерывно от самого зарождения до покидания выбросом поля зрения коронографов. Нередко бывают "неудавшиеся" эрупции протуберанцев, когда, начав подниматься, протуберанец останавливается на большей высоте в короне, и корональный выброса не следует, а иногда корональный выброс "запаздывает" на часы. В таких случаях наблюдения показывают, что "неудавшаяся" эрупция возобновляется через какое-то время и завершается формированием коронального выброса. Причиной такого сценария является особое распределение магнитного поля в короне, в котором существуют условия для промежуточного метастабильного равновесия магнитного жгута, содержащего протуберанец. Расчеты распределения потенциального магнитного поля в областях, где происходят двухступенчатые эрупции, показывают, что индекс убывания поля меняется немонотонно с высотой, и существуют перемежающиеся интервалы высот, в которых возможно устойчивое и неустойчивое равновесие. Быстрый подъем магнитного жгута с протуберанцем после потери устойчивости в нижней короне сменяется его замедлением и, возможно, почти полной остановкой в вышерасположенной зоне устойчивости, где он находится до тех пор, пока внешние воздействия или медленная эволюция не приводят его в следующую зону неустойчивости.

THE RECALIBRATION OF THE SUNSPOT RECORDS AND THE RECONSTRUCTIONS OF THE TOTAL SOLAR IRRADIANCE

Georgieva K., Kilcik A., Nagovitsyn Y., Kirov B., Asenovski S.

Space Research and Technologies Institute at the Bulgarian Academy of Sciences
katyageorgieva@msn.com

Direct measurements of total solar irradiance (TSI) began in 1978 and has been carried out by numerous instruments. To construct a composite record of TSI, a mutual calibration of these instruments must be made, which is not a trivial task, and the different composite records give controversial results, even in the trend. Reconstructions of long-term irradiance variability are even more controversial. They are based on the assumption that all changes in the solar irradiance on time scales longer than hours are entirely caused by changes in the solar surface magnetic flux which can be traced through surface features, such as spots, faculae, network. Information on the surface coverage by each component and its evolution in time is best provided by measurements of the solar photospheric magnetic fields, which are however available for only a little longer than direct TSI measurements (since 1974). For earlier times, back to 1874, records of sunspot areas are used, based on the correlation between the sunspot's area and its magnetic field. For still earlier times, the sunspot numbers are used which are correlated with the sunspot area. Therefore, the sunspot number is a critical parameter in reconstructing TSI.

Recently a recalibration of the sunspot number was undertaken by a group of scientists, which inevitably led to the recalculation of the long-term reconstructions of TSI. The new reconstructions show much less TSI variability, leading to estimations of much smaller role of the solar variability for long-term climate changes. We suggest an independent proxy - geomagnetic activity records, and present a reconstruction of TSI based on it. We compare our reconstruction with the original and recalibrated sunspot records, and demonstrate that the new sunspot records and the TSI reconstructions based on them are not justified.

Как происходит зарождение биполярной группы пятен?

Гетлинг А.В., Бучнев А.А.

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

Ранняя стадия эволюции солнечной активной области (АО) и группы пятен исследуется по данным наблюдений с помощью инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Обсерватории солнечной динамики (Solar Dynamics Observatory, SDO). Общим направлением работы является выяснение механизмов пятнообразования. Следуя ему, мы обсуждаем здесь адекватность популярной модели всплывающей трубки (МВТ). Согласно МВТ, биполярная группа солнечных пятен возникает при всплытии Ω-образной петли силовой трубки магнитного поля, несущей большой магнитный поток, из глубин конвективной зоны. Главные пятна биполярной группы образуются в местах, где основания петли пересекаются с фотосферой.

Здесь проведен анализ полновекторных магнитных полей и полей скорости, наблюдавшихся на раннем этапе развития АО 12548, 23–25 мая 2016 г. Использованы изображения в непрерывном свете, магнитограммы лучевой и тангенциальной компоненты магнитного поля, допплерограммы и найденные путем локального корреляционного трассирования поля тангенциальных скоростей. Момент зарождения магнитной биполярности удалось уловить с точностью до нескольких минут. На фоне распределенных полей хвостовой полярности возникает магнитный элемент головной полярности, который развивается как изолированное образование с фонтанообразной структурой поля. Между зародышами магнитных полюсов АО отсутствуют сильные горизонтальные магнитные поля и имеются перемешанные восходящие и нисходящие потоки с некоторым преобладанием нисходящих. Нет признаков растекания вещества от места, где согласно МВТ должна была бы выходить верхняя часть магнитной петли; напротив, в окрестностях растущей биполярной области сохраняется ненарушенная картина супергрануляционных течений. Наблюдаемый сценарий эволюции АО находится, таким образом, в резком противоречии с очевидными следствиями МВТ.

ПРЕДВЕСТНИКИ 24 и 25 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НА СРЕДНИХ И ВЫСОКИХ ГЕЛИОШИРОТАХ

Головко А.А.

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

Методом мультифрактальной сегментации фотосферных магнитограмм SOLIS, использованным в работе [1] для изучения процессов выхода нового магнитного потока в основной экваториальной зоне активности, по тем же данным исследованы проявления магнитной активности в области средних широт от 40^0 до 60^0 и в полярной зоне выше 60^0. Проведена статистика числа магнитных узлов диаметром 3-4”, выявляемых таким методом. Они соответствуют некоторым образованиям магнитной сетки на границах супергранул.

Обнаружен предвестник 24 солнечного цикла в виде всплеска числа магнитных узлов (Рис.1a) в 2007-2008 гг., превышающего в 20 раз его фоновое значение, характерное для периода 2011-2015 гг. Этот предвестник на 2 года опережает начало цикла (Рис.1b). Сопоставление полярности магнитных узлов с полярностью фонового магнитного поля на тех же широтах по данным работы [2] показывает их совпадение в 77% случаев.

В первом полугодии 2016 г. началось увеличение числа магнитных узлов, аналогичное ситуации 2-го полугодия 2007 г., что можно считать предвестником начала 25-го цикла солнечной активности в области средних гелиоширот. На этом основании, начало нового цикла может произойти в течение 2018 г. Интерпретация обнаруженного явления согласуется с концепцией начала солнечного цикла на высоких широтах, изложенной в работе [3].

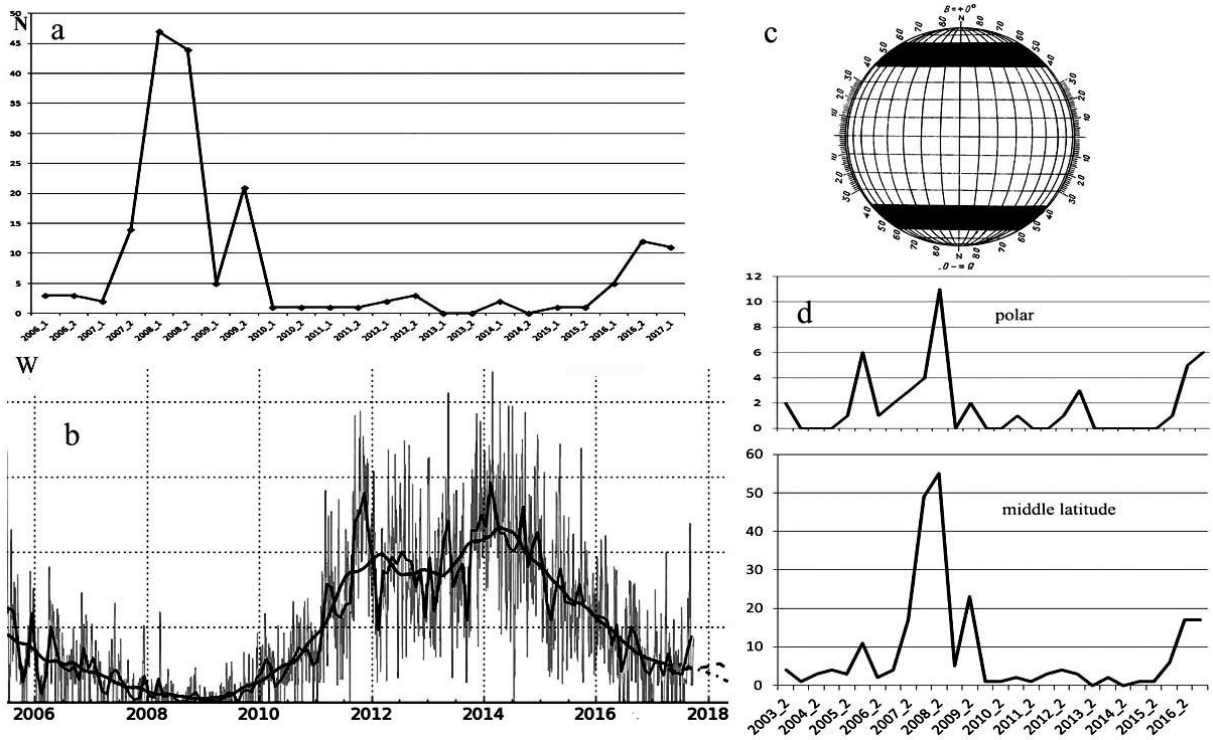


Рис.1. Временной ход N – числа магнитных узлов в широтных зонах от 40^0 до 60^0, суммированного по обоим полушариям Солнца за каждые полгода (a), кривая хода чисел Вольфа W (b), расположение зон на диске (c) и временной ход N в зонах выше 60^0(d).

1. Головко А.А., Салахутдинова И.И. // Астрон. журнал 2015. Т. **92**. С. 650.
2. Mordvinov A.V., Golubeva E.M. // Solar Physics 2017. V. **292**. P. 175.
3. Tlatov A.G. // Solar Physics 2009. V. **260**. P. 465.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕК

Гопасюк О.С.

ФГБУН "КрАО РАН", пгт. Научный, Республика Крым, Россия, olg@craocrimea.ru

Проведены исследования изменений продольного магнитного поля в двух активных областях во время вспышек М- класса. Наблюдения магнитного поля были получены *Solar Dynamics Observatory* с инструментом Helioseismic and Magnetic Imager (*SDO*/HMI) с временным и пространственным разрешением 45 с и 0".5 пиксел$^{-1}$, соответственно. Активные области во время вспышек находились вблизи центрального меридиана. В течении максимальной фазы вспышек M5.7/2B (NOAA 11476, 10 мая 2012 г) и M5.3/2B (NOAA 11515, 4 июля 2012 г) в магнитном поле активных областей произошли резкие изменения. В сильных магнитных полях отрицательной полярности возникли транзиентные структуры с обратным знаком. Из данных наблюдений нами были получены следующие важные характеристики этих особенностей, возникших во время максимальной фазы вспышек M5.7/2B и M5.3/2B. Изменения магнитного поля в транзиентных структурах сопровождались сильным импульсным увеличением средней относительной интенсивности. Эти структуры располагались в тени пятен, существовали в течение нескольких минут и показали пространственное и временное соответствие ядрам вспышек. Площадь, занимаемая магнитными аномалиями, существенно меньше площади соответствующих узлов вспышек. Над областью аномалий доминировали восходящие потоки плазмы. Между изменениями потока мягкого рентгена, магнитного потока в аномалии, ее площади и изменениями средней относительной интенсивности в фотосферной линии наблюдалась хорошая корреляция.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 16-02-00221 А.

ТОКИ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ ГРУПП ПЯТЕН ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Григорьева И.Ю.[1], **Мышьяков И.И.**[2], **Руденко Г.В.**[2]

[1]*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, irina.2014.irina@mail.ru*
[2]*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

В данной работе мы исследуем случаи возникновения мощного импульсного выделения энергии, сопровождаемого на уровне фотосферы солнцетрясениями (SQ). Соответствующие особенности, видимые на временной последовательности допплеровских изображений, однозначно свидетельствуют о начале быстрой контактной вспышки. Для события 10 мая 2012 года нами было показано, что в фотосфере абсолютная величина вертикальных токов (Jz) по обе стороны от нейтральной линии (NL, в картинной плоскости) локального магнитного поля увеличилась непосредственно перед импульсом, а затем вернулась к прежнему значению. Ранее такой эффект отмечали Шарыкин и Косовичев [1] активной области (АО) в целом. Однако в нашем случае он выявлен лишь вблизи самого сигмоида, то есть в небольшом участке, предположительно отождествляемом с местом первичного импульсного выделения энергии. Дополнительно мы изучили событие 26 сентября 2011 года с SQ, также связанное со вспышкой M класса, где наблюдаемые явления в трех центрах активности вблизи пятен были сильнее связаны друг с другом.

Для полноты картины событий с мощным импульсным выделением энергии следует учитывать конфигурацию АО вплоть до корональных высот. Так как вся магнитная конфигурация стремится к случаю, когда прямой и обратный ток скомпенсированы, то нарушение этого равновесия (в некоторой точке в области сильных магнитных полей) влечет резкое развитие неустойчивости токового жгута над NL. Это происходит на высотах в несколько тысяч км, то есть в верхней хромосфере. Одной из причин такого нарушения может быть всплытие нового магнитного поля в некоторой точке АО. Показанная нами картина о разбалансировке токов находится в согласии с работой Liu и др. [2]. Однако основная проблема состоит в выборе конкретной области на уровне фотосферы для соответствующей магнитной конфигурации всей АО. Кроме того, в нашей работе мы высказываем предположение и приводим некоторые примеры тому, что сама амплитуда изменений тока Jz играет несколько большую роль, чем его закрученность, рассмотренная Титовым в 2007 году [3]. Подтверждение выдвинутых нами соображений и рассмотрение конкретного вида неустойчивости подлежат дальнейшему исследованию.

1. Sharykin, I.N. and Kosovichev, A.G. // ApJ 2015. V. **808**(1), id. 72, 9 pp.
2. Liu, Y., Sun, X., Török, T., Titov, V.S., Leake, J.E. // ApJ Lett. 2017. V. **846**(L6), 6 pp.
3. Titov, V.S. // ApJ 2007. V. **660**(1), P. 863.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В КОЛЛАПСИРУЮЩИХ МАГНИТНЫХ ЛОВУШКАХ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК: СОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИ

Грицык П А **Сомов Б В**

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

Ускорение заряженных частиц до высоких энергий остается актуальной проблемой современной астрофизики применительно к различным по своим масштабам и природе явлениям. Солнечные вспышки в этой связи представляют особый интерес, поскольку могут быть изучены самым всесторонним образом с помощью современных многоспектральных наземных и космических обсерваторий. На основе аналитического решения соответствующего кинетического уравнения [1] в настоящей работе проведено моделирование солнечной вспышки класса M7.7, произошедшей 19 июля 2012 г. Корональный источник жесткого рентгеновского излучения в вершине вспышечной петли был интерпретирован в приближении модели тонкой мишени, а хромосферный источник в ее основании – в приближении толстой мишени с учетом эффекта обратного тока. Рассчитанный спектр хромосферного источника с высокой точностью соответствует данным наблюдений со спутника *RHESSI*. При совпадающем показателе наклона интенсивность модельного спектра корональной источника существенно ниже наблюдаемой. Данное несоответствие устранено учетом в модели тонкой мишени эффекта ускорения электронов в корональной магнитной ловушке [2], которая, сжимаясь в продольном и поперечном направлениях, удерживает внутри себя частицы. Такая, хорошо известная модель, предполагает эффективное действие двух механизмов ускорения частиц: ускорение Ферми первого порядка и бетатронный нагрев. В сравнении с классической моделью тонкой мишени в таких ловушках формируются спектры жесткого рентгеновского излучения с тем же показателем наклона, но большей интенсивностью [3]. Полученные в настоящей работе результаты представляют собой подтверждение существования и высокой эффективности ускорения электронов в коллапсирующих магнитных ловушках во время солнечных вспышек. Наши новые результаты на примере высокоточных наблюдений со спутника *RHESSI* демонстрируют ранее теоретически предсказанный эффект двухшажного ускорения частиц в солнечных вспышках [4], когда первым шагом является ускорение электрическим полем в области магнитного пересоединения, а вторым – ускорение внутри коллапсирующей магнитной ловушки.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-02-00585А.

1. Грицык П.А., Сомов Б.В. // Письма в Астрон. журн. 2014. Т. **40** С. 554.
2. Грицык П.А., Сомов Б.В. // Письма в Астрон. журн. 2016. Т. **42** С. 586.
3. Богачев С.А., Сомов Б.В. // Письма в Астрон. журн. 2007. Т. **33** С. 62.
4. B.V. Somov, T. Kosugi // Astrophys. J. 1997. V. **4** . P. 859.

СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА В ПЕРИОДЫ ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

Гуляев Р. А.

ИЗМИРАН, Троицк, г. Москва, Россия, rgulyaev@izmiran.ru

Есть косвенные свидетельства отсутствия солнечной короны в эпоху Маундеровского минимума (J. Eddy [1]). С учетом этого обстоятельства рассматривается поведение короны в периоды длительного (более 30 дней) отсутствия пятен на Солнце в современную эпоху.

1. Eddy J.A. Science, 1976, v. 192, p. 1189.

РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИЯХ ВЫСОКОИОНИЗОВАННОГО ЖЕЛЕЗА

Подгорный И.М.[1], Подгорный А.И.[2]

[1]*ИНАСАН, г. Москва, Россия, podgorny@inasan.ru*
[2]*ФИАН, г. Москва, Россия, podgorny@lebedev.ru*

Представлен анализ динамики электронной температуры солнечной атмосферы в области появления солнечных вспышек. Температура оценивалась по излучению спектральных линий, принадлежащих ионам железа высокой степени ионизации (FeXVIII, FeXXIII, FeXXIV и др.). Анализировались фотографии предвспышечного состояния и вспышек из архива американского аппарата Solar Dynamic Observatory, сделанные в спектральных линиях коротковолнового ультрафиолетового излучения. Показано, что солнечной вспышке обычно предшествует появление над активной областью яркого светящегося образования с температурой T~500 эВ, т. е. значительно превышающей температуру короны. Это локальное образование (размером ~10^{10} см), мы идентифицируем, как токовый слой в процессе аккумуляции магнитной энергии для вспышки. После нескольких десятков часов яркость локального предвспышечного свечения над активной областью, наблюдаемого в линиях высокоионизованного железа, резко возрастает. Температура локального облачка плазмы в короне над активной областью поднимается не менее чем до 2000 эВ. Это возрастание свечение совпадает с возникновением солнечной вспышки. Наблюдаемое поведение свечения атмосферы Солнца в спектральных линиях высокоионизованных ионов можно рассматривать, как независимое доказательство коронарного происхождения вспышки, электродинамическая модель которой основана на накоплении магнитной энергии в токовом слое над активной областью и взрывном выделении накопленной энергии. Обнаруженные предвспышечные структуры можно рассматривать как предвестники и использовать для прогноза вспышек. Исследования механизма вспышки приобретают особую актуальность в связи с открытием солнечных космических лучей, генерируемых вспышками. Информация, полученная из измерений на мировой сети нейтронных мониторов и измерений на космических аппаратах GOES, позволяет однозначно утверждать, что независимым источником солнечных космических лучей являются солнечные вспышки, а не генерируемые вспышками ударные волны. Невозможно исключить, что аналогичный механизм, а не ударные волны, ответственен и за ускорение частиц в галактике.

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА В 24 СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ В 2017 г.

Ишков В.Н.

ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия, vitish@wdcb.ru

Согласно сценарию цикличности для достоверных циклов солнечной активности (СА) 24 цикл открывает вторую эпоху «пониженной» СА, которая перекроет всю первую половину XXI века. Основной особенностью этой эпохи (5 циклов) – запрет на осуществление высоких солнечных циклов (СЦ) и непременное выполнение основных наблюдательных правил, в том числе правила Гневышева-Оля, по которому следующий 25 СЦ должен быть средней величины. Изменение более чем в два раза фона общего магнитного поля Солнца привело к полной перестройке физических условий во внутренней (а может и во внешней) гелиосфере и отразилось на состоянии околоземного космического пространства (ОКП).

Начавшийся в январе 2009 г., текущий СЦ развивался как цикл низкой величины. Темп развития вспышечной активности и её величина в текущем СЦ существенно ниже, чем в предыдущих 5 СЦ, входивших в эпоху "повышенной" СА и переходного периода. За 10 лет развития текущего цикла в его активных областях (АО) осуществилось 780 вспышек среднего балла M, из которых 110 были большими и 60 вспышек рентгеновского класса X, причём 31 такая вспышка осуществилась всего в 13 АО. Самых мощных (для текущего СЦ) класса X>5 было всего 4, причём 2 из них осуществились в сентябре 2017. Соответственно, и воздействие вспышечного электромагнитного излучения на ОКП (космическая погода – R1) значимо меньше, что определило и пониженные значения полного электронного содержания, и снижение критической частоты слоя foF2, и изменения других общих характеристик ионосферы, магнитосферы и, возможно, тропосферы.

За этот же период в ОКП зарегистрировано 96 солнечных протонных событий (космическая погода – R2): из которых **39** СПС с потоком частиц < **100 pfu (S1)**, **8 – ≥ 100 – ≤ 1000 pfu (S2) и 5** СПС **– ≥ 1000 pfu (S3**), среди которых было **4** – **GLE**-события и > **7** вспышек с солнечными нейтронами. Фон ГКЛ достиг минимума к середине 2015 г. и начал уверенно расти, что при падении вспышечной активности с большой вероятностью явилось причиной повышения радиационного фона в стратосфере на 13% (внешний радиационный пояс), в то же время на высотах полётов гражданской авиации фон не повысился.

Значимые возмущения геомагнитного поля (космическая погода – R3) отмечались реже и они были существенно слабее: в ОКП зарегистрировано лишь 4 большие магнитные бури (Ap≥70), две из которых, самые мощные в цикле, осуществились в 2015 г 17.03 (Ap=117 nT, Dst= – 223 nT) и 22 – 23.06 (Ap=83 nT, Dst= – 195 nT). В то же время среднее количество рекуррентных малых магнитных бурь осталось на уровне предыдущих циклов или немного возросло.

Достаточно необычным в СЦ 24 стал и затянутый процесс переполюсовки общего магнитного поля Солнца: 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. Асимметрия появления АО до начала 2013 г. была в пользу Северного полушария и первый максимум по числу пятен обеспечили АО Северного полушария, но основной максимум обеспечили АО Южного полушария. Однако с апреля 2016 г. АО Северного полушария снова доминируют. Интересно отметить, что от максимума СЦ 18 до максимума СЦ 20 СА Северного полушария явно доминировала, а на ветви спада, в последних 4 СЦ, преимущество было у Южного полушария.

Вероятная длительность ветви спада текущего цикла – 6 лет, самого цикла – 11.8 г. Точка минимума ожидается во второй половине 2020 г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКО АКТИВНЫХ ГРУПП ПЯТЕН ФАЗЫ МИНИМУМА СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРОГНОЗА

Ишков В.Н

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

Появление в сентябре 2017 г. (ветвь спада, фаза минимума текущего 24 цикла) вспышечно-активной группы пятен, в которой осуществились 5 вспышек балла >X, из которых 2 стали самыми мощными по интенсивности рентгеновского излучения вспышки текущего солнечного цикла (СЦ), поставило в повестку дня исследование подобных событий фазы минимума предыдущих СЦ с целью выявления подобных явлений и возможности их прогноза. Под фазой минимума здесь понимается интервал времени, когда сглаженные значения относительных чисел солнечных пятен остаются в пределах W*≤ 30. Фаза минимума, таким образом, является общей для предыдущего и последующего солнечного цикла. На интервале фазы минимума последующего СЦ мощных вспышечных событий не бывает. Современная система определения рентгеновских баллов введена с начала 21 СЦ, но по данным системы спутников GOES и SOLRAD их можно восстановить вплоть до 1968 г. Таким образом, для исследования нам доступны 4 цикла эпохи "повышенной" солнечной активности (20 – 22 СЦ), цикл переходного периода (23) и текущий 24 СЦ – начало второй эпохи "пониженной" СА. Условиям нашей выборки удовлетворяют следующие АО: в 20 СЦ AR0433 июль 1974г., в 21 – AR4474 апреля 1984 г., в 23 – AR10808 сентября 2005 г. и AR10930 декабря 2006 г., в 24 – AR12673 сентября 2017 г. – все в Южном полушарии. Рассмотрение условий появления и эволюция этих АО даёт оценить необходимые параметры СЦ для прогноза возможности появления подобных групп пятен.

ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ В СЛАБЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ : ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В МИКРОВОЛНОВОМ И РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНАХ

Кашапова Л.К., Жданов Д.А., Лесовой С.В., Кудрявцева А.В.

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

При изучении процессов энергии выделения во время солнечных вспышек исследователи, как правило, сталкиваются с тем, что мощные события представляют собой комбинацию ряда явлений и процессов различной природы. Это приводит к нескольким сценариям развития события, зачастую противоречащих друг другу. Слабые солнечные вспышки (рентгеновских классов B и C) чаще всего представляют собой «чистые» случаи, позволяющими выделить один единственный доминирующий механизм генерации излучения и провести его подробный эмпирический и численный анализ. Однако, прогрессу в этой области препятствует слабый уровень сигнала в рентгеновском диапазоне, не позволяющий провести необходимые исследования пространственной структуры.

Сравнение и комбинирование рентгеновских данных (временных и спектральных) с микроволновым излучением и привлечение моделирования гиросинхротронного излучения позволяет уверенно диагностировать процессы выделения и переноса энергии даже для очень слабых событий. В результате, в настоящее время мы имеем широкий набор сценариев энерговыделения для слабых вспышек от высокотемпературных событий до так называемых «холодных» вспышек.

В докладе, на примере нескольких событий, показываются возможности диагностики процессов энергии выделения в слабых вспышках с использованием комбинации наблюдений в рентгеновском и микроволновом диапазоне, а также с привлечением наблюдений в вакуумном ультрафиолет (ВУФ). Обсуждаются возможности и ограничения данного подхода с учетом современных наблюдательных данных.

RESULTS OF THE STUDY OF THE ORIGINS OF THE SELECTED SEP EVENTS OCCURRED DURING THE PREVIOUS SOLAR CYCLE

Kashapova L.[1], Miteva R.[2], Bogomolov A.[3], Myagkova I.[3], Meshalkina N.[1], Danov D.[2], Petrov N.[4], Tsvetkov Ts.[4], Myshyakov I.[1], Zhdanov D.[1]

[1]Institute of Solar Terrestrial Physics - SB Russian Academy of Sciences

[2]Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences

[3]Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University

[4]Institute of Astronomy and National Astronomical Observatory, Bulgarian Academy of Sciences

lkk@iszf.irk.ru

We present the first results on the analysis of events used to study solar energetic particle (SEP) sources during solar cycle 23. The SEP event selection was based on the presence of simultaneous observations of the hard X-ray (HXR) instrument SONG (KORONAS-F) with radio emission ranging from microwaves to the meter-range, as evidence of the accelerated particle generation during the events. We carried out preliminary analysis of the correlation between the time profiles of SEP events, HXR and radio emission taking into account the topology of active regions where the considered events took place. The special attention was paid to the comparative analysis of the efficiency of proton generation during the March 17, 2003 and April 11, 2004 solar flares.

This study is supported by the project 'The origin on solar energetic particles: solar flares vs. coronal mass ejections', co-funded by the Russian Foundation for Basic Research with project No. 17-52-18050 and the National Science Fund of Bulgaria under contract No. DNTS/Russia 01/6 (23-Jun-2017).

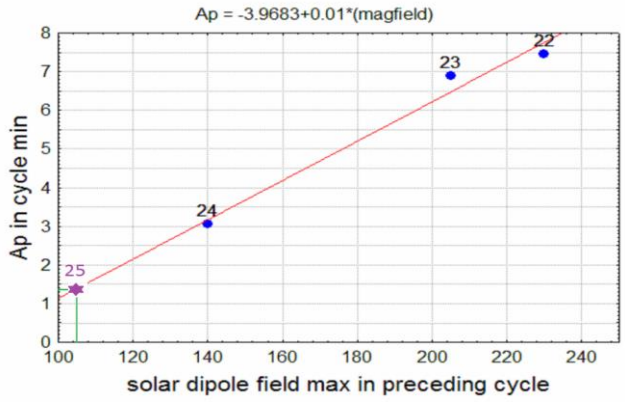
ON THE POSSIBILITY TO PREDICT THE FUTURE SUNSPOT MAXIMUM

Kirov B., Asenovski S., Georgieva K., Obridko V.N.

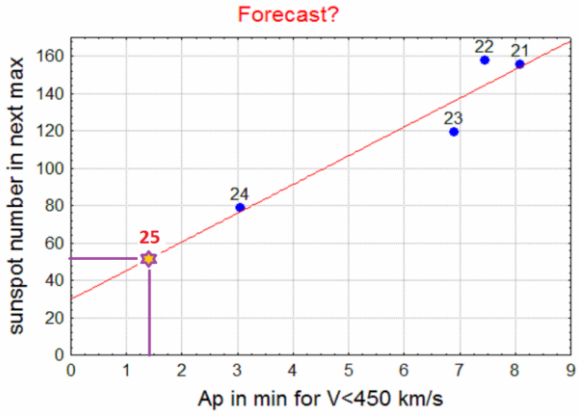
Space Research and Technologies Institute at the Bulgarian Academy of Sciences
bkirov@space.bas.bg

Predicting solar and geomagnetic activity is the biggest challenge to solar-terrestrial physics – not only because the accuracy of the predictions is an indication of our understanding of how the Sun operates, and how the solar activity agents interact with the Earth's system, but also because our increasingly technological society is becoming increasingly vulnerable to the possibly adverse effects of space weather.

The geomagnetic activity – disturbances to the Earth's magnetic field – have been related to solar activity since the beginning of geomagnetic studies. Nowadays, continuous observations of the Sun by ground-based and space-borne instruments make it possible to forecast the *short-term* (hours to days) geomagnetic activity with improving accuracy. On the other hand, the long-term (cycle-to-cycle) variations of the maximum sunspot activity has been found to be well correlated with, and consequently possible to predict based on the minimum level of geomagnetic activity in the ~11-year sunspot cycle (Ohl and Ohl, 1966) or to the level of geomagnetic activity during the late declining phase of the ~11-year sunspot cycle (Ohl and Ohl, 1979). That is, measurements of geomagnetic activity can be used for *long-term* (of the order of a few years) forecast of the level of solar activity. The goal of the present paper is to investigate the possibility to forecast, based on observations of the Sun, the *long-term* extrema of geomagnetic AND sunspot activity: the next minimum of the geomagnetic activity and the next maximum of the sunspot activity during the sunspot activity cycle.



Correlation between the maximum solar dipole field in a cycle and the Ap-index in the beginning of the next cycle



Relation between the average Ap in the beginning of a cycle and the maximum sunspot number (according to the original Zurich classification) in that cycle

СВЯЗЬ НАБЛЮДАЕМЫХ НА ВИДИМОЙ СТОРОНЕ СОЛНЦА ИСТОЧНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО И РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С ЗАЛИМБОВЫМИ ЭРУПТИВНЫМИ СОБЫТИЯМИ

Киселёв В.И.[1,2], **Григорьева И.Ю.**[2], **Гречнев В.В.**[1], **Кашапова Л.К.**[1], **Зимовец И.В.**[3]

[1]*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, valentin_kiselev@iszf.irk.ru*

[2]*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, irina.2014.irina@mail.ru*

[3]*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivanzimovets@gmail.com*

Эруптивная вспышка X1.0 произошла 1 сентября 2014 г. за восточным лимбом в активной области с координатами N14E129. Несмотря на восточное расположение области, произошло околоземное протонное возрастание в канале > 100 МэВ, а со стороны Земли наблюдались гиросинхротронное излучение и гамма-излучение пионного распада, образующееся при взаимодействии протонов с энергиями > 300 МэВ с плотными слоями солнечной атмосферы. Всплеск жёсткого рентгена регистрировался с различных точек пространства, как и в залимбовой вспышке 27 октября 2002 г. Для объяснения того, как протоны высоких энергий могут попасть на видимую с Земли поверхность Солнца, предложены различные схемы. В первой схеме (Cliver et al., 1993) протоны ускоряются головной ударной волной перед быстрым корональным выбросом на открытой магнитной структуре, и частично уходят в межпланетное пространство, а частично возвращаются к поверхности Солнца. В другой схеме протоны и электроны, ускоренные вспышечными процессами в активной области, инжектируются в расширяющийся магнитный жгут и переносятся в нём до его пересоединения на значительной высоте со статической магнитной структурой, получая доступ как в межпланетное пространство, так и к удаленной области Солнца. В третьей схеме частицы, не попавшие ни в жгут, ни во вспышечные петли, распространяются из области вспышки через длинные петли на видимую сторону Солнца. В последней схеме возможно дополнительное ускорение частиц при сжатии петель (Hudson, 2017). Выяснение того, какая из схем соответствует наблюдениям, проливает свет и на вероятный механизм ускорения частиц до высоких энергий. Предварительный анализ наблюдений залимбовой вспышки 1 сентября 2014 г. указывает на предпочтительность третьего варианта.

Мы с благодарностью помним М.А. Лившица, инициировавшего эту работу. Благодарим инструментальные коллективы HEND, Конус-Винд, Fermi, NRH, SDO/AIA и HMI, Proba 2/SWAP, RSTN за использованные данные. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-32-50040 мол_нр.

ЧТО ДАННЫЕ О ВРАЩЕНИИ ЗВЕЗД ГОВОРЯТ О СОЛНЕЧНОМ ДИНАМО

Кичатинов Л.Л., Непомнящих А.А.

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

Скорость вращения подобных Солнцу звезд уменьшается со временем из-за потери углового момента на звездный ветер. Это обстоятельство привело к развитию гирохронологии - определению возраста звезд по их скорости вращения и температуре (цвету). Другую возможность для определения возраста звезд представляет астеросейсмология. Астеросейсмологичесие данные, однако, показали нарушение гирохронологии для относительно старых звезд: по прошествии примерно половины времени жизни на главной последовательности, звезды вращаются быстрее, чем предсказывает гирохронология. Это обстоятельство можно объяснить выключением глобального динамо по достижении относительно малой «критической» скорости вращения. В рамках такого объяснения можно найти величину превышения (≈10%) скоростью вращения Солнца ее критического значения и определить величину динамо-числа для модели солнечного динамо. Соответствующая численная модель динамо показывает близкое соответствие наблюдениям. Расчеты для подобных Солнцу звезд предсказывают структуру их крупномасштабных магнитных полей.

РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И РЕКОМБИНАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Костров А.В., Малышев М.С.

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

Анализ изображений солнечных вспышек в различных спектральных диапазонах позволяет предположить, что излучение высокоионизированных ионов в короне связано с процессом рекомбинации ионов, ионизированных внутри Солнца. Такое разделение процессов ионизации и рекомбинации в пространстве (иногда и во времени) хорошо известно из результатов лабораторных экспериментов.

В периоды активности на поверхность Солнца поступает плазма из внутренних областей с температурой превышающую температуру поверхности спокойного Солнца. Энергичные ионы преодолевают гравитационное поле Солнца и создает электрическое поле, в котором ионы различной степени ионизации ускоряется в хромосферу и корону.

При движении ионов в электрическом и гравитационном полях потенциальная энергия ионов, запасенная при ионизации внутри Солнца может освобождаться при рекомбинации в атмосфере Солнца в виде непрерывного и линейного излучения. При рекомбинации температура (средняя энергия) электронов значительно меньше потенциала возбуждения и ионизации наиболее представленных многозарядных ионов, поэтому регистрация высокоэнергичных квантов излучения не несет никакой информации о температуре электронов в короне Солнца.

В данной работе построены траектории движения ионов над активными областями в электрическом и гравитационном полях. Двухмерное структура электрического поля над активными областями позволила получить характеристические изображения вспышек в различных спектральных диапазонах, которые похожи на корональные структуры типа дуги, петли, арки и т.п.

Получено, что изображение вспышек в различных спектральных линиях высокоионизированных ионов зависит от отношения массы иона к его заряду M/Z. В первую очередь атмосферу Солнца могут покинуть ионы с малым отношением M/Z порядка 1 и 2, что подтверждается распределением ионов в солнечном ветре вблизи поверхности Земли. Электрически тяжелые ионы $M/Z>>2$ могут остановиться в хромосфере и короне Солнца и определить структуру и спектр излучения вспышки в характеристической линии излучения конкретного иона.

О РАЗЛИЧИИ И СВЯЗИ ПРОЦЕССОВ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА ГЕНЕРАЦИЮ КВАЗИ-ДВУХЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ И 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Костюченко И.Г.

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

Квази-двухлетние вариации (КДО) являются одним из фундаментальных свойств солнечной активности (СА), они проявляются в вариациях всех индексов СА, причем независимо в каждом из широтных полушарий, но конкретный механизм их генерации все еще плохо понятен [1].

В данной работе проводится сопоставление вклада групп солнечных пятен, различающихся по размеру площадей, в КДО и в целом в 11-летний цикл СА с целью выявить различия и связь процессов, ответственных за генерацию этих вариаций СА.

Использован каталог солнечных пятен обсерватории Гринвич - научного центра Маршалла *(http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml),* который содержит ежедневные данные о площадях и координатах наблюдаемых групп солнечных пятен за 12-24 циклы СА (с1876г. по 2017г). На их основе для каждого из широтных полушарий получались среднемесячные значения S площадей групп пятен, имеющих размеры S<500msh, S>500msh и S>1000msh, и вычислялось их суммарное значение за каждый из 11-летних циклов СА.

Оказалось, что во всех циклах процент больших групп пятен в КДО существенно выше, чем в среднем в цикле; в КДО формируется в около 60%, а в отдельных циклах больше 80% всех групп пятен с S > 1000 Mhs, наблюдаемых в 11-летнем цикле, и только ~20% групп с S<500Msh. При этом, как относительная площадь больших групп (S>500Msh), так и суммарная площадь всех пятен, формируемых в КДО, пропорциональны полной площади пятен в 11-летнем цикле СА. Отмечается, что указанная пропорциональность не выполняется для слабых циклов (12-15) .

Все полученные результаты указывают на различие процессов, ответственных за генерацию КДО и 11-летнего цикла СА, а также на наличие связи между ними. Тот факт, что в процессе, ответственном за генерацию КДО, производится существенно больше крупных групп пятен, чем в целом в 11-летнем цикле, возможно, говорит об усилении и/или концентрации магнитного потока, генерируемого магнитным динамо в тахоклине, вторым процессом, развивающимся под фотосферой и/или внутри конвективной зоны. Эти результаты хорошо согласуется с моделями двойного магнитного цикла. Различие для серий слабых и сильных циклов связи между вкладом КДО в 11-летний цикл СА и мощностью цикла, а также между пропорцией разных категорий пятен и мощностью цикла, является аргументом в пользу гипотезы о возможном переключении режимов генерации солнечных пятен [2], в котором КДО могут играть важную роль**.**

1. Bazilevskaya G. et al // Space Sci Rev 186, 359, 2014
2. Ишков В.Н. // Тр. «Солнечная и с-з физ-2013», с.111, 2013

О РЕЖИМАХ НАГРЕВА В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

[1]Ковалев В.А., [2]Куркина Е.С., [2]Куретова Е.Д

1 -*ИЗМИРАН, г.Троицк, г. Москва, Россия, vic.kov@yandex.ru*

2- *МГУ, фак-т ВМК, г. Москва, Россия*

На основе радиально-симметричных решений нелинейного уравнения теплопроводности в области, представляющей собой цилиндрическую магнитную трубку, исследована модель нагрева плазмы в начальной фазе вспышки. Показано, что при наличии нелинейного источника, имеющего степенной вид и анизотропной теплопроводности, нагрев происходит анизотропным образом, возможна комбинация разных режимов с формированием разных типов диссипативных структур. Для сравнения с данными наблюдений представляют интерес решения, описывающие рост температуры в режиме с обострением и сопровождаемые локализацией тепла поперек магнитной трубки в виде горячих тонких нитей (LS-режим), вытянутых вдоль магнитного поля.

.

СИНФАЗНЫЕ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПУЛЬСАЦИИ КАК ИНДИКАТОР ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ СЛАБЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Масуда С., Жданов Д.А.

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

Процессы первичного энерговыделения солнечных вспышек — одна из широко обсуждаемых проблем солнечной физики. Одной из причин медленного прогресса в этой области является недостаток наблюдений, которые могли бы дать информацию непосредственно из места первичного энерговыделения. Квазипериодические пульсации (КПП), наблюдающиеся в широкополосном излучении солнечных вспышек, известны как один из инструментов диагностики процессов энерговыделения, в частности, процессов, связанных с ускорением электронов. Например, анализ КПП позволяет определить, является ли наблюдаемые вариации яркости результатом модуляции самого ускорительного процесса или модуляцией интенсивности излучения уже ускоренных частиц.

Мы представляем результаты анализа необычных КПП, наблюдавшихся в начале импульсной фазы слабой солнечной вспышки (GOES класса C2.3) 21 декабря 2015 года. При анализе были использованы данные широкополосного микроволнового спектрополяриметра в диапазоне 4–8 ГГц (радиоастрофизическая обсерватория Бадары), радиогелиографа и радиополяриметров обсерватории Нобеяма на частоте 17 ГГц, а также рентгеновские данные спутников RHESSI и FERMI. Нами были обнаружено, что синфазные пульсации с периодом 12–15 с присутствовали и в микроволновом излучении, и в жёстком рентгеновском излучении. Более того, пульсации были синфазны в оптически тонкой, и в оптически толстой частях спектра гиросинхротронного излучения. Сравнение результатов наблюдений с параметрами и особенностями излучения, связанными с различными механизмами пульсаций указывает на то, что наблюдавшиеся КПП связаны с модуляцией процесса ускорения электронов. В докладе обсуждаются результаты создания эмпирической численной самосогласованной модели данного события и возможности применения результатов наблюдений к диагностике процессов энерговыделения в более мощных вспышках.

ВКЛАД РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ СОЛНЕЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОБЩЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Куценко А.С., Абраменко В.И., Юрчишин В.Б.

КрАО РАН, п. Научный, Крым, Россия, alex.s.kutsenko@gmail.com

Общее магнитное поле (ОМП или магнитное поле Солнца-как-звезды) является одним из индексов активности Солнца и определяется как средняя величина продольного магнитного поля всего диска Солнца. По сути, ОМП показывает дисбаланс магнитного потока от всего Солнца в направлении Земли. В первых работах по исследованию ОМП было показано, что его структура и знак воспроизводится с задержкой 2-3 дня межпланентным магнитным полем около магнитосферы Земли, поэтому ОМП может рассматриваться как один из факторов, оказывающих непосредственное влияние на космическую погоду.

В первых исследованиях ОМП было выдвинуто предположение, что оно определяется протяженными областями спокойного Солнца, которые занимают порядка 90% поверхности. Этой гипотезы придерживаются многие исследователи по сегодняшний день.

Мы решили установить вклад различных участков солнечной поверхности в ОМП. Для анализа мы использовали магнитограммы продольного поля полного диска Солнца инструмента SDO/HMI, одна магнитограмма в день, начиная с 2010 года.

Все пиксели магнитограммы были разделены на три группы. В первую группу – слабые поля – входили пиксели с абсолютной плотностью магнитного потока менее 30 Мкс $см^{-2}$. Остальные пиксели с помощью разработанного алгоритма сопоставлялись с магнитными структурами на Солнце и разделялись на средние или сильные поля. К сильным полям относились пиксели, которые образовывали активные области на поверхности Солнца с магнитным потоком более $3 \cdot 10^{20}$ Мкс. К средним полям были отнесены пиксели, соответствующие, в основном, диссипирующим остаткам активных областей, эфемерным областям, межсупергранульной магнитной сетке.

Для определения вклада каждой группы в ОМП рассчитывалось среднее поле, создаваемое каждой группой в отдельности, которое затем сравнивалось с ОМП. Было установлено, что решающий вклад в ОМП (более 80%) вносится группами сильных и средних полей. Интересно, что суммарная площадь занимаемая пикселями этих двух групп, не превосходит ~10% площади солнечного диска. Это результат находится в несогласии с результатами первых работ по ОМП. Противоречие можно объяснить плохим пространственным разрешением магнитограмм, которые использовались в ранних работах: из-за низкого разрешения невозможно выделить на магнитограмме области повышенной концентрации магнитного потока, имеющие меньший размер, чем разрешение инструмента.

Анализ изменений вкладов различных групп в ОМП показал, что абсолютный вклад слабых полей практически не зависит от фазы цикла солнечной активности, в то время как вклад сильных и средних полей максимален во время максимума цикла. Кроме того, результаты слабо зависят от выбора порогов для разделения пикселей на группы. В группе средних полей наибольший вклад в ОМП вносят магнитные структуры с магнитным потоком $0.1\text{-}3 \cdot 10^{20}$ Мкс, т.е. наиболее крупные остатки активных областей.

Несущественный вклад спокойного Солнца связан, по-видимому, с тем, что магнитные поля спокойного Солнца представляют собой «ковер» мелких магнитных диполей, которые показывают закрытую магнитную конфигурацию и, соответственно, слабый дисбаланс магнитного потока.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 16-02-00221.

ТИЛЬТ, СПИРАЛЬНОСТЬ, И СОЛНЕЧНОЕ ДИНАМО

Кузанян К.М., Kleeorin, N.; Rogachevskii, I.; Tlatov, A.; Zhang, H.; Xu, H.

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

Обсуждаются теоретические механизмы закручивания магнитных полей как в процессе генерации механизмом турбулентного динамо, так и посредством закручивания линий магнитного поля при всплытии замагниченных трубок в пятнах. Делаются оценки эффективности физических механизмов закрутки в обоих процессах, которые дают соизмеримые по абсолютной величине, но противопо ложные по знаку вклады. На основании оценок делается вывод об образовании остаточной наблюдаемой части магнитной спиральности в солнечной фотосфере и выносе части спиральности наружу посредством солнечного ветра.

Делаются оценки величины угла наклона (тилта) биполярных образований. На основаниии теоретических оценокппоказано, что для крупных активных областей угол наклона будет соотвествовать закону Джоя, в то время как для мелких областей преобладает хаотический характер закрученности, который зачастую имеет знак, противоположный закону Джоя. Установлено, что в четных циклах активности значения угла наклона систематически выше аналогичных в нечетных циклах, особенно вблизи экватора. Теоретические оценки связывают этот эффект с взаимодействием дипольной и квадрупольной мод глобального магнитного поля в солнечном цикле.

USING RASTER MOSAIC MAPS OF PHOTOSPHERIC VECTOR MAGNETOGRAMS FOR STUDIES OF SPATIAL SPECTRA OF SOLAR TURBULENT MAGNETIC FIELD AND HELICITY

Кузанян К.М., Otsuji, K.; Sakurai, T.; Yokoi, N.

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, kuzanyan@izmiran.ru
National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo, Japan

Knowledge of spatial spectra of magnetic and velocity fields and their helicities (correlation of the field and its curl) in turbulent media are very important for understanding the underlying physics. In observations, likewise in numerical simulations, the significant restriction of revealing these quantities from available data is the limit of scale separation between the smallest resolved (or pixelized) scale and the largest scale of the available field of view.

The vector magnetic field data obtained from SOT SP on-board Hinode provide high resolution maps with limited field of view. For practical studies, the field of view can be effectively increased up to the limits of the curvature of the solar surface (for application of models without account of projection). We proposed the procedure of matching the normal mode and fast mode high resolution maps of vector magnetic field for computation of larger field of view maps of magnetic energy and current helicity. A series of mosaic (matching two subsequent maps) and super-mosaic (matching a series of maps in vertical and horizontal dimensions) have been proposed for Hinode SOT observational program.

The first results of analysis of the merged maps show interesting properties of the turbulence that occur near the edge of the resolution but still reliably resolved scales of order of solar granulation. These imply a possibility of the effect of “bottle-neck” in transport of energy and helicity across the scales of this range.

НАБЛЮДЕНИЕ ВСПЫШКИ КЛАССА X9.3 6 СЕНТЯБРЯ 2017 Г. ИНСТРУМЕНТОМ KONUS-WIND В ГАММА-ДИАПАЗОНЕ

Лысенко А.Л., Анфиногентов С.А., Флейшман Г.Д.

ФТИ им. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, alexandra.lysenko@mail.ioffe.ru

Текущий минимум солнечной активности ознаменовался серией мощных вспышек, произошедших в сентябре 2017 г., среди которых было зарегистрировано 4 вспышки X-класса. Две из этих вспышек, класса X9.3 6 сентября и X8.2 10 сентября, представляют особенный интерес, поскольку за ними последовало продлённое гамма-излучение, наблюдавшееся инструментом Fermi/LAT на энергиях >100 МэВ в течение более чем 10 часов [1].

При том, что вторая вспышка, 10 сентября 2017 г., на протяжении импульсной фазы наблюдалась многими инструментами в рентгеновском, гамма и микроволновом диапазонах, для импульсной фазы вспышки X9.3 6 сентября 2017 г., наблюдения весьма скудны: она пришлась на «ночь» аппаратов RHESSI и Fermi, также отсутствует пространственная информация в микроволновом диапазоне. По этой причине данные инструмента Konus-Wind, который наблюдал импульсную фазу вспышки в жёстком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах, особенно важны. Для этой вспышки доступны кривые блеска с высоким временным разрешением в трёх широких каналах в диапазоне 20 кэВ — 1200 кэВ и проинтегрированные от всего солнечного диска спектральные данные в диапазоне 20 кэВ — 15 МэВ.

Импульсная фаза вспышки 6 сентября 2017 г. сопровождалась гамма-излучением, которое и представляет основной интерес в данной работе. Вклад в излучение в гамма-диапазоне вносят релятивистские электроны как континуум от тормозного излучения и ускоренные ионы, которые порождают ядерные реакции и как следствие излучение в гамма-линиях от снятия возбуждения ядер, излучение от аннигиляции позитронов и электронов, гамма-линию от захвата нейтрона протоном и пр. Мы провели спектральный анализ данных в гамма-диапазоне, используя байесовский анализ, восстановили временную эволюцию основных компонентов излучения в гамма-диапазоне и на основании этих данных оценили некоторые характеристики ускоренных ионов и вспышечной области.

1. Longo, F., Omodei, N., & Digel, S. 2017, The Astronomer’s Telegram, 10720

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА: ПРОЕКТ "СОЛНЦЕ-ТЕРАГЕРЦ"

Махмутов В.С., Стожков Ю.И., Измайлов Г.Н., Калинин Е.В., Квашнин А.А., Озолин В.В., Филиппов М.В.

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

Диапазон электромагнитных волн ~0.5-30 ТГц в потоке солнечного излучения на сегодняшний день является практически не исследованным, вследствие почти полного поглощения этих волн в атмосфере Земли. Проект «Солнце-Терагерц» направлен на проведение внеатмосферных экспериментов по исследованию именно этого диапазона волн в излучении спокойного Солнца, так и во время проявлений его активности (солнечных вспышек, выбросов корональной массы, и т.д.). Эти измерения необходимы для установления физической природы солнечной активности и солнечных вспышек. Также они имеют и важное прикладное значение, в частности для прогнозирования мощных солнечных вспышек на Солнце и их возможного воздействия на межпланетное пространство, земную магнитосферу, на электронные космические системы, наземные энергетические установки и коммуникационные системы и на атмосферные процессы.

Целью проекта «Солнце-терагерц» является разработка, создание научной аппаратуры для регистрации солнечного излучения в терагерцовом диапазоне (10^{11}–10^{12} Гц) и проведение измерений на борту Международной космической станции. В докладе будут представлены первые результаты проведенных работ по данному проекту.

Работа выполнена в рамках Договора с ОАО «РКК «Энергия» №477023802716000057О/84/16.

ЭФФЕКТ РАЗИНА И МИКРОВОЛНОВАЯ ДИАГНОСТИКА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Мельников В.Ф.

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gaoran.ru

Эффект Разина часто никак не учитывается в работах, связанных с микроволновой диагностикой параметров ускоренных электронов во вспышечных петлях, что может приводить к значительным ошибкам в оценках как числа, так и показателя спектра ускоренных частиц. Это, в свою очередь, ведет к сильным разногласиям с результатами диагностики параметров частиц, выполненных по данным о жестком рентгеновском и гамма излучениях. В настоящей работе учтены свидетельства в пользу относительно высокой плотности плазмы внутри вспышечных петель, полученные в последние годы из наблюдений в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах. Показано, что указанные выше ошибки во многом определяются тем, что гиросинхротронный спектр является очень чувствительным к величине отношения плотности плазмы к магнитному полю (эффект Разина). Приведены результаты модельных расчетов и результаты анализа данных современных микроволновых наблюдений, свидетельствующих о том, что в условиях реальных солнечных вспышек эффект Разина оказывает существенное влияние на интенсивность и наклон частотного спектра в диапазоне частот $f > f_{peak}$, на поляризацию и на пространственное распределение яркости микроволнового излучения во вспышечных петлях. В некоторых вспышках эффекты являются сильными даже на частотах 17 и 34 ГГц, на которых ведутся наблюдения на Радиогелиографе Нобеяма. Отметим, что особенно актуален учет эффекта Разина при проведении микроволновой диагностики по данным новых многоволновых радиогелиографов – Сибирском (SRH) и Китайском (MUSER). Связано это с тем, что диапазон частот их наблюдений существенно ниже, чем у Радиогелиографа Нобеяма, и поэтому эффект Разина будет сказываться даже при заметно меньшей плотности плазмы во вспышечной петле.

СВОЙСТВА ЭМИССИИ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ КОНТИНУУМЕ ПРИ РАЗВИТИИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц, В.Д. Вдовиченко

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

Рассмотрены 12 вспышечных событий разных классов от C2.5 до X6.9 (март 2011 г. – октябрь 2014 г.), при развитии которых в ультрафиолетовом континууме (λ1700Å - температурный минимум, фотосфера) наблюдались участки с разогретой, яркой плазмой.

Для фотометрической обработки фильтрограмм с КА SDO разработана программа, с помощью которой получены временные изменения яркости вспышечной плазмы в континууме относительно центра диска (временное разрешение ~50 сек). Для каждой вспышки сопоставлялись профили изменения интенсивности X-ray (1-8Å, КА GOES), её производной по времени и относительной яркости вспышечной эмиссии непрерывного спектра. Максимум рентгеновского излучения вспышек практически совпадает с нулевым значением её производной по времени. Этот момент соответствует окончанию импульсной и началу главной фазы развития вспышек. Взрывная стадия вспышек, связанная с «испарением» хромосферы и быстрым подъемом горячей плазмы вверх, происходит в промежутке времени между максимумом импульсной фазы и началом главной фазы.

Ход относительной интенсивности яркой вспышечной плазмы на уровне фотосферы хорошо коррелирует с профилем производной потока рентгеновского излучения, а её значения являются хорошим индексом прямого вспышечного усиления – в том числе и излучения вспышечных потоков гамма – квантов (данные КА Fermi).

Выявлена вполне удовлетворительная корреляция значений максимальной интенсивности ярких областей фотосферы в λ1700Å с величиной усиления плотности электронов ΔNe- (КА WIND), возникающего при развитии вспышек.

Работа выполнена согласно плану работ по программе № 0073/ПЦФ-15-МОН.

ВЛИЯНИЕ ХРОМОСФЕРЫ НА МИЛЛИМЕТРОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Моргачев А.С., Цап Ю. Т., Смирнова В.В., Моторига Г.Г.

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, a.s.morgachev@mail.ru
НИРФИ ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Проведено исследование природы миллиметрового (93 и 140 ГГц) излучения солнечной вспышки рентгеновского класса M 6.4, зарегистрированной на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ им. Н.Э. Баумана 02 апреля 2017 года в активной области NOAA 12644, на основе данных наблюдений службы Солнца ВВС США RSTN (4.9, 8.8 и 15.4 ГГц), космических спутников SDO/AIA (ультрафиолет), а также GOES, RHESSI и Konus-Wind (рентген). Установлено, что спектр плотности потока миллиметрового излучения растет с увеличением частоты в течение всего всплеска. Подобие профилей миллиметрового и мягкого рентгеновского излучения свидетельствует в пользу его тепловой природы. Исходя из расчета дифференциальной меры эмиссии корональной плазмы по данным SDO/AIA, сделан вывод о ее пренебрежимо малом вкладе в миллиметровое излучение вспышки. Расчет вклада хромосферной вспышечной плазмы в рамках модели атмосферы Machado et.al. (1980) приводит к заниженным в несколько раз значениям потоков миллиметрового излучения по сравнению с наблюдаемыми. Обсуждаются физические следствия полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-12-10448 (Смирнова, Моторина). Часть работы выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-02-00856 А (Цап, Моргачев)

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРЯМОЙ ПОДГОНКИ ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА НОВОМ ПОКОЛЕНИИ РАДИОГЕЛИОРАФОВ

Моргачев А.С., Мельников В.Ф.

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, a.s.morgachev@mail.ru
НИРФИ ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Радиоизлучение солнечных вспышек в микроволновом диапазоне содержит много информации о параметрах генерирующих его ускоренных нетепловых электронов, магнитного поля и тепловой плазмы. В настоящий момент в работах [1,2] разработаны процедуры определения параметров солнечных вспышечных петель по наблюдаемому микроволновому излучению методом прямой подгонки. Однако адекватное восстановление параметров возможно только при наличии наблюдений с высоким пространственным разрешением и на нескольких частотах, количество которых прямо пропорционально количеству определяемых вспышечных параметров. В ближайшем будущем начнется новая эра радионаблюдений Солнца, когда полноценно заработают спектро-радиогелиографы «Сибирский Радиогелиограф» (Россия) и «MUSER» (Китай). Данные инструменты будут вести наблюдения солнечных вспышек как с высоким пространственным, так и с высоким спектральным разрешениями в широком диапазоне частот. Целью данной работы – дальнейшая разработка и совершенствование методов прямой подгонки автоматизированного определения параметров солнечных вспышечных петель по наблюдениям на новом поколении многочастотных солнечных радиогелиографов. Основными задачами являются 1) программно реализовать и протестировать различные автоматизированные алгоритмы определения параметров нетепловых электронов, магнитного поля и фоновой плазмы в солнечных вспышечных петлях с применением многопоточных вычислений по данным наблюдений радиоинтерферометров «Сибирский Радиогелиограф» и «MUSER»; 2) разработать и программно реализовать алгоритм восстановления параметров солнечных вспышечных петель методом прямой подгонки с использованием комбинирования наблюдений с пространственным и без пространственного разрешения. Обсуждаются полученные результаты.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-12-10448 (Моргачев). Часть работы выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-02-00856 А (Мельников)

1. Morgachev A.S., Kuznetsov S.A., Melnikov V.F.// Ge&Ae 2014. V. 54 №7. P. 933.
2. Fleishman G.D., Kuznetsov A.A.// ApJ 2010. V. 721. P. 1127.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ МЕРА ЭМИССИИ В ВИДЕ СУММЫ ГАММА И КАППА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ НА ОСНОВЕ RHESSI И SDO/AIA НАБЛЮДЕНИЙ

Г.Г. Моторина, E.P. Kontar

ГАО РАН, Пулковское ш. 65, С-Петербург, 196140 Россия, motorinagalina@gmail.com

В последние годы наблюдается растущий интерес к различным аналитическим распределениям, например, к каппа-распределению, близкому к максвелловскому распределению на низких энергиях и имеющему степенную зависимость на высоких энергиях (см, напр., Kasparova & Karlicky 2009; Oka et al. 2013, 2015). Для энергий гораздо больше k_BT данное распределение имеет вид степенного спектра, а для индекса $\kappa \to \infty$ приближается к распределению Максвелла. Также каппа-распределение поддерживается теоретическими представлениями об ускорении частиц в столкновительной плазме, хорошо описывает спектры солнечного ветра и корональных источников солнечных вспышек. В дополнение к каппа-распределению для описания дифференциальной меры эмиссии (DEM), энергетического распределения электронов и параметров вспышечной плазмы (меры эмиссии (EM), температуры (T)) было предложено гамма-распределение (Motorina & Kontar, 2015). Данное распределение имеет аналитическое представление DEM и содержит модифицированную функцию Бесселя второго рода (Cody, 1993) с тремя параметрами (EM, T_{max}, показатель спектра) и приближается к распределению Максвелла при стремлении показателя спектра к бесконечности.

В данной работе проведен детальный анализ временной эволюции DEM, энергетического распределения электронов и параметров вспышечной корональной плазмы в предположении двухкомпонентной плазмы в виде гамма и каппа-распределения на основе данных рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения, зарегистрированных на спутниках RHESSI и SDO/AIA. Обсуждаются следствия полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-12-10448 (Моторина).

Nonlinear Solar Mean ield ynamo and ccuracy of olf Number orecast

Nat an leeorin G Поршнев С.В., Сафиулин Н.Т r u Igor Rogac evskii G

Ben-Gurion University (BGU) of the Negev, Israel

We investigate the dynamics of solar activity using a nonlinear one-dimensional dynamo model and a phenomenological equation for the evolution of Wolf numbers. This system of equations is solved numerically. We take into account the algebraic and dynamic nonlinearities of the alpha effect. The dynamic nonlinearity is related to the evolution of a small-scale magnetic helicity, and it leads to a complicated behavior of solar activity. The evolution equation for the Wolf number is based on a mechanism of formation of magnetic spots as a result of the negative effective magnetic pressure instability (NEMPI). This phenomenon was predicted 25 years ago and has been investigated intensively in recent years through direct numerical simulations and mean-field simulations. The evolution equation for the Wolf number includes the production and decay of sunspots. Comparison between the results of numerical simulations and observational data of Wolf numbers shows a 70 % correlation over all intervals of observation (about 270 years). We apply this nonlinear dynamo model for a prediction of the solar activity. We use a relationship between simulated magnetic values and known sunspot time series, and estimation of system model parameters. This approach allows us to synthesize monthly mean Wolf numbers with acceptable accuracy. We also propose a modification to the prediction procedure based on neural net nonlinear auto-regression in order to increase accuracy of the forecast.

СРЕДНИЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ

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

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, nag@gaoran.ru

Ранее мы показали, что средние характеристики магнитных полей солнечных пятен изменяются с циклом активности [1-3]. Далее, мы установили, что распределение площадей солнечных пятен показывает два выраженных логнормальных распределения, что было интерпретировано как две разные популяции групп пятен: крупные LLG и мелкие SSG [4-6], и именно изменение их относительного вклада дает изменение средних величин параметров солнечных пятен с циклом. Двумерная функция плотности вероятности в осях log площади – напряженность магнитного поля пятна также показывает два выраженных распределения [7,8]. Крупные группы пятен имеют продолжительность жизни > 5 дней, мелкие ≤ 5 дней [9]. Дифференциальное вращение у LLG и SSG различается. Весь комплекс данных позволяет высказать гипотезу, что двум разным популяциям пятен соответствуют две области генерации на Солнце: тахоклин и лептоклин.

1. Pevtsov A.A., Nagovitsyn Y.A., Tlatov A.G., and Rybak A.L. //The Astrophysical Journal Letters, 742:L36 , 2011.
2. Pevtsov Alexei A., Bertello Luca, Tlatov Andrey G., Kilcik Ali, Nagovitsyn Yury A., Cliver Edward W. // Solar Physics, Volume 289, Issue 2, pp.593-602, 2014.
3. Georgieva, K.; Kirov, B.; Nagovitsyn, Yu. A. // Geomagnetism and Aeronomy, Volume 53, Issue 7, pp.852-856, 2013.
4. Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; Livingston, William C. // The Astrophysical Journal Letters, Volume 758: L20, 5 pp. (2012).
5. Tlatov, Andrey G.; Pevtsov, Alexei A. // Solar Physics, Volume 289, Issue 4, pp.1143-1152, 2014
6. Munoz-Jaramillo, Andres; Senkpeil, Ryan R.; Windmueller, John C.; Amouzou, Ernest C.; Longcope, Dana W.; Tlatov, Andrey G.; Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; et al. // The Astrophysical Journal, Volume 800, Issue 1, article id. 48, 19 pp. (2015).
7. Наговицын Ю. А., Певцов А. А., Осипова А. А., Тлатов А. Г., Милецкий Е. В., Наговицына Е. Ю. // Письма в Астрон. журн. том 42, №10, с. 773–782, 2016.
8. Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; Osipova, Aleksandra A. // Astron. Nachrichten, vol. 338, issue 1, pp. 26-34, 2017.
9. Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; // The Astrophysical Journal, Volume 833, Issue 1, article id. 94, 6 pp. (2016).

НЕЛИНЕЙНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ КРУТИЛЬНЫХ АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН В МАГНИТНЫХ ПОТОКОВЫХ ТРУБКАХ КОРОНЫ СОЛНЦА

Накаряков В.М., Шестов С.В.

СПбФ САО РАН, г. Санкт Петербург, Россия, V.Nakariakov@warwick.ac.uk

University of Warwick, Coventry, UK

В короне Солнца альвеновские волны, как правило, представлены в форме крутильных возмущений магнитных потоковых трубок, что обусловлено тем, что их перпендикулярный к магнитному полю пространственный масштаб значительно меньше их длины волны вдоль поля. Крутильные альвеновские волны, так же как и линейно-поляризованные плоские альвеновские волны, индуцируют возмущения сжатия/разряжения плазмы за счет пондеромоторной силы. Локальные возмущения плотности плазмы и магнитного поля, вызванные пондеромоторной силой, и связанные с этим модификации локальной величины альвеновской скорости, приводят к самовоздействию альвеновских волн, сопровождаемому нелинейным каскадом и ускоренной диссипацией. В случае крутильных волн, эффекты действия пондеромоторной силы оказываются значительно более богатыми по сравнению со случаем плоской волны, поскольку крутильная волна является принципиально наклонной. В силу этого, пондеромоторная сила индуцирует не только параллельные, но и радиальные течения плазмы. Кроме того, радиальная неоднородность амплитуды крутильной волны приводит к зависимости фазовой скорости от радиальной координаты и связанному с этим эффекту «нелинейного перемешивания фаз». Таким образом, установлено, что в вытянутых вдоль поля неоднородностях плазмы, таких как петли активных областей и перьевые структуры в корональных дырах, возмущения сжатия/разряжения плазмы, вызванные крутильными волнами, подразделяются на три типа: параллельные течения с альвеновской (эффект «альвеновского ветра») и трубочной скоростями, а также индуцированные сосисочные волны, распространяющиеся со скоростью, определяемой альвеновской скоростью во внешней среде (как правило, более высокой, чем внутри неоднородности плазмы). Показано, что альвеновский ветер может приводить к ускорению плазмы вдоль поля и коллимации магнитных потоковых трубок за счет эффекта Бернулли. Кроме того, нелинейно индуцированные параллельные течения плазмы являются существенно неоднородными по радиальной координате, что может объяснить появление структур типа «спагетти» в солнечном ветре.

НАБЛЮДЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ВСПЛЕСКОВ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА С ПОМОЩЬЮ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Гречнев В.В., Кочанов А.А., Уралов А.М., Кашапова Л.К., Иванов Е.Ф.

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, svlesovoi@gmail.com

Сибирский радиогелиограф (СРГ) - солнечный радиотелескоп, работающий в диапазоне частот 4-8 ГГц и использующий Фурье-синтез для построения изображений Солнца. СРГ создается на базе Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ). Регулярные наблюдения первой очереди СРГ начались в 2016 г. В настоящий момент это 48-антенная эквидистантная Т-образная решетка, занимающая центральные антенные посты ССРТ. Мгновенная полоса частот 10 МГц, время накопления 0.5 с, время обзора всей полосы частот определяется количеством рабочих частот, в свою очередь, зависящим от режима наблюдений. в обычном режиме используется 32 частотных канала, равномерно распределенных в диапазоне 4-8 ГГц. Пространственное разрешение СРГ - около 1 угловой минуты, чувствительность по плотности потока - около 100 Янских, что позволяет исследовать микроволновые источники слабой солнечной активности.

Возможности СРГ демонстрируют наблюдения микроволновых отрицательных всплесков - уменьшений потока с последующим восстановлением его до предвсплескового уровня обычно регистрируемых радиометрами. В периоды высокой солнечной активности регистрировалось не более полутора десятков таких событий в год. В настоящей работе, с использованием данных СРГ, радиополяриметров Нобеяма (NoRP) и орбитальной обсерватории STEREO показано, что беспрецедентная серия из трех негативных отрицательных всплесков 9 августа 2016 г. была вызвана эруптивными событиями - серджами, отчетливо видными в канале 304 ангстрема (STEREO). Холодная плазма повторяющихся серджей экранировала, расположенный вблизи серджей, микроволновый источник над пятном, приводя к уменьшению его наблюдаемой яркостной температуры в два раза. Соответствующее снижение микроволнового потока излучения достигало 5 с.е.п. Во время экранирования уменьшалась и степень поляризации микроволнового источника с 10% почти до 0%. Причиной повторявшихся серджей было шировое движение на фотосфере в области размером около 30 угловых секунд, вызванное вращением пятна. Отклик в мягком рентгене на эту микроактивность не превышал уровня B1.5. Таким образом, даже при низком пространственном разрешении первой очереди СРГ с неполной антенной решеткой его данные позволяют обнаруживать события малых пространственных и энергетических масштабов, а многочастотные наблюдения расширяют возможности диагностики плазмы в микроэрупциях.

КАТАЛОГ ЖЁСТКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК НА СОЛНЦЕ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ С ОКОЛОМАРСИАНСКОЙ ОРБИТЫ MARS ODYSSEY/HEND В 2001-2016 ГГ.

Лившиц М.А., Зимовец И.В., Головин Д.В., Низамов Б.А., Выборнов В.И., Митрофанов И.Г., Козырев А.С., Литвак М.Л., Санин А.Б., Третьяков В.И..

ГАИШ МГУ, nizamov@physics.msu.ru

Изучение нестационарных процессов на Солнце представляет большой интерес, и в последние годы многоволновые наблюдения излучения и регистрация магнитных полей проводятся как наземными телескопами, так и несколькими специализированными космическими аппаратами на околоземных орбитах. Однако получение новой надёжной информации об их жёстком рентгеновском излучении остаётся востребованным, в частности, если соответствующие космические аппараты обеспечивают дополнительную информацию, например, при наблюдениях вспышек с иных направлений, отличающихся от направления Солнце-Земля. В статье представлен каталог мощных солнечных вспышек, зарегистрированных прибором High Energy Neutron Detector (HEND), разработанным в ИКИ РАН. Прибор HEND установлен на космическом аппарате 2001 Mars Odyssey и успешно работал при полете к Марсу и в настоящее время функционирует на околомарсианской орбите. Помимо нейтронов, аппаратура HEND чувствительна к жёсткому рентгеновскому (до 300 кэВ) и гамма-излучению (выше 300 кэВ). Это излучение регистрируется двумя сцинтилляторами: внешний сцинтиллятор регистрирует фотоны с энергиями выше 40 кэВ, внутренний — свыше 200 кэВ. При создании каталога проведена новая процедура калибровки данных. Методы калибровки внешнего детектора кратко обсуждаются в настоящей работе. Для 60 наиболее мощных солнечных вспышек на видимой с Земли и обратной сторонах Солнца приведены временные профили излучения, суммированные по всем каналам рентгеновского, а в некоторых случаях и гамма-диапазонов, спектры и характеристики их степенной аппроксимации. Проведён анализ мощной вспышки 28 октября 2003 г..

Крупномасштабные альфвеновские торнадо

Онищенко О. Г., Похотелов О. А., Ерохин Н. Н.

Институт физики Земли РАН, Москва

Институт космических исследований РАН, Москва

onish@ifz.ru

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

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО ДАННЫМ RHESSI, KONUS-WIND

Овчинникова Е.П., Чариков Ю.Е., Шабалин А.Н.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, elfimovaevgeniya@gmail.com

Для решения задачи восстановления энергетического спектра ускоренных электронов широко используется метод прямого фитирования, основанный на аппроксимации регистрируемого спектра жесткого рентгеновского излучения заданной, как правило, степенной зависимостью или комбинацией степенных функций. Невозможность обнаружения особенностей в спектре электронов (типа провалов и инверсий) является одним из недостатков данного метода. Избежать этой проблемы возможно применяя общий метод решения интегрального уравнения Вольтера для интенсивности рентгеновского излучения без задания конкретной модели излучения. Ядро интегрального уравнения определяется сечением тормозного процесса излучения, которое достаточно сложным образом зависит от энергии электрона и рентгеновского кванта. Поэтому аналитическое решение данного интегрального уравнения невозможно, приближенное решение может быть найдено при помощи метода регуляризации Тихонова. В данной работе был проведен анализ метода регуляризации Тихонова для данных с различным энергетическим разрешением и погрешностью измерений и были сформулированы условия применимости этого метода. Рассматривались как модельно полученные спектры жесткого рентгеновского излучения, так и реальные спектры солнечных событий, зарегистрированных спектрометрами RHESSI, Konus-Wind.

Конкретно проведено сравнение метода прямого фитирования и метода регуляризации Тихонова на примере солнечной вспышки 13 мая 2013 года 15:52 UT(X2.8). По данным спектрометра RHESSI можно выделить и проанализировать спектры из трех локальных источников жесткого рентгеновского излучения, один в вершине и два в основаниях петли. Спектры жесткого рентгеновского излучения и ускоренных электронов из одного из оснований и вершины петли идентичны, спектр из другого основания (менее яркого) более мягкий. На стадии спада потока излучения спектры смягчаются, причем это происходит быстрее в вершине, чем в основаниях. Подобную динамику энергетических спектров можно объяснить в модели анизотропного источника ускоренных электронов в вершине магнитной петли с концентрацией плазмы $> 10^{10}$ см$^{-3}$ при наличии турбулентности.

МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСПЫШЕЧНОЙ СИТУАЦИИ НАД РЕАЛЬНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТЬЮ И ВСПЫШЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Подгорный А.И.[1], Подгорный И.М.[2]

[1]*ФИАН, г. Москва, Россия, podgorny@lebedev.ru*
[2]*ИНАСАН, г. Москва, Россия, podgorny@inasan.ru*

Прямое наблюдение источника вспышечного теплового рентгеновского излучения в кроне на лимбе солнечного диска, а также другие многочисленные результаты наблюдений (к ним относятся отсутствие сколько-нибудь значительных изменений магнитного поля на поверхности Солнца и наблюдения ультрафиолетового излучения в линиях высокоионизованного железа), не оставляют сомнений в том, что первичное освобождение энергии солнечной вспышки происходит в короне на высотах 15000 – 30000 км. Появление вспышек над активными областями с большим магнитным полем практически однозначно свидетельствует о выделении магнитной энергии во время вспышек. Возникает необходимость выяснить физический механизм накопления магнитной энергии в солнечной короне в такой форме, чтобы она смогла быстро (за несколько десятков минут) освободиться. Таким механизмом является накопление магнитной энергии в поле токового слоя, образовавшегося в окрестности особой линии магнитного поля Х-типа, под действием возмущений, распространяющихся от солнечной поверхности. Переход токового слоя в неустойчивое состояние в ходе квазистационарной эволюции приводит к вспышечному освобождению накопленной магнитной энергии. Альтернативные механизмы, наиболее популярный из которых связан с накоплением магнитной энергии в поле магнитного жгута, либо предполагают с самого начала конфигурацию с накопленной энергией, либо требует задания неестественно сложного движения плазмы на фотосфере.

Предложена электродинамическая модель солнечной вспышки, основанная на токовом слое, которая объясняет наблюдательные проявления вспышки. Поскольку конфигурацию магнитного поля в короне невозможно определить из наблюдений, для изучения механизма солнечной вспышки проводилось численное МГД моделирование в короне в предвспышечном состоянии над реальной активной областью. При постановке задачи никаких предположений о механизме солнечной вспышки не делалось. Все условия брались из наблюдений. Измеряемое на солнечной поверхности магнитное поле использовалось в качестве граничного условия. Для решения этой задачи разработана абсолютно неявная конечно-разностная схема, консервативная относительно магнитного потока, которая решалась методом итераций. Разработана графическая система поиска положений токового слоя, без которой для достаточно сложных конфигураций поля бывает невозможно определить положение вспышки, даже если магнитное поле получено путем МГД моделирования. Для активной области NOAA 10365 показано совпадение найденного из расчета положения токового слоя с положением источника теплового рентгеновского излучения для вспышки 27 мая 2003 года в 02:53. Исследование конфигурации магнитного поля вблизи токовых слоев для вспышек над активной областью NOAA 10365 показало, что физический смысл процессов накопления и быстрого освобождения энергии вспышки наиболее удобно представляют линии магнитного поля в плоскости перпендикулярной особой линии.

Численное решение МГД уравнений удалось провести только в сильно (в 10^4 раз) сокращенном масштабе времени. Неестественно быстрое изменение магнитного поля на фотосферной границе вызывает медленно нарастающую численную неустойчивость вблизи фотосферной границы, что приводит к определенным искажениям. В настоящее время проводится распараллеливание схемы для расчетов на суперкомпьютере в реальном масштабе времени.

УТОЧНЕНИЕ СРЕДНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН.

Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д., Лившиц И.М.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия

obridko@izmiran.ru, shelting@izmiran.ru, ilivsh@gmail.com,

Изначально и на протяжении многих лет пятна определялись исходя из фотометрических свойств как правило, зрительным путем по изображению, в последнее время по снимкам и цифровым регистрациям. С другой стороны нет сомнения, что основным явлением, определяющим самое существование солнечного пятна является магнитное поле. Однако до сих пор не дано определение магнитной границы пятна. В настоящей работе мы использовали наблюдения на SDO/HMI для решения этой задачи. Показано, что величина радиальной составляющей магнитного поля на внешней границе полутени не зависит от площади пятна и максимального значения поля в тени пятна. Это значение составляет 550 Mx/cm^2. Средние значения магнитного поля в пятнах слегка возрастают вплоть величин площади 500-1000 мдп и составляют ~900-1300 Mx/cm^2. Полный магнитный поток слабо зависит о напряженности магнитного поля и полностью опреляется запятнненностью (то есть числом или суммарной площадью пятен). При этом свзязь полного поток с площадью носит нелинейный характер. Дано явное аналитическое выражение для этой связи. Собственно пятенный поток составляет малую часть от полного потока, достикая даже ав максимуме только 20% от полной величины.

КОЛЕБАНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР В КОРОНАЛЬНЫХ ДЫРАХ

Просовецкий Д В

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

По наблюдения в крайнем ультрафиолете в структурах спокойного Солнца наблюдаются, в основном, колебания с периодами 5-25 минут. В атмосфере корональных дыр наблюдаются колебания в широком диапазоне частот (например, [1]). До сих пор не ясно, какие структуры в корональных дырах ответственны за эти колебания, также недостаточно понятна пространственная структура таких колебаний, высотная структура, их источники и природа. Причиной этому служит то, что в темных областях с низким контрастом колеблющиеся структуры сложно выявить на изображениях, в отличие от активных областей и ярких особенностей на Солнце.

Для выявления колебаний в работе был применен метод бегущих разностей для изображений в крайнем ультрафиолете SDO/AIA, широко используемый в физике Солнца. На разностных изображениях внутри и на границах корональных дыр были найдены 1) нитеобразные колеблющиеся структуры длиной от тысяч до нескольких десятков тысяч километров и с амплитудой колебаний в картинной плоскости от 500 до 1000 километров; 2) концентрические кольцеобразные колеблющиеся структуры. На исходных изображениях наиболее яркие особенности совпали с видимым расположением слабых корональных петель. Колеблющиеся структуры в корональных дырах были видны на разностных изображениях длин волн 94, 131, 171, 183, 131 и 211 Å, но наиболее отчетливо проявлялись на 171 Å. Максимум дифференциальной меры эмиссии (DEM) был найден при температуре ~1 МК. По DEM оценена концентрация плазмы в колеблющихся структурах, которая составила ~10^9 $см^{-3}$.

Используя длительный набор разностных изображений был произведен вейвлет-анализ колебаний, который дал период колебаний от 24 до 40 секунд. Для полученных геометрических размеров и концентрации плазмы период колебаний $\tau = \frac{C}{j}(\frac{LN^{1/2}}{B})$ при N=10^9 $см^{-3}$, L=20000 км, B=10 Гс, j=1 составляет τ=41 с, что близко к измеренному периоду колебаний.

Для выяснения высотной структуры колебаний были использованы данные Сибирского радиогелиографа [2] 4-8 ГГц. Исследовались колебания яркостной температуры излучения внутри корональной дыры. На всех частотах наблюдений были зафиксированы колебания с периодами 30-40 секунд. В магнитном поле корональных дыр с открытой конфигурацией высотные уровни излучения зависят от частоты. Низкие частоты излучения соответствуют большей высоте над фотосферой. Сравнение изображений на частотах наблюдений показало, что колебания последовательно появляются на радиоизображениях от большей частоты к более низкой, что позволяет предположить распространение колебаний с нижних слоев солнечной атмосферы к верхним. В предположении модели солнечной атмосферы, описанной в [3], скорость распространения колебаний составила ~180 км/с.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 034420160009 при частичной поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 7.

1. Hegde M., Hiremath K.M., Doddamani Vijayakumar H. // Adv. in Sp. Res. 2014, V. **4**, 2, P. 272.
2. Lesovoi S.V., Altyntsev A.T., Ivanov E.F., Gubin A.V. // Res. in Astronomy and Astroph. 2014, V. **14**, 7, P. 864.
3. Gabriel A.H. Phil.Trans.R.Soc. 1976, **2 1**, 399.

ЭКЗОГЕННОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ

А.Ю.Ретеюм

МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, aretejum@yandex.ru

С тех пор, как С.Г.Швабе опубликовал материалы своих наблюдений Солнца в 1843 г., происхождение цикличности солнечных пятен служило темой массы работ. Наибольшее число сторонников в настоящее время имеет гелиофизическая гипотеза. Вообще автономные колебания в любой системе ставят перед наукой методологически сложную проблему, для решения которой требуется устранить эффекты возмущений внешней средой. При изучении нашей звезды надежное выделение эндогенной составляющей может обеспечить только всесторонний анализ связей с ее планетным окружением, что до сих пор не было сделано. Требуется найти ответы на целый ряд ключевых вопросов:

1) что служит источником периодических и непериодических колебаний состояния звезды,

2) почему существует именно 11-летняя цикличность,

3) чем объясняется быстрый подъем и медленный спад солнечной активности в рамках одного цикла,

4) откуда берут начало отклонения в длительности, интенсивности выделения энергии и других характеристиках конкретных циклов,

5) как связаны между собой разные циклы.

Для решающей проверки эндогенной гипотезы циклов видимо, нельзя провести соответствующий критический эксперимент из-за неустранимости возможного влияния планет, в то время как альтернатива поддается тестированию в разных вариантах. Имеются в виду конфигурации планет при аномалиях солнечной активности или солнечная активность при различных положениях определенных планет.

Вслед за И.Р.Вольфом и Р.К.Кэррингтоном автор рассматривает движения Юпитера как главный источник вариаций солнечной активности. Это предположение поддается объективной проверке, принимая во внимание, что планета имеет прямое вращение и ее орбита наклонена под углом более 1,5°. Если оно соответствует действительности, то должны быть обнаружены два ранее неизвестных эффекта: 1) относительное уменьшение площади пятен на Северном полушарии Солнца при верхнем положении Юпитера, и на Южном полушарии – при нижнем положении этой планеты; 2) относительный рост площади пятен на Северном полушарии во время прохождения Юпитера ниже плоскости экватора Солнца, а на Южном полушарии – в дни его перемещения по верхней части орбиты. Обработка суточных данных Гринвичской обсерватории в 1875-2017 гг. показывает полное соответствие реальности предсказанной динамики конвективной зоны Солнца.

Сидерический период Юпитера измеряется 11,86 г. Для синхронизации с его движением Марс должен сделать 6 оборотов вокруг Солнца в течение 11,28 лет, Земля – 12 оборотов за 12 лет, Венера – 18 оборотов за 11,07 г., а Меркурий – 46 оборотов за 11,04 г. Медиана этих наименьших чисел периодов, кратных периоду Юпитера, составляет 11,17 г., что в точности равно средней длительности 23 циклов за 1755-2009 гг.

По материалам наблюдений за солнечными пятнами в период 1700-2017 гг. и расчетам эфемерид четко выделяется 179-летний солнечный цикл. Зная, что планеты взаимодействуют между собой, можно раскрыть его генезис. Это синхронизация, итогом которой служит движение Солнца относительно барицентра Солнечной системы, которое замыкает круг за время, близкое к медиане наименьших чисел периодов внешних планет, кратных числу периодов Юпитера.

Теория экзогенного происхождения солнечных циклов, подкрепленная результатами нескольких десятков критических экспериментов с разными планетами и их группами, позволяет ответить на актуальные вопросы астрономии.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВРАЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО ДАННЫМ О МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Бадалян О. Г., Обридко В. Н.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия

badalyan@izmiran.ru, obridko@izmiran.ru

Рассматривается дифференциальное вращение солнечной короны за 1976-2004 гг в зависимости от расстояния от центра Солнца в сферическом слое от основания короны до поверхности источника. В качестве трассера используется магнитное поле в короне. Поле в короне рассчитывалось по стандартной методике от экватора до широты 75º с шагом 5º на гелиоцентрических расстояниях от основания короны до 2.45 $R_\odot$ с шагом 0.1 $R_\odot$. На каждый день вычислялись три сферические компоненты, затем по ним находилась полная напряженность поля.

Для определения периодов вращения короны использовался метод периодограмм. Периоды вращения короны были рассчитаны на всех расстояниях и для всех широт в рассматриваемом интервале. Совокупность результатов этих расчетов позволяет изучать распределение периодов вращения в короне в зависимости от расстояния, времени и фазы цикла активности.

Изменение дифференциального вращения короны с расстоянием за весь временной интервал 1976-2004 гг обнаруживает следующие особенности: а) градиент дифференциального вращения короны уменьшается с расстоянием от центра Солнца; б) синодический период вращения короны на экваторе постепенно увеличивается с увеличением расстояния; в) даже вблизи поверхности источника вращение короны остается дифференциальным; г) на близких к Солнцу расстояниях на высоких широтах замечается некоторое уменьшение периода вращения.

Наибольшая скорость вращения короны (наименьший период) наблюдается в минимуме цикла на малых расстояниях. Наименьшая скорость наблюдается в середине ветви роста цикла активности на больших расстояниях. При этом в минимуме цикла вращение является наиболее дифференциальным, особенно на малых расстояниях от центра Солнца. С увеличением расстояния дифференциальный градиент уменьшается на всех фазах цикла. Результаты, полученные по магнитному полю, удовлетворительно согласуются с результатами, полученными ранее при использовании данных о яркости зеленой корональной линии 530.3 nm Fe XIV. Поскольку вращение магнитного поля на соответствующих высотах в короне, вероятно, определяется условиями в области генерации поля, появляется возможность использовать этот метод для диагностики дифференциального вращения в подфотосферных слоях.

ФАЗОВОЕ СМЕШЕНИЕ АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН В ПЛОСКИХ И ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫХ РАВНОВЕСНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

Рудерман М.С., Петрухин Н.С., Шургалина, К.Г.

Шеффилдский университет, г. Шеффилд, Англия;Институт Космических Исследований, г. Москва, Россия, m.s.ruderman@sheffield.ac.uk

Исследуется затухание альвеновских волн за счёт фазового смешения в равновесных плазменных конфигурациях с экспоненциально расходящимися магнитными линиями. Рассматриваются плоские и осесимметричные конфигурации. Вводится ортогональная криволинейная система координат в которой одним из семейств координатных линий являются магнитные линии. В этой системе координат уравнения описывающие альвеновские волны в отсутствии диссипации сводятся к одномерному волновому уравнению описывающему эволюцию волны вдоль отдельной магнитной линии. При этом фазовая скорость изменяется как вдоль магнитных линий, так и в поперечном направлении. При учёте диссипации в правой части волнового уравнения появляются члены содержащие производные в поперечном направлении. Далее с помощью замены переменных уравнение описывающее эволюцию альвеноских волн сводится к уравнению, которое в отсутствии диссипации является уравнением Клейна-Гордона. В общем случае это уравнение содержит один переменных коэффициент. В том случае, когда этот коэффициент не меняется вдоль магнитных линий равновесная конфигурация является безотражательной. Это условие определяет зависимость плотности от координаты вдоль магнитных линий. После этого убывание потока энергии альвеновских волн с высотой находится аналитически в предположении что характерная длина затухания существенно превышает длину волны. Показано, что диссипация энергии альвеновских волн в конфигурациях с экспоненциально расходящимися магнитными линиями происходит намного быстрее чем в конфигурациях с прямыми магнитными линиями. Подчеркнём, что длина волны может быть сравнима с характерной длиной неоднородности.

В случае плоских конфигураций предполагалось, что плотность не меняется вдоль магнитных линий. Осесимметричные равновесные конфигурации с плотностью, не меняющейся вдоль магнитных линий не являются безотражательными. Получено однопараметрическое семейство профилей плотности соответствующих безотражательным конфигурациям. Эти профили достаточно хорошо аппроксимируют профили плотности экспоненциально убывающей с высотой. Показано, что чем быстрее убывает плотность с высотой, тем меньше эффективность затухания альвеновских волн. Этот результат позволяет объяснить повышение эффективности затухания волн за счёт расходимости магнитных линий. Расходимость магнитных линий приводит к быстрому уменьшению величины магнитного поля, в результате чего уменьшается альвеновская скорость. Это приводит к уменьшению скорости распространения волны, так что увеличивается время в течение которого волновая энергия диссипирует до достижения волной определённой фиксированной высоты в атмосфере. С другой стороны, уменьшение плотности с высотой вызывает увеличение альвеновской скорости и, таким образом, замедляет диссипацию волновой энергии.

Рассматривается приложение теоретических результатов к диссипации альвеновских волн в корональных дырах. Получены оценки показывающие, что, несмотря на значительное ускорение диссипации альвеновских волн за счёт расхождения магнитных линий, существенная часть энергии волн с периодами от 30 секунд до 1 минуты диссипирует в нижней короне, т.е. до высоты порядка 300 Мм, только в том случае если вязкость увеличена на 6 – 7 порядков величины и/или проводимость плазмы уменьшена на 6 – 7 порядков величины по сравнению со значениями полученными на основе классической теории столкновительной плазмы. Подобное увеличение диссипативных коэффициентов возможно за счёт плазменной турбулентности.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В МИРОВОМ ЦЕНТРЕ ДАННЫХ ПО СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКЕ

Сергеева Н.А.[1], Забаринская Л.П.[1], Ишков В.Н.[2], Крылова Т.А.[1]

[1] ГЦ РАН,г. Москва, Россия, nata@wdcb.ru, [2]ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

Современные научные программы основываются на комплексном анализе больших объемов данных из разных областей науки и на применении современных компьютерных методов обработки, анализа и интерпретации данных.

Свободный доступ к большим массивам данных, к длинным рядам наблюдений, к уникальной и представительной коллекции отечественных и зарубежных данных по наукам солнечно-земной и космической физике обеспечивает Мировой центр данных по солнечно-земной физике в Москве (МЦД по СЗФ). Центр был создан в 1956 г. для сбора, долговременного хранения и распространения данных, полученных в результате реализации наблюдательных программ Международного геофизического года (1957-1958 гг.) по всему комплексу геофизических дисциплин. До настоящего времени Центр выполняет возложенные на него функции. С 2012 года МЦД по СЗФ является постоянным членом Мировой системы данных (МСД) Международного совета по науке (ICSU-WDS).

МЦД обладает архивом исторических и современных результатов глобальных наблюдений связанных с такими разделами солнечно-земной физики, как: геомагнитные вариации, ионосферные явления, солнечная активность и межпланетная среда, космические лучи. На веб-сайте МЦД по СЗФ (http://www.wdcb.ru/stp/index.ru.html) представлены сведения о Центре, каталоги наличия данных, информация для пользователей и реализован доступ к данным по всем дисциплинам в режиме on-line. Веб-сайт является частью глобальной распределенной системы информационных ресурсов по геофизике. Система «линков» предоставляет возможность виртуального доступа к данным, размещенным на сайтах других организаций и исследователей. В Центре проводится работа по переводу старых данных из аналоговой формы в электронную.

Раздел «Солнечная активность и межпланетная среда» включает:

Сведения о количестве солнечных пятен (числа Вольфа) – ежедневные, среднемесячные и среднегодовые значения.

Данные о потоке радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см (2800 МГц) – ежедневные, месячные и годовые значения, включающие наблюденные значения, измеренные солнечным радиотелескопом; значения, исправленные на изменение расстояния Земля – Солнце и приведенные к среднему расстоянию, и абсолютные значения.

Каталоги солнечных вспышечных событий XXIII и XXIV циклов солнечной активности с рентгеновским балом M1-X > 17.5.

Данные о секторной структуре межпланетного магнитного поля.

База данных из 6 каталогов солнечных протонных событий включает систематизированные данные о событиях за период 1970-2008 гг. с генерацией протонов, для которых максимальный поток протонов с энергией Ep > 10 МэВ превышал значение $Jp \geq 1$ $см^{-2} \cdot с^{-1} \cdot ср^{-1}$ (pfu). БД содержит сведения об источниках частиц и о связанном с данным событием электромагнитном излучении во всём доступном наблюдениям диапазоне. Для каждого события приведен интегральный энергетический спектр зарегистрированных протонов в максимуме временного профиля интенсивности.

В МЦД выполняется проект по созданию современной системы регистрации и публикации геофизических данных. В ходе этого проекта базе данных солнечных протонных событий и каждому каталогу в отдельности был присвоен цифровой идентификатор объекта DOI, зарегистрированный в системе CrossRef, предоставляющий возможность цитирования этих данных в научных публикациях.

УЧЕТ ЧАСТИЧНОЙ ИОНИЗАЦИИ ПЛАЗМЫ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия, taoastronomer@gmail.com

В работе проведена оценка влияния частичной ионизации плазмы в основаниях магнитной петли для события 10 ноября 2002г на функцию распределения электронов, энергетический спектр, временные спектры задержек, поляризацию и интенсивность жесткого рентгеновского излучения. Для расчетов использовалось распределение степени ионизации в хромосфере при потоке энергии электронов 10^{10} эрг/см^{2}с [1]. С этой целью первоначально было решено кинетическое уравнение для ускоренных электронов. Энергетическое, угловое и пространственное распределения электронов были подобраны таким образом, чтобы рассчитанное рентгеновское излучение для данной вспышки совпадало с наблюдаемым на изображающем спектрометре RHESSI. В результате численного анализа было установлено, что уменьшение степени ионизации плазмы в хромосфере приводит к усилению излучения в основаниях на 45% в диапазоне энергий 29-58кэВ, и на 22% в диапазоне энергий 75-134кэВ, что непосредственно влияет на оценку общей энергетики ускоренных электронов в источнике. Усиление интенсивности излучения оказалось меньше ожидаемого, что объясняется большим градиентом магнитного поля вблизи оснований магнитной петли и, как следствие, усиленным захватом электронов в корональной области. Прочие характеристики рентгеновского излучения (спектр, задержки, поляризация) не претерпели существенных изменений. Также приведены результаты расчетов для различных моделей источников ускоренных электронов и зависимостей магнитного поля и фоновой концентрации плазмы от высоты с целью оценить влияние понижения степени ионизации плазмы в хромосфере в широком наборе возможных условий, реализуемых во вспышечных событиях.

[1] J. C. Brown // Sol. Phys. 1973. vol. 31. no. 1. pp. 143–169.

УПРОЩЕННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ, СОЛНЦА, ГАЛАКТИКИ и ВСЕЛЕННОЙ

В.И.Шабуневич, А.В.Шабуневич

ВНИКТИ, , г. Коломна МО, Россия, Viktor-shab@yandex.ru
ИП, г.Жуковский МО

В работе представлены результаты расчетов по модальному и гармоническому анализам разномасштабных конечно-элементных моделей Земли, Солнца, Галактики и Вселенной. На этих моделях ярко проявляется действие масштабного эффекта, который заключается в том, что изменение масштаба исследуемого объекта влечет за собой обратно-пропорциональное изменение его собственных частот. И, следовательно, при гармоническом нагружении резонансы в определенном диапазоне собственных частот в большом объекте наступают значительно раньше, чем в малом объекте, что объясняет физику более раннего разрушения больших объектов. Модели также позволяют анализировать динамику колебаний исследуемых объектов. При этом подтверждается единство низкочастотных и высокочастотных процессов и т.д. Кроме того, отмечается также факт обратно пропорционального увеличения скорости протекания всех процессов и явлений при уменьшении масштаба моделей. Это также может быть объяснением физики искривления пространства.

Рассматриваемые упрощенные модели Земли и Солнца представляют собой многослойные сферические оболочки различных радиусов с ядрами и мантией внутри, модели Галактики и Вселенной – более сложные по форме и содержанию подобные системы. Основное закрепление моделей осуществляется, например, в центрах ядер. Использование принципов масштабного моделирования, думаем, в некоторых важных случаях позволит сделать физические модели исследуемых объектов, чтобы на них измерять собственные частоты и резонансные явления.

Известно, например, появление на Солнце периодически расположенных арочных протуберанцев. Похожие картинки с «протуберанцами» получены для некоторых форм собственных колебаний конечно-элементной модели Солнца. Приведены также расчетные оценки периодов резонансных колебаний Земли, Солнца, нашей Галактики и Вселенной, сделанные по их подобным моделям с учетом масштабного эффекта. Показано, что периоды этих колебаний для Галактики и Вселенной составляют многие миллиарды лет. Резонансы, по мнению авторов доклада, могут объяснять физику происхождения огромной темной энергии и другие проблемные вопросы современной науки. Так расширяется или просто колеблется и резонирует наша Галактика и Вселенная?

1. Шабуневич В.И. Динамический масштабный эффект. Примеры применения. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, - 56с.
2. Шабуневич В.И. Масштабный эффект в динамике различных объектов. Примеры применения. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, - 262с.
3. Шабуневич В.И. Возможные модели единой теории физики. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, - 104с.

ДИАГНОСТИКА ЭФФЕКТА КВАЗИПОПЕРЕЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

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

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, alexandershain.5@gmail.com

В некоторых солнечных вспышках на частоте 17 ГГц и выше наблюдается обыкновенная мода гиросинхротронного радиоизлучения [1,2]. Для объяснения этого явления сейчас привлекаются три основные гипотезы: анизотропия распределения ускоренных электронов, генерация позитронов во время вспышки или эффект квазипоперечного распространения (КПР).

Целью нашего исследования является создание методики идентификации эффекта КПР излучения от вспышечных петель и поиск событий, в которых наблюдение обыкновенной моды объясняется эффектом КПР. Изучаются события в центральной части солнечного диска, в которых наблюдается обыкновенная мода [1]. Анализ вспышек производится с помощью данных Радиогелиографа Нобеяма, а также данных аппаратов SDO/HMI, AIA, RHESSI. Выводы о наличии или отсутствии эффекта КПР делаются на основе моделирования коронального магнитного поля активной области Солнца в программе GX Simulator как в линейном, так и нелинейном бессиловом приближении. Данное исследование является продолжением нашей работы [3]. Новым в методике является то, что при моделировании пространственного распределения поля добавлен учёт данных о векторе фотосферного магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол_нр 17-32-50199.

1. Morgachev A.S., Melnikov V.F., Kuznetsov S.A. // Ge&Ae, 2016, V. 56, 1045
2. Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I, Pal`shin V.D., Fleishman G.D.// Solar Physics, 2017, vol. 292, issue. 9, article id. #137, 13 p.
3. Shain A.V., Melnikov V.F., Morgachev A.S. // Ge&Ae, 2017, V. 57, 988

ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ: РАЗВИТИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СЛОЖНОЙ ГРУППЕ ПЯТЕН NOAA 11302

Шаховская А.Н., Григорьева И.Ю.

КрАО РАН, пгт. Научный, Республика Крым, Россия

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются события в большой и сложной группе пятен NOAA 11302, произошедшие в конце сентября 2011 года. Ранее авторами были изучены две вспышки в этой группе: компактная вспышка X1.9 (начало в 9:21 UT, максимум 9:40 UT) около хвостового пятна и LDE-вспышка M7.1балла (начало в 12:33 UT, максимум 13:17 UT) около центральных пятен. В настоящей работе были детально проанализированы несколько эпизодов, произошедшие в самом конце LDE-вспышки, включающие четыре гомологические вспышки класса M и усиление яркости в линии Hα в разных частях активной области (АО) по данным, полученным на Big Bear Solar Observatory (BBSO). Произведено сравнение изменения по времени яркости различных частей АО в линии Hα, линиях ВУФ, по данным SDO/AIA, и потока мягкого рентгена по наблюдениям GOES.

Получено, что для этих эпизодов связь между мягким рентгеном и яркостью в Hα и линиями ВУФ различна. Наиболее заметное увеличение яркости в Hα не вызывает увеличение потока мягкого рентгена, а в свою очередь, достаточно мощным рентгеновским вспышкам не соответствуют значительные уярчания в линии в Hα. Увеличения яркости в линиях ВУФ, напротив, совпадают по времени, как с уярчаними в Hα, так и со вспышками в мягком рентгене. В рассматриваемое нами время наблюдений с 17:00 до 21:00 UT в активной области периодически возникали яркие выбросы из хвостовой части АО, наблюдаемые в ВУФ и Hα линиях. Наиболее значительный из них, выброс в 20:01 UT из хвостовой части группы, начался с резкого импульса в Hα и постепенно развился в протяженное темное образование (спрей). Этому событию соответствовало практически одновременное (с разницей не более 30 сек) резкое в других отдаленных частях АО. Это вероятно свидетельствует о существовании причины, приводящей к развитию нестационарного явления не в одном очаге, а в группе в целом. Возможной причиной нарушения связи между интенсивностью в линии Hα и мягким рентгеном является сложное поведение линии инверсии полярностей, что в свою очередь, приводит к формированию после мощной LDE-вспышки магнитного жгута, нагретого выше хромосферной температуры, и развитие нестационарных явлений непосредственно в самом жгуте.

ПРОГНОЗ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ НА КИСЛОВОДСКОЙ ГОРНОЙ СТАНЦИИ

Шрамко А.Д., Тлатов А.Г., Дормидонтов Д.В., Кирпичев Р.В., Гусева С.А.

Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия, a_shramko@inbox.ru

В работе анализируются данные микроволнового излучения Солнца, полученные на радиотелескопах Кисловодской Горной Астрономической Станции ГАО РАН (ГАС) РТ-3 (4.9 см) и РТ-2 (3.2 см). Проведены сопоставления длительных вариаций радиоданных с наблюдениями на других радиоинструментах, а также с данными в оптическом и рентгеновском диапазонах.

Исследуется возможность использования данных излучения Солнца на длинах волн 4.9 и 3.2 см в сочетании с другими наблюдательными данными в прогнозировании вспышечной активности. Для этого используются ежедневные калиброванные данные радионаблюдений ГАС 1962-2017 гг., а также данные наблюдений на волне 10.7 см., в вакуумном УФ и рентгене. Получены оценки достоверности прогноза вспышечной активности по критерию Ермошенко [1] – 75% и критерию Танака-Эноме [2] – 85%. Достоверность этих оценок позволяет говорить о возможности прогнозировать вспышечную активность Солнца по данным микроволнового излучения полученным на ГАС.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, гранты № 18-02-00098, 18-02-00856.

1. Ермошенко В.Л. // Солнечные данные, № 10, 1979. С. 99.
2. Tanaka, H. and Enome, S. // Solar Phys. 1975. V.40. P. 123

ЯВЛЕНИЯ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ ВО ВРЕМЯ МОЩНЫХ ВСПЫШЕК В СЕНТЯБРЕ 2017 Г.

Слемзин В.А., Горяев Ф.Ф., Родькин Д.Г.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, slem@sci.lebedev.ru

6 и 10 сентября 2017 г. произошли наиболее мощные в 24м цикле вспышки солнечной активности, сопровождавшиеся корональными выбросами массы (КВМ) из активной области 12673. В этих событиях телескопом SWAP на спутнике PROBA 2 в канале 174 Å были зафиксированы необычные явления поярчения и потемнения диффузной короны на расстояниях от 0.2 до 0.7 R_{sun} относительно солнечного лимба. Во время вспышки X9.3 6 сентября яркость короны над лимбом на расстояниях 0.4-0.7 R_{sun} попеременно увеличивалась (до +45% от начального уровня) и уменьшалась (до -30%), и через 2 часа вернулась к исходному уровню. Изменение яркости короны происходило в корреляции с потоком от вспышки, измеренным в полосе SWAP 174 А. Поярчение соответствовало максимуму потока вспышки, потемнение, очевидно, было связано с двумя КВМ, которые произошли в максимуме рентгеновского потока вспышки по данным GOES и часом позже. Вспышка X8.2 10 сентября, которой предшествовал КВМ, вызвала резкое потемнение почти всего западного сектора короны на ~ 60%, при этом яркость участков короны над восточным лимбом и обоими полюсами изменилась незначительно. Через 3 часа яркость короны оставалась пониженной на 20-50%. Анализ излучения короны методом дифференциальной меры эмиссии (ДМЭ) по изображениям с телескопа SDO/AIA показал резкое уменьшение плотности плазмы диффузной компоненты короны в температурном интервале 1 – 3 МК от 2 до 3.5 раз и одновременное появление в распределении ДМЭ пика с максимумом T ~ 0.8 МК, что совпадает с температурным максимумом возбуждения линии 171 А иона FeIX. Появление этого пика связано с резонансным рассеянием излучения вспышки на ионах FeIX, выделившимся на фоне резкого уменьшения столкновительной компоненты собственного излучения плазмы диффузной короны. Анализ показал, что плотность диффузной короны над западным лимбом через 3 часа после вспышки уменьшилась до уровня плотности над невозмущенным восточным лимбом. Таким образом, потемнение западного участка короны было связано с эрупцией избыточной массы плазмы, накопившейся перед вспышкой в диффузной короне над активной областью.

МОГУТ ЛИ СУПЕРВСПЫШКИ ПРОИСХОДИТЬ НА СОЛНЦЕ? ВЗГЛЯД С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ДИНАМО

Соколов Д.Д., Китчатинов Л..Л., Усоскин И.Г., Мосс Д.Л., Кацова М.М., Лившиц М.А.

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

Недавние результаты миссии Кеплер показали, что на звездах, подобных Солнцу, могут происходить супервспышки, которые существенно превосходят по энерговыделению все когда-либо наблюденные солнечные вспышки. Данные по радионуклеодам не дают оснований предполагать наличие супервспышек на Солнце в течение последних 11 тыс. лет. Естественно считать, что механизм динамо на звездах с супервспышками в некотором отношении отличается отсолнечного. В работе выявляются управляющие параметры динамо, которые могут описывать различие между Солнцем извездами с супервспышками. Наша цель предложить механизм динамо, возможно более близкий к обычному солнечному (звездному) динамо, но способный создать существенно больший запас магнитной энергии. Механизм динамо, основанный на совместном действии дифференциального вращения и зеркально асимметрии конвективных (или турбулентных) движений среды в принципе могут приводить к генерации двух типов магнитных конфигураций. Это хорошо известные в физике Солнца волны магнитного поля (динамо-волны). Однако возможен и другой тип решений, при которых магнитное поле сначала растет, а затем стабилизируется. При сопоставимых условиях напряженность магнитных полей второго типа решений существенно больше, чем первого просто потому, чтовозможности динамо не тратятся на периодические изменения знака магнитного поля, а целиком расходуются на его усиление. В работе [1] предполагалось, что переход от осциллирующей к стационарной конфигурации возникает на ограниченное время как результат флуктуациию В данной же работе мы обращаем внимание на то, что для многих звезд (например, для членов двойных систем) гидродинамика может достаточно сильно отлитчаться от солнечной, так что на них вполне допустимо ожидать появления стационарных магнитных конфигураций как основного типа поведения магнитного поля. В этом случае естественно ожидать, что напряженность магнитного поля на этих звездах существенно больше, чем на Солнце, а это, в свою очередь, может вести к супервспышкам. Мы также проанализировали имеющиеся результаты наблюдений миссии Кеплер о звездах с супервспышками для того, чтобы найти индикаторы аномальной магнитной активности. Мы считаем, что анти-солнечное дифференциальное вращение или анти-солнечный знак зеркальной асимметрии может возникать по крайней мере для некоторых звезд поздних спектральных классов, включая двойные звезды, субгиганты, маломассивные звезды и молодые быстро вращающиеся звезды.

1. Kitchatinov L.L., Olemskoy S.V. // MNRAS 2016. V. 455. P. 4353

Солнечный цикл зарождается в зоне лучистого переноса

Соловьев А. А.
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург, solov.a.a@mail.ru

Недавно гелиосейсмологи (Fossat E. et al, A&A, 604, A40, 2017) сообщили об открытии гравитационных мод и быстром вращении солнечного ядра. По их данным ядро совершает оборот за 7 дней, как раннее Солнце, а расположенная над ним зона лучистого переноса вращается твердотельно с периодом 27 дней. Эти сведения позволяют заключить, что при наличии в ядре магнитного поля (возможно, реликтового) на границе между ядром и лучистой зоной (ЛЗ), благодаря огромному радиальному градиенту угловой скорости должна происходить эффективная генерация ("намотка") магнитного поля. При этом принципиально важно, что это магнитное поле, по мере его непрерывной генерации на указанной границе, создается не в турбулентной среде конвективной зоны (КЗ), а попадает в гидростатическую, лишенную хаотических движений и дифференциального вращения среду ЛЗ, в которой оно не подвергается хаотическому запутыванию и механическим деформациям и потому сразу формируется как регулярная, правильная, крупномасштабная магнитная структура. В ЛЗ перенос тепла происходит благодаря поглощению и переизлучению э/м квантов. Магнитное поле на этот процесс никакого влияния не оказывает, его наличие не может изменить гидростатические профили давления и плотности в ЛЗ, которые обеспечены лучистым переносом. Следовательно, магнитное поле в ЛЗ, независимо от его напряженности, должно иметь бессиловую структуру. Три условия: осевая симметрия, бессиловой характер магнитного поля и отсутствие в ЛЗ дифференциального вращения однозначно определяют вид уравнения, описывающее данное поле, и структуру его решения. Это - конфигурация, состоящая из концентрических, вложенных друг в друга магнитных слоев, открытых на полюсах. Угловое распределения поля в этих слоистых магнитных структурах описывается функциями Лежандра, а радиальное – функциями Бесселя полуцелого аргумента. Такое регулярное магнитное поле заполняет собою всю ЛЗ и своим давлением подпирает КЗ снизу, создавая на её нижней границе переходную область тахоклина. Турбулентная среда КЗ отторгает внешнее магнитное поле, но напряженность поля в нижележащей ЛЗ постоянно растет вследствие непрерывного генерирующего действия огромного градиента угловой скорости на ее границе с ядром, и это растущее магнитное поле, достигая некоторой критической величины, время от времени (циклически, порционно, послойно) прорывается сквозь толщу КЗ на поверхность Солнца. Какая-то часть этого прорвавшегося магнитного потока, проходя сквозь объем КЗ, неизбежно турбулизуется, приобретает хаотический, перемежающийся (и, возможно, мультифрактальный) характер, но определенная часть крупномасштабного магнитного потока, по-видимому, сохраняет свою изначальную регулярную структуру и несет в себе большой запас свободной (связанной с электрическими токами) магнитной энергии. Такая сохранившаяся, несмотря на турбулентность в КЗ, регулярная крупномасштабная магнитная структура, выходя из КЗ, «прорисовывает» на поверхности Солнца всю совокупность явлений цикла солнечной активности (формирует королевскую зону пятнообразования с ее южно-северной асимметрией, обеспечивает правила Гневышева-Оля и Вальдмайера, поворот солнечного диполя и пр.), далее она необратимо диссипирует и уносит в межпланетное пространство угловой момент Солнца. Кроме того, прорвавшиеся через КЗ магнитные структуры ЛЗ проявляют себя в фотосфере Солнца в виде всплывающих скрученных магнитных трубок сильного поля (magnetic flux ropes), ведут к образованию магнитных аркад, протуберанцев, корональных петель и т.п.; они создают силовой каркас активных областей, запасенная в них свободная магнитная энергия взрывообразно выделяется в атмосфере Солнца в форме мощных вспышек и КВМ.

СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ РОЖДАЕТСЯ В ЗОНЕ ЛУЧИСТОГО ПЕРЕНОСА

Соловьев А.А.

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

Недавно гелиосейсмологи [1] сообщили об открытии гравитационных мод и быстром вращении солнечного ядра. Ядро совершает оборот за 7 дней, как раннее Солнце, а расположенная над ним зона лучистого переноса вращается твердотельно с периодом 27 дней. Эти данные позволяют заключить, что при наличии в ядре магнитного поля (возможно, реликтового) на границе между ядром и лучистой зоной (ЛЗ), благодаря огромному радиальному градиенту угловой скорости должна происходить эффективная генерация ("намотка") магнитного поля. При этом принципиально важно, что это магнитное поле, по мере его непрерывной генерации на указанной границе, создается не в турбулентной среде конвективной зоны (КЗ), а попадает в гидростатическую, лишенную хаотических движений и дифференциального вращения среду ЛЗ, в которой оно не подвергается хаотическому запутыванию и механическим деформациям и потому сразу формируется как регулярная, правильная, крупномасштабная магнитная структура. В ЛЗ перенос тепла происходит благодаря поглощению и переизлучению э/м квантов. Магнитное поле на этот процесс никакого влияния не оказывает, его наличие не может изменить гидростатические профили давления и плотности в ЛЗ, которые обеспечены лучистым переносом. Следовательно, магнитное поле в ЛЗ, независимо от его напряженности, должно иметь бессиловую структуру. Три условия: осевая симметрия, бессиловой характер магнитного поля и отсутствие в ЛЗ дифференциального вращения однозначно определяют вид уравнения, описывающее данное поле, и структуру его решения. Это - конфигурация, состоящая из концентрических, вложенных друг в друга магнитных слоев, открытых на полюсах. Угловое распределения поля в этих слоистых магнитных структурах описывается функциями Лежандра, а радиальное – функциями Бесселя полуцелого аргумента. Такое регулярное магнитное поле заполняет собою всю ЛЗ и своим давлением подпирает КЗ снизу, создавая на её нижней границе переходную область тахоклина. Турбулентная среда КЗ отторгает внешнее магнитное поле, но напряженность поля в нижележащей ЛЗ постоянно растет вследствие непрерывного генерирующего действия огромного градиента угловой скорости на ее границе с ядром, и это растущее магнитное поле, достигая некоторой критической величины, время от времени (циклически, порционно, послойно) прорывается сквозь толщу КЗ на поверхность Солнца. Какая-то часть этого прорвавшегося магнитного потока, проходя сквозь объем КЗ, неизбежно турбулизуется, приобретает хаотический, перемежающийся (и, возможно, мультифрактальный) характер, но определенная часть крупномасштабного магнитного потока, по-видимому, сохраняет свою изначальную регулярную структуру и несет в себе большой запас свободной (связанной с электрическими токами) магнитной энергии. Такая сохранившаяся, несмотря на турбулентность в КЗ, регулярная крупномасштабная магнитная структура, выходя из КЗ, «прорисовывает» на поверхности Солнца всю совокупность явлений цикла солнечной активности (формирует королевскую зону пятнообразования с ее южно-северной асимметрией, обеспечивает правила Гневышева-Оля и Вальдмайера, поворот солнечного диполя и пр.), далее она необратимо диссипирует и уносит в межпланетное пространство угловой момент Солнца. Кроме того, прорвавшиеся через КЗ магнитные структуры ЛЗ проявляют себя в фотосфере Солнца в виде всплывающих скрученных магнитных трубок сильного поля (magnetic flux ropes), ведут к образованию магнитных аркад, протуберанцев, корональных петель и т.п.; они создают силовой каркас активных областей, запасенная в них свободная магнитная энергия взрывообразно выделяется в атмосфере Солнца в форме мощных вспышек и КВМ.

1. Fossat E. et al. // A&A 2017. V. **604**, A40.

ИЗМЕНЕНИЕ НАКЛОНА КОРОНАЛЬНЫХ ШЛЕМОВ В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Старкова Л.И.

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, starkova@izmiran.ru

Проведен анализ особенностей отклонений от радиального направления осей корональных шлемов Солнца. В качестве анализируемых данных использовались структурные изображения К-короны, полученные во время полных солнечных затмений с конца XIX века по наше время. Было установлено, что наклон оси шлемов изменяется с расстоянием от центра Солнца по степенному закону r^n (n<0). Кроме того, выявлена тенденция изменения величины показателя n от широты положения основания коронального шлема. На фазе роста солнечной активности величина n увеличивалась с широтой положения коронального шлема, а в периоды спада солнечной активности тенденция оказалась обратной. Смена характера указанной широтной тенденции происходит скачком на границе между солнечными циклами.

РЕГИСТРАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ АППАРАТУРОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГЛОНАСС

Кархов А. Н., Мозгов К.С., Ренский С.И., Сталь Н.Л., **Степанов А.В.**

АО «НПК «СПП», г. Москва, Россия, ste_alex@mail.ru

Изучение солнечных протонных событий (СПС) представляет интерес как для понимания механизмов генерации, ускорения и распространения заряженных частиц в межпланетном пространстве[1], так и для оценки радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве[2]. В связи с этим большой интерес представляют данные по СПС полученные бортовой аппаратурой, расположенной на средневысоких круговых орбитах космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС. Аппаратура размещена на всех 24 аппаратах ГЛОНАСС, что делает возможным одновременную регистрацию протонов СПС в нескольких разнесенных точках околоземного космического пространства на орбитах КА ГЛОНАСС.

В представленной работе проведён краткий анализ СПС, произошедших в течение 24 цикла Солнечной активности и зарегистрированных аппаратурой КА ГЛОНАСС.

Регистрация протонов СПС аппаратурой КА ГЛОНАСС осуществляется датчиком блока регистрации ионизирующего излучения (БРИИ)[3]. Датчик способен регистрировать протоны с энергиями более 50МэВ. На рис.1 приведена зависимость скорости счёта протонов детектором БРИИ от времени и географической широты, на которой находился КА во время СПС, произошедшего 07.06.2011.

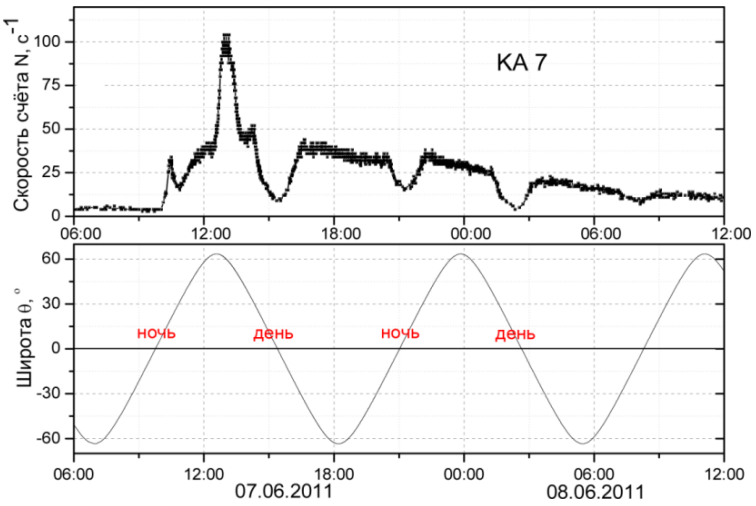


Рис. 1. СПС 07.06.2011

В работе проведён анализ СПС, произошедших в течение 24 цикла Солнечной активности и зарегистрированных аппаратурой БРИИ. Показано, что аппаратура БРИИ способна детально описывать развитие во времени СПС, позволяет получать количественные параметры СПС: начало и максимум протонного возрастания, время запаздывания этого максимума относительно вспышки на Солнце, уменьшение числа регистраций из-за широтного обрезания магнитным полем Земли, вариации день-ночь.

1. Модель космоса: Научно-информационное издание: под ред. М. И. Панасюка. Л.И. Новикова Т. 1. Г. М.: КДУ, 2007, с. 294-313.
2. Гецелев И.В., Зубарев А.И., Пудовкин О.Л., "Радиационная обстановка на борту космических аппаратов", ЦИПК, 2001, с. 155-163.

3. Сталь Н.Л., Степанов А.В. Моделирование отклика детектора ионизирующего излучения аппаратуры на фоновые протоны космического излучения. Электромагнитные волны и электронные системы, - 2013. - Т. 18, № 1. - С. 69-70.

АКТИВИЗАЦИЯ ПРОТУБЕРАНЦА ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Степанов А.В.[1] , **Зайцев В.В.**[2]

[1]*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург*
[2]*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

Исследована активизация протуберанца, вызванная ростом электрического тока. Динамика протуберанца обусловлена действием силы Ампера, силы тяжести и вязкости среды. Показано, что если величина электрического тока, протекающего в волокне, возрастает, то направленная вверх сила Ампера, действующая на волокно, также увеличивается. Это приводит к подъему волокна и новое положение равновесия, соответствующее новому значению электрического тока, достигается в результате динамического процесса. Подъём волокна происходит со скоростью, типичной для протуберанцев, поэтому этот процесс можно рассматривать как активизацию протуберанца. Построена фазовая диаграмма активизации волокна, найдены максимальная высота и максимальная скорость подъёма протуберанца. Причиной резкого увеличения электрического тока может быть магнитная неустойчивость Рэлея-Тейлора в хромосферных основаниях волокна.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О РАЗДЕЛЬНОМ ДИНАМО В НЕДРАХ СОЛНЦА

П.Г. Плеханов

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

В работе [1] принято, что наблюдаемые явления солнечной активности формирует единая силовая магнитная линия, с вмороженной плазмой, которая при дифференциальным вращением Солнца, которые распределяется на северном и южном полушариях Солнца. Анализ наблюдаемых явлений солнечной активности северного и южного полушарий Солнца позволил установить, что в недрах Солнца существует механизм генерации слабого магнитного поля в 1Гаус с раздельным динамо для северного и южного полушарий Солнца. В работе [2] изложена модель раздельного динамо основой которого служит наблюдаемая мощная магнитосфера планеты Юпитер (не состоявшаяся звезда). Теоретически обосновывается, что в конвективной зоне в полюсах Солнца из его недр «всплывают» слабые полоидальные магнитные поля разной полярности, которые за время эволюциив северном и южном полушариях преобразуются в сильные тороидальные магнитные поля. При опускании с полюсов к экватору слабые магнитные поля (слабые пятна) преобразуются в глобальныемагнитные торы плазмы-наступает максимум солнечной активности и пятноообразования. При подходе к экватору Солнца плазменные торы слабеют и цикл солнечной активности заканчивается. Обосновывается, что период зарождения и формирования малого тора плазмы определяет минимум солнечной активности, а достижение глобальных размеров плазменного тора определяют максимум солнечной активности.

Процессы формирования и эволюции самостоятельных плазменных торов разной полярности в северном и южном полушариях Солнца объясняет физику законов: Швабе-Вольфа, Шперера и Дж. Хейла [1]. Объясняет смену диполя Солнца в период максимума солнечной активности, а так же начало появления пятен около полюсов Солнца. Открытие волн Россби на раскаленной поверхности Солнца является подтверждением существования глобальных потоков плазмы в конвективной зоне [3].

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

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

[3]. http://earth-chronicles.ru/news/2017-03-28-102850

ВСПЫШКИ, КОРОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ МАССЫ И КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

Е.В. Иванов

ИЗМИРАН, Московская обл., г. Троицк, Россия, ivstp@mail.ru

Исследованы вариации скорости и кинетической энергии корональных выбросов массы (КВМ) за период 1996-2014 годы. Обнаружены квазидвухлетние вариации скорости и кинетической энергии КВМ, аналогичные вариациям временных параметров (времени подъема и спада, длительности) солнечных вспышек за тот же период, выявленных ранее И.М. Чертоком и А.В. Беловым (Solar Phys (2017) 292:144). Предложена интерпретация этих вариаций с точки зрения квазидвухлетних изменений крупномасштабной структуры магнитного поля Солнца (активных долгот), исследованных ранее в работах Е.В. Иванова и И.Г. Усоскина.

СОЗДАНИЕ 100-ЛЕТНИХ АТЛАСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Тлатова[1] К. А., Тлатов[1,2] А. Г., Васильева[1] В. В., Скорбеж[1] Н. Н.

[1]Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, k.tlatova@mail.ru
[2]КалмГУ, Элиста

Выполнена оцифровка данных охватывающих период более 100-лет, состоящая из магнитных полей солнечных пятен по зарисовкам обсерватории Маунт Вилсон 1917-2016 гг., солнечных пятен на фотопластинках Гринвичской обсерватории 1919-1972 и ГАС 1954-2016; флоккул в спектральной линии CaIIK в период 1905-2016 по данным обсерваторий Кодайканал, Маунт Вилсон, Сакраменто Пик и ГАС; солнечных волокон, наблюдаемых в линии Н-альфа, за период 1915-2016 по данным обсерваторий Кодайканал, Медон, Сакраменто Пик, Канцельхое и ГАС; протуберанцев, по данным наблюдений в линиях Н-альфа и CaIIK, за период 1910-2016 гг., по данным обсерваторий Кодайканал, ГАС и зарисовок международной наблюдательной сети спектрогелиоскопов.

Созданы ряды характеристик отдельных солнечных пятен, ядер, волокон, флоккул и протуберанцев, а также базы данных векторных границ и фотометрических свойств объектов. На основе которых были определены характеристики отдельных видов солнечной активности. А также был создан интерактивный атлас солнечной активности (см. Илларионов и др. 2017), на котором представлены ежедневные карты солнечной активности, характеристики отдельных элементов и сводные индексы солнечной активности. Представлен анализ свойств полученных индексов солнечной активности.

Выполнен сравнительный анализ скорости дрейфа высокоширотных протуберанцев к полюсам в циклах активности. Исследована связь между скоростью дрейфа и мощностью цикла активности.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-02-00098 и РНФ проект 15-12-20001.

УГОЛ НАКЛОНА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В 15-24-х ЦИКЛАХ АКТИВНОСТИ

Златова[1] К. А., Златов[1,2] А. Г., Pevtsov[3] А.А., Васильева[1] В. В.

[1]*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, k.tlatova@mail.ru*
[2]*КалмГУ, Элиста*
[3]*NSO, USA*

На основе выполненной оцифровки зарисовок солнечных пятен обсерватории Маунт-Вилсон, выполнено исследование углов наклона активных областей в зависимости от широты и с солнечным циклом. Зарисовки охватывают период с 1917 года по настоящее время и содержат информацию о полярности и интенсивности магнитного поля в солнечных пятнах. В отличие от прежних исследований, мы характеризуем наклоны, используя ориентацию нескольких бипольных пар, идентифицированных внутри каждой активной области. Мы обнаружили, что широтная зависимость наклонов не увеличивается монотонно с широтой, по сравнению с большинством предыдущих исследований, вместо этого она показывает явный максимум в средних широтах. Мы также обнаружили, что широтная зависимость наклонов варьируется от одного солнечного цикла к другому, но большие наклоны, по-видимому, не являются следствием более сильных солнечных циклов. Также установлено наличие систематического смещения в наклоне активных областей вблизи экватора, причем нечетные циклы показывают отрицательные смещения, а четные циклы, показывают положительные смещения.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-02-00098 и РНФ проект 15-12-20001.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И СУБСЕКУНДНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ ЗАДЕРЖКИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО ДАННЫМ РОССИЙСКОГО СПУТНИКА «ЛОМОНОСОВ»

Ю.Т. Цап, И.Н. Мягкова, Ю.Г. Копылова, Г.Г. Моторина, А.В. Богомолов, Т.Г. Гольдварг, М.И. Панасюк, С.И Свертилов, В.В. Богомолов, И.В. Яшин, В.Л. Петров

КрАО РАН, Крым, пгт Научный
ГАО РАН, Санкт-Петербург, yur_crao@mail.ru

На основе данных наблюдений, полученных с временным разрешением 0.1 с на гамма-спектрометре БДРГ (блоки детектирования рентгеновского и гамма-излучения), который установлен на борту российского спутника «Ломоносов», проведен анализ задержек между временными профилями жесткого рентгеновского излучения различных диапазонов (10-20, 20-35, 35-60 кэВ). На примере трех вспышечных событий 10, 18 и 21 июля 2016 года, зарегистрированных на БДРГ, показано, что задержки < 1 с носят хаотичный характер. В рамках стандартной модели солнечных вспышек это предполагает возможность эффективного ускорения заряженных частиц в различных частях магнитной арки. Сделанные ранее выводы по данным BATSE/CGRO о доминировании регулярных субсекундных задержек, связанных с временем пролета (time-of-flight) электронов из области вершины вспышечной арки к ее основаниям, нельзя считать достаточно убедительными. Обсуждаются следствия полученных результатов.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ И НИЗКОШИРОТНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СОЛНЦА

Вернова Е.С.[1], Тясто М.И.[1], Баранов Д.Г.[2]

[1]СПб филиал ИЗМИРАН, г. С.-Петербург, Россия; helena@EV13934.spb.edu
[2]ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. С.-Петербург, Россия

Дисбаланс полярностей фотосферного магнитного поля изучался на основе синоптических карт магнитного поля Солнца, созданных Национальной Солнечной Обсерваторией Китт Пик (1976 – 2016 гг.). Дисбаланс положительного и отрицательного магнитных потоков рассматривался для полей с напряженностью B > 50 Гс в зоне пятен (5° – 40°) и для полей с напряженностью B < 50 Гс на более высоких гелиоширотах (40° – 90°). Найдена 22-летняя периодичность изменений дисбаланса положительного и отрицательного магнитных полей, которая сохранялась на протяжении четырех солнечных циклов.

Показано, что для зоны пятен знак дисбаланса всегда совпадает с полярностью северной полусферы. На высоких широтах знак дисбаланса всегда совпадает с полярностью южной полусферы. Наблюдалась связь дисбаланса с квадрупольным моментом g_{20} модели PFSS (представление полей фотосферы и ближней гелиосферы в виде разложения в ряд). Знаки дисбаланса полярностей высоких и низких широт изменяются в противофазе, показывая хорошую корреляцию с квадрупольным моментом.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ТИПА «СТЕЛС» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ПОДХОДОВ

Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г.

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

В последние годы ряд исследований был посвящен изучению корональных выбросов массы (КВМ), возникающих на видимой поверхности Солнца, наблюдаемых в поле зрения коронографов космических обсерваторий SOHO и/или STEREO, но для которых не удавалось обнаружить сопровождающие их изменения в нижней короне в линиях крайнего ультрафиолета. Такие корональные выбросы массы в англоязычной литературе называются «Stealth CMEs» (или «КВМ ниоткуда»; «Стелс-КВМ»). К настоящему моменту составлено несколько списков таких КВМ без характерных, согласно «стандартной модели», проявлений в нижней/эмиссионной короне, сопровождающих инициацию всех остальных выбросов массы: джеты, эрупции солнечных волокон (жгутов), солнечные вспышки. Также стали часто публиковать работы, в которых «Стелс-КВМ» отождествляются с эруптивными событиями на невидимом диске Солнца, или с, так называемыми, «симпатическими эрупциями». В данном исследовании проведен анализ инициации двух зарегистрированных в разные годы «Стелс-КВМ». Показано, что возникновение этих КВМ сопровождается различными проявлениями мелкомасштабной солнечной активности, а не крупномасштабными изменениями в нижней короне. Выявлено кратковременное увеличение интенсивности излучения в крайнем УФ-диапазоне в локальных областях солнечного диска. Для одного события выявлено формирование фронтальной структуры выброса массы. Оценены особенности кинематики исследовавшихся «Стелс-КВМ».

МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОКИ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ПУЛЬСАЦИЯМИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Зимовец И.В. **ang R Liu ang , Кузнецов С.А., Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Накаряков В.М.**

NSSC CAS & ISSI-BJ (Beijing, China), ИКИ РАН (Москва, Россия), ivanzim@iki.rssi.ru

Представлены результаты анализа магнитного поля и вертикальных электрических токов в семи солнечных вспышках, сопровождавшихся пульсациями жесткого рентгеновского (ЖР) излучения. Динамика источников ЖР пульсаций этих вспышек была ранее изучена в работе [1], и эти вспышки отобраны в силу доступности для них векторных магнитограмм, полученных по данным наблюдений инструмента HMI/SDO. В работе [1] на основании только выполненного анализа наблюдений, было высказано предположение, чтобы магнитные жгуты могут играть важную роль в процессе генерации ЖР пульсация. Цель настоящей работы - проверить эту гипотезу на основе экстраполяции магнитного поля в нелинейном бессиловом приближении с использованием пакета программ NLFFF.

Мы обнаружили, что перед каждой вспышкой в родительской активной области действительно присутствовал магнитный жгут, вытянутый вдоль линии инверсии магнитной полярности (ЛИМП) на фотосфере. В двух вспышечных областях источники различных ЖР пульсаций располагались в подножиях различных силовых линий магнитного поля, составляющих жгут. В остальных пяти событиях родительские силовые линии источников ЖР пульсаций не являлись непосредственно частью жгута, а окружали его в виде аркады магнитных петель.

Кроме того, мы установили, что в трех из семи событий источники ЖР пульсаций были расположены вблизи областей повышенных ($j_r>10^4$ статампер/см^2) вертикальных электрических токов на фотосфере, имеющих форму лент, вытянутых (L>10 Мм) в основном вдоль ЛИМП. В четыре оставшихся событиях вертикальные токи сосредоточены в многочисленных крошечных (L<5 Мм) островах, разбросанных вокруг ЛИМП. В целом, источники ЖР пульсаций локализуются на периферии областей максимальных вертикальных токов. Не обнаружено существенной корреляции между интенсивностью источников ЖР пульсаций и характеристиками вертикальных электрических токов и магнитного поля, а также их изменений за время вспышки, на фотосфере под источники ЖР пульсаций.

Полученные результаты согласуются с концепцией, предложенной в работе [1], а именно, что ЖР пульсации солнечных вспышек являются результатом последовательных эпизодов энерговыделения в различных магнитных трубках (нитях) вспышечной области вследствие магнитного пересоединения, инициированного неоднородной (вдоль оси) эрупцией магнитного жгута.

[1] S.A. Kuznetsov, I.V. Zimovets, A.S. Morgachev, A.B. Struminsky // Solar Phys. (2016) 291: 3385-3426.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ИСТОЧНИКАМИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ТОКАМИ НА ФОТОСФЕРЕ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗА 2010-2016 ГГ.

Зимовец И.В. **Шарыкин И.Н., Вонг Р., Лью И., Косовичев А.Г.**

ИКИ РАН (Москва, Россия), NSSC CAS & ISSI-BJ (Beijing, China), ivanzim@iki.rssi.ru

Считается, что солнечные вспышки являются результатом высвобождения свободной магнитной энергии, содержащейся в электрических токах, текущих в активных областях (АО). Тем не менее, по-прежнему ведутся споры о том, происходит ли первичное выделение энергии и ускорение электронов в корональных токовых слоях или в хромосферных подножиях токопроводящих магнитных петель [1]. Представлены результаты наблюдательного статистического исследования пространственной связи между источниками жесткого рентгеновского (ЖР; ≥50 кэВ) излучения, наблюдаемыми космическим аппаратом RHESSI, и вертикальными электрическими токами на фотосфере, рассчитанными с использованием векторных магнитограмм, полученных из данных инструмента HMI/SDO.

Мы установили, что для выборки из 47 вспышек (от класса C3.0 до X3.1), наблюдавшихся на солнечном диске обоими инструментами в 2010-2016 годах, по крайней мере один ЖР источник в каждом событии находился в окрестности области сильного (в пределах 20% от максимума плотности вертикального тока во всей родительской АО) вертикального тока, имеющей форму ленты (79%) или острова (21%). Интегральные вертикальные токи в таких ЖР источниках были в диапазоне 10^{10}-10^{13} А; плотность тока в диапазоне 0,01-1,0 А/м^2. Мы не обнаружили корреляции между интенсивностью ЖР источников и плотностью вертикального тока под ними. Посредством сопоставления послевспышечных и предвспышечных карт токов, мы не обнаружили свидетельств значительной диссипации вертикальных токов в областях, соответствующих ЖР источникам. В некоторых случаях мы обнаружили даже усиление вертикальных токов во время вспышки.

Результаты показывают, что, в целом, существует связь между вспышечными ЖР источниками (в хромосфере) и вертикальными токами на фотосфере, а именно, ЖР источники имеют тенденцию располагаться преимущественно на периферии областей сильных вертикальных токов. Однако наши результаты не поддерживают концепцию ускорения электронов электрическим полем, возбуждаемым в подножиях токопроводящих петель вследствие некоторых (например, Рэлея-Тейлора) неустойчивостей [2,3], поскольку не обнаруживается значимой корреляции между интенсивностью ЖР источников и плотностью вертикальных токов под ними, как ожидалось бы в рамках такой концепции.

[1] Stepanov A.V., Zaitsev V.V. // Geomagn. Aeronom (2016) 56, 952-971.
[2] V.V. Zaitsev, A.V. Stepanov // Solar Phys. (2015) 290: 3559-3572.
[3] V.V. Zaitsev, P.V. Kronshtadtov, A.V. Stepanov // Solar Phys. (2016) 291: 3451-3459.

Теория космической плазмы

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ТОКОВ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ МОЩНЫМ РАДИОИМПУЛЬСОМ В СЛАБОСТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ.

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

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

При постановке активных экспериментов в ионосфере Земли воздействие на F-слой мощного излучения коротковолновых нагревных стендов (HAARP, СУРА и др.) приводит к развитию искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ) [1,2]. Низкочастотной составляющей ИИТ, в частности, соответствует генерация неоднородностей плотности, вытянутых вдоль геомагнитного поля. Поперечные размеры плазменных неоднородностей ионосферы, возникающих при проведении такого рода активных экспериментов, могут изменяться в широких пределах, от десятков сантиметров (сверхмелкомасштабные неоднородности) до сотен километров (крупномасштабные неоднородности). В последнее время, в связи с необходимость интерпретации результатов недавних активных экспериментов, достаточно большое внимание уделяется вторичной турбулентности. Генерация вторичной турбулентности может отвечать за появление неоднородностей плотности и температуры различных масштабов далеко вне областей резонансного взаимодействия нагревного излучения с магнитоактивной плазмой [2]. Исследование механизмов генерации, а также динамических характеристик неоднородностей плазмы, вытянутых вдоль магнитного поля, имеет большое как фундаментальное, так и прикладное значение, в частности для диагностики околоземной плазмы и задач по организации радиосвязи.

В данном докладе представлены результаты лабораторных экспериментов, в которых исследовались особенности генерации и динамики неоднородностей плотности и магнитного поля при мощном короткоимпульсном воздействии на плазму. Эксперименты проводились на уникальном крупномасштабном стенде «Крот» (ИПФ РАН, г. Н. Новгород). В проводимых экспериментах длительность импульса накачки выбиралась сравнимой либо меньшей времени между электронными столкновениями. Показано, что при высоком уровне мощности накачки время развития и релаксации плазменной неоднородности может существенно превышать длительность импульса накачки. Установлено, что процессы переноса неоднородностей плотности вдоль внешнего магнитного поля имеют достаточно сложный характер. Анализ возмущений магнитного поля в совокупности с пространственно-временными картами возмущений плотности указывает на наличие нескольких характерных скоростей переноса вдоль магнитного поля. В работе обсуждается несколько механизмов переноса возмущений плазмы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №16-02-01156-а).

1. Фролов В.Л., Рапопорт В.О., Шорохова Е.А., Айдакина Н.А., Гущин М.Е., Зудин И.Ю., Коробков С.В., Костров А.В., Парро М., Рош Ж.-Л. // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т.**101.** №5. С.342.
2. Фролов В.Л., Сергеев Е.Н., Штуббе П. // Изв. вузов. Радиофизика. 2002. Т.**45.** №.2. С.121.

Сопоставление коэффициентов квазилинейной диффузии частиц в пространстве скоростей при изотропной и одномерной электромагнитной низкочастотной турбулентности

Беспалов П.А. [1], **Мизонова В.Г.** [2]

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

[2] *Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород*

Приведены выражения для коэффициентов квазилинейной диффузии энергичных частиц в пространстве скоростей, обусловленных турбулентностью существенно замедленных низкочастотных электромагнитных волн в магнитоактивной плазме. Для альвеновских, быстрых магнитозвуковых и свистовых волн проанализирована зависимость коэффициентов диффузии от углового спектра турбулентности на основе сопоставления результатов расчета при одномерной и изотропной спектральных плотностях энергии волн. Взаимодействие частиц с волнами, распространяющимися вдоль магнитного поля, определяется резонансом на первой циклотронной гармонике. Учет неодномерности спектра плазменной турбулентности предполагает учет черенковского и кратных циклотронных резонансов, что существенно меняет условия взаимодействия частиц и волн.

ИМПЕДАНС И ФУРЬЕ ОБРАЗ ЭЛЕКТРОННОЙ ДИФФУЗИОННОЙ ОБЛАСТИ С АСИММЕТРИЕЙ И АНИЗОТРОПИЕЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СКОРОСТЯМ

Губченко В.М.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, ua3thw@appl.sci-nnov.ru

Альтернативой и обоснованием описания процессов вблизи X точки (симметричного магнитного пересоединения и диполизации на сочетании динамики двумерных «тонких» или «толстых» токовых слоев) может служить предлагаемое кинетическое описание трехмерной ассиметричной электронной диффузионной области (АЭДО), типа инвертированная Y точка (хвост магнитосферы, шлемовидная структура солнечных стримеров). Область типа Y формируется в результате процесса магнитного пересоединения при индукционном взаимодействии потока горячей бесстолкновительной плазмы с источником намагниченности, в котором магнитный и тороидальный моменты ортогональны друг к другу и потоку. Поток плазмы характеризуется функцией распределения частиц, где электронная компонента асимметрична (поток) и анизотропна (поток, ток, температурная анизотропия, взаимопроникающие потоки электронов) относительно источника. Эти характеристики обуславливает резистивные и магнитные свойства потока плазмы в соотношении, определяемым безразмерным параметром «электромагнитной добротностью G». В отличие от известных электронных МГД подходов и действия ограничений, следующих из известных двумерных кинетических «токослойных» моделей, которые лежат сейчас в основе интерпретации данных, в проведенном рассмотрении получено аналитическое Фурье-представление магнитостатического поля АЭДО в пространстве волновых чисел. Оно удобно для дальнейшего анализа, для решения задач обнаружения на фоне шума и для детальной диагностики пространственно разделенными когерентными датчиками. Линейно поляризованной гармонике поля в трехмерном волновом пакете токовой структуры АЭДО соответствует силовая компонента с масштабом, определяемым модулем волнового вектора. Циркулярно поляризованной пространственной гармонике в спектре токовой системы соответствует бессиловая компонента. Каждая составляющая намагниченности дает аддитивный и вместе взаимный вклад в интегральный импеданс Z, через который определяется и нормируется силовая и мощностная компоненты индукционного взаимодействия в широком классе параметров космической и лазерной плазмы. Взаимный (бессиловой) вклад в трехмерную структуру тока АЭДО, обусловленный взаимодействием дипольной и тороидальной компонент, отрицателен для изотропной плазмы и уменьшает суммарный импеданс АЭДО (http://www.nwp.sci-nnov.ru/LaB_presentations/5/Volga-2017-Gubchenko-2.pdf), но может стать и положительным в специально анизотропной плазме.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0035-2014-0029, частично поддержана грантами РФФИ (№. 18_02_00951, № 17_02_00910, № 16_02_00373) и мегагрантом (контракт №. 14.Z50.31.0007), программой №28 Президиума РАН (проект 1.14 "Ускорение заряженных частиц и волновые процессы в солнечной, гелиосферной и магнитосферной плазме").

О ДИНАМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ПЛАЗМОСФЕР ГОРЯЧИХ ЭКЗОПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ СО ЗВЁЗДНЫМ ВЕТРОМ: СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНЗИТОВ

М.Л. Ходаченко [1,2], И.Ф. Шайхисламов [3], И.И. Алексеев [2], Е.С. Беленькая [2], А.Г. Березуцкий [3], И.Б. Мирошниченко [3], В.Г. Посух [3], Х. Ламмер [1], Л. Фоссати[1]

[1] Институт Космических Исследований, Австрийской Академии наук, Грац, Австрия
[2] НИИЯФ им. Д.В.Скобельцына, МГУ, Москва, Россия
[3] Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия

Взаимодействие расширяющейся верхней атмосферы горячего юпитера типа HD209458b с потоком плзмы звёздного ветра моделируется с помощью двумерной осесимметричной многожидкостной гидродинамической модели. Используемая модель учитывает основные фото-химические процессы в водородной атмосфере экзопланеты, что позволяет самосогласованным образом описать её нагрев и ионизацию за счет поглощения XUV излучения звезды, приводящие к разлёту вещества в виде частично ионизованного планетарного ветра. Модель включает в себя реальный спектр излучения звезды солнечного типа и эффекты гравитационного воздействия звезды на потоки планетарного и звёздного ветров. При этом, рассматриваются два существенно отличных режима взаимодействия: 1) «захваченный звездой», когда локальные градиенты давления и сила гравитационного притяжения звезды приводят к формированию струи атмосферного вещества планеты, покидающей область Роша и падающей на звезду; и 2) «увлекаемый ветром», когда достаточно сильный звёздный ветер останавливает с дневной стороны поток истекающего атмосферного вещества и увлекает его в направлении своего движения, формируя из плазмы планетарного ветра специфический «хвост». Предложенная модель воспроизводит в деталях движение и распределение компонент сталкивающихся потоков частично ионизованной плазмы, включая также генерацию вблизи планеты быстрых нейтральных атомов водорода (так называемых ENA), за счет реакции перезарядки между нейтральным водородом расширяющейся атмосферы и протонами звёздного ветра. Это, в конечном итоге, позволило расчитать поглощение излучения в линии Lyα во время транзитов экзопланеты на фоне диска звезды. Моделирование в широком диапазоне значений параметров звёздного ветра и XUV потока показало, что в условиях, характерных для звезды солнечного типа, количество генерируемых ENA оказывается слишком малым, так что наблюдаемое поглощение на уровне 6÷8% может быть только благодаря нерезонансному естественному уширению линии. При этом линия поглощения оказывается симметричной с близкими значениями как в красном, так и в голубом крыле линии. Однако, при более низких уровнях XUV потока, возможных в периоды пониженной звёздной активности, возрастает число нейтральных атомов, достигающих области звёздного ветра и участвующих в реакции перезарядки с его протонами, что ведёт к росту популяции ENA и соответственно увеличивает возможное Lyα поглощение в транзите до 10÷15% в голубом крыле линии, связанном с резонансным тепловым уширением. Аналогичное асимметричное поглощение оказывается возможным и в условиях более быстрого или плотного звёздного ветра (например при прохождении коронального выброса) когда реализуется «увлекаемый ветром» режим взаимодействия потоков планетарного и звёздного ветров. Было также показано, что радиациое давлениие не играет существенной роли в ускорении нейтрального водорода и генерации ENA.

Acknowledgements: Данная работа выполнялась в рамках проектов I2939-N27, S11606-N16 и S11607-N16 Австрийского Научного Фонда (Austrian Science Foundation, FWF), а также гранта РФФИ № 16-52-14006 и проекта II.10 №0307-2016-0002 исследовательской программы СО РАН. МЛХ благодарит за поддержку грант RFMEFI61617X0084 Министерства Образования и Науки Российской Федерации.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАРЯДКИ СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛА В ПЛАЗМЕ С МАКСВЕЛЛОВСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

В. Л. Красовский, А. А. Киселёв

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

alexander.kiselyov@stonehenge-3.net.ru

Изучение возмущения бесстолкновительной плазмы вокруг поглощающего заряд сферического тела – известная, но не до конца изученная задача теории электрического зонда. Длительное время оставался открытым вопрос об определении параметров захваченных частиц – движущихся по финитной траектории – и оценке их вклада в экранирование заряженного тела.

В начальный момент в бесстолкновительной плазме с максвелловским начальным распределением плазмы возникает сферическое поглощающее заряд тело. Далее рассматривается задача с начальными условиями, описываемая системой уравнений Власова-Пуассона. Целью является изучение динамики плазмы и процесса приобретения заряда сферой вплоть до асимптотического состояния устойчивого равновесия. Для рассматриваемой задачи характерны значительная нелинейность и невозможность задания граничных условий для захваченных частиц без проведения полного решения, что крайне осложняет и ограничивает аналитическое рассмотрение. Поэтому был разработан код для численного моделирования этой системы методом «частиц-в-ячейке», часто успешно применяемым в сильно нелинейных плазменных задачах. Использование канонических уравнений движения и сферической симметрии задачи позволило значительно повысить скорость расчета и упростить выкладки.

Получены численные решения для набора параметров физической системы. Проанализированы пространственно-временные зависимости электрического поля при выбранных параметрах при переходе системы в состояние асимптотического равновесия. Проведено сравнение поведения системы при максвелловской начальной функции распределения с предыдущими результатами, полученными для моноэнергетической функции распределения. Получена функция распределения частиц плазмы на фазовой плоскости для одного из расчетов. Вклад захваченных частиц был оценен с помощью отношения заряда сферы к суммарному заряду захваченных частиц (относительный заряд). Обнаружена зависимость величины относительного заряда от скейлингового параметра, характеризующего близость сгустка захваченных частиц к поверхности сферы.

МГД-МОДЕЛЬ МАГНИТНОЙ ТРУБЫ В ПОЛЯРНОЙ ГЕЛИОСФЕРЕ.

Р.А. Кислов[1], В.Д. Кузнецов[2], О.В. Хабарова[2], Х.В. Малова[1,3]

[1] *ИКИ РАН, Москва, Россия, kr-rk@bk.ru*
[2] *ИЗМИРАН, Троицк, Москва, Россия*
[3] *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Отдел излучений и вычислительных методов, Москва, Россия.*

Ранее по данным Ulysses была обнаружена крупномасштабная долгоживущая магнитная труба в полярной гелиосфере [Khabarova et al., 2017]. Согласно результатам наблюдений, труба отличается от окружающего солнечного ветра значительно более медленной, горячей и плотной плазмой, ограничена нейтральной поверхностью конусообразного токового слоя. Вблизи границы расположена азимутальная альфвеновская поверхность. Найденная структура качественно описывалась в рамках стационарной МГД-модели с трансляционной симметрией на больших расстояниях от Солнца и в рамках осесимметричной модели на расстояниях менее одной а.е..

В докладе представлено дальнейшее развитие стационарной МГД – модели магнитной трубы. В рамках предположения об осевой симметрии удаётся качественно описать трубу на всех гелиоцентрических расстояниях, и установить условия на полюсах Солнца, приводящие к её формированию по мере удаления от Солнца: локальный максимум плотности плазмы и наличие околополюсных нейтральных поверхностей магнитного поля.

1. Khabarova O.V., H.V. Malova, R.A. Kislov, L.M. Zelenyi, V.N. Obridko, A.F. Kharshiladze, M. Tokumaru , J.M. Sokół, S. Grzedzielski, and K.Fujiki, High-latitude conic current sheets in the solar wind, The Astrophysical Journal, 836:108 (14pp) 2017, doi: 10.3847/1538-4357/836/1/108.

РАЗНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВАКУУМЕ В ВИДЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ, ФОТОНА, ЭЛЕКТРОНА И ДРУГИХ ЧАСТИЦ

А.И. Лаптухов

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

При расчёте структуры одной элементарной частицы в пустом пространстве мы сталкиваемся с необходимостью описания электромагнитного (ЭМ) поля с помощью не двух, а четырёх векторов **E** и , также как и в обычной среде. Ведь внутри объёма электрона *e* или протона *p* мы имеем не вакуум, а среду с очень высокой плотностью электрического заряда и тока. Такие параметры среды внутри протона, как плотности энергии, импульса, заряда и тока, величины полей , **E** и сильно отличаются от соответствующих величин внутри электрона, поэтому состояния ЭМ поля внутри протона и электрона разные, с разными связями между векторами поля , **E** и , которые в макроскопической электродинамике принято называть «материальными» уравнениями, кстати, разными для разных сред. В работе [1] изложена и обоснована коррекция наших представлений об ЭМ поле в вакууме, т.е. для условий, когда плотность заряда и тока строго равны нулю. Показано, что и в таких условиях в общем случае ЭМ поле описывается не двумя, а четырьмя векторами , **E** и При этом общеизвестные уравнения Максвелла для ЭМ полей **E** и при новом подходе являются точным, но лишь частным случаем описания ЭМ поля в состоянии ЭМ волн, для которых верны простейшие связи **E** и
В этом случае уравнения Максвелла сводятся к волновому уравнению, которое описывает волны, но не описывает фотоны. Для описания фотона – сгустка ЭМ поля, распространяющегося в вакууме подобно частице строго в одном направлении (в отличие от ЭМ волны, которая распространяется от места своего рождения во всех направлениях) нужны другие нелинейные связи, т.е. нужно другое состояние ЭМ поля. В статье [1], исходя только из фундаментальных законов сохранения, найдены эти связи для фотонов и получены аналитические решения, описывающие разнообразные структуры фотонов – компактных сгустков ЭМ поля с конечной энергией, распространяющихся в вакууме со скоростью $c \cong 3 \cdot 10^8$ м/с строго только в одном каком-либо направлении и именно поэтому сохраняющие свою энергию и способность вызывать фотоэффект и рассеиваться подобно частице в Комптон эффекте на любых расстояниях от места своего рождения. Это главное и важное отличие фотона от ЭМ волны. Для электронов, протонов и других частиц тоже есть свои иные нелинейные связи [1] между векторами **E** и , есть своё состояние ЭМ поля, своя нелинейная электродинамика внутри объёма элементарной частицы. По сути дела, речь идёт о новой электродинамике [1-4], способной правильно описывать ЭМ процессы везде, в том числе и внутри объёма протона, электрона, других частиц, ядер, атомов, звёзд и галактик.

Корректную во всех отношениях физику Солнца можно надеяться построить только на основе корректных электродинамик электрона и протона, учёт которых позволяет уточнить (не изменить) наши представления, в том числе, и о процессе выделения энергии в ядерных реакциях, если учесть существование в ядре Солнца квазинейтронов [3,4]. Существование в природе квазинейтрона (*ep*) (энергия связи которого ~10 кэв [3,4]) можно легко обосновать, но только в рамках теории [2-4], способной описать структуру электрона.

Литература

1. Лаптухов А.И. Электродинамика фотона и его структура как сгустка одного из многих возможных состояний электромагнитного поля// ЖТФ, 2017. Т. 87. №10. С.1466-1474..
2. Лаптухов А.И. Электродинамика и динамика неточечных частиц – новая физика микромира. Тровант. М. 2007. С.64.
3. Лаптухов А.И. // Инженерная физика. 2012. №4. С. 20-30.
4. Лаптухов А.И. // Инженерная физика. 2014. №9. С.9-16.

ТЕПЛОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТОКОВОГО СЛОЯ КАК ТРИГГЕР СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Леденцов Л.С., Сомов Б.В.

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

С целью интерпретации современных спутниковых наблюдений последовательного увеличения яркости отдельных корональных петель в солнечных вспышках мы решили задачу об устойчивости малых продольных возмущений однородного пересоединяющего токового слоя в МГД приближении. Условием неустойчивости служит эффективное подавление теплопроводности плазмы возмущением магнитного поля внутри слоя. Неустойчивость в линейной фазе нарастет за характерное время лучистого охлаждения плазмы. 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 быть полезен для объяснения последовательного увеличения яркости, "поджига", вспышечных петель на Солнце.

1. Леденцов Л.С., Сомов Б.В. // ПАЖ 2016. Т. **42.** С. 925.
2. Леденцов Л.С., Сомов Б.В. // ЖЭТФ 2017. Т. **152**. С. 405.

О ВЫДЕЛЕНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОНЧ СИГНАЛА ПРИ НАЛИЧИИ АКСИАЛЬНО ИЗОТРОПНОЙ ПОМЕХИ

Б.В. Лундин

ИЗМИРАН, г.о. Троицк, г. Москва, Россия, lundin.bv@gmail.com

При использовании данных многокомпонентной регистрации электромагнитных полей в приземной плазме существенной проблемой является определение природы естественных сигналов и выделение на фоне помех параметров сигналов удаленных передатчиков. Задача не имеет корректного решения без дополнительных допущений о возможных спектрально-временных характеристиках совместно регистрируемых излучений различной природы. Одним из известных подходов к анализу данных является построение спектральных матриц, при этом последующая обработка проводится при допущениях, что для ряда событий возможно представление регистрируемых сигналов в виде бесконечного ряда некоррелированных между собой плоских волн одного мода фоновой магнитоактивной плазмы (например, электронного свистового мода) достигающих приемника с различных направлений [1].

Одна из диагностических возможностей электронных свистовых волн соответствует смене формы эллипса поляризации магнитного поля при прохождении вдоль луча значения локальной ионной плазменной частоты через частоту волнового пакета, где эллипс поляризации становится окружностью. Подобный эффект будет мало заметен в плотной плазме, где изначально эксцентриситет эллипса мал. Другой помехой для диагностики будет наличие в зоне регистрации волн со всевозможными ориентациями плоскостей поляризации поля (или волновых векторов). Таким образом вычитание из суммарной спектральной матрицы азимутально изотропной части могло бы способствовать выделению матрицы основного волнового пакета и более точному определению значения ионной плазменной частоты. В процессе вычисления спектральных матриц необходимо варьировать время усреднения, так как заранее не известно на каких интервалах времени может проявиться некоррелированность компонент шума в зоне регистрации.

Рассмотрен случай, когда суммарная спектральная матрица близка к сумме матрицы плоской волны с произвольной ориентацией волнового вектора и матрицы шумов азимутально симметричной относительно направления внешнего магнитного поля (сравни [2]). Указана схема преобразований координат, позволяющая вычислить ориентацию волнового вектора и поляризационные параметры магнитного поля плоской волны.

1. Storey L.R.O., Lefeuvre F. // Space Res. 1974. V. **14.** P. 381.
2. Воевудский В.П., Лундин Б.В. // Геомагнетизм и аэрономия. 1984. Т. **24**. С. 58.

О НЕАДЕКВАТНОСТИ ОНЧ УЗКОПОЛОСНЫХ ПРИЕМНИКОВ ЗАДАЧАМ РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ПРИ ИХ ИНЖЕКЦИИ В ИОНОСФЕРУ ПРИ АКТИВНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Б.В. Лундин

ИЗМИРАН, г.о. Троицк, г. Москва, Россия, lundin.bv@gmail.com

Для реализации физически ясной интерпретации результатов активных экспериментов по излучению волн электронного свистового мода электронными пучками в ионосфере требуется для каждого сеанса инжекции электронов согласовывать взаимное расположение электронной пушки на борту КА, удаленного приемника ОНЧ излучения и его спектральных характеристик. Авторами [1] проиллюстрировано, что выявляемые особенности естественных свистовых сигналов с переменной частотой весьма чувствительны к характеристикам регистрирующей аппаратуры и/или выбору параметров последующей спектральной обработки.

Для типичных параметров активных экспериментов в ионосфере не является «бесконечно узкой» ширина частотного спектра гармоник, формирующих свистовые импульсы, переносящие энергию с групповой скоростью от зоны генерации пучком до удаленного приемника. Более того, собственная ширина спектра свистового импульса (уменьшаясь с удалением от оси пучка) на расстояниях нескольких десятков километров от оси пучка вполне может перекрывать весь ОНЧ диапазон (~ 30 кГц) [2]. Следует отметить, что при излучении свистовых волн на различных циклотронных резонансах собственная ширина частотного спектра свистового импульса существенно зависит от номера резонанса. К тому же, излучение на Черенковском резонансе от переднего фронта пучка не формирует конуса Маха (в отличие от других резонансов) с повышенной амплитудой сигнала вблизи него; часть свистового излучения на Черенковском резонансе распространяется в узком конусе, опережая передний фронт электронного пучка. Для выявления деталей свистового излучения пучка желательно, чтобы с учетом анизотропии групповой скорости электронных свистов число «каналов облучения приемника» (от различных резонансов) было ограничено до минимума выбором взаимного расположения приемника и электронной пушки. Следует подчеркнуть еще раз, что для приемника с фильтрами более узкими, чем собственная ширина спектра свистового импульса, неуместными становятся оценки «по групповой скорости» пространственных зон засветки свистовым излучением и его регистрируемой интенсивности, так как такой приемник регистрирует лишь отдельные Фурье гармоники спектра излучения. Достаточно простые аналитические оценки обсуждаемых параметров получены в так называемом квазипродольном приближении для электронных свистовых волн в плотной плазме.

1. Gendrin R., Villedary C. // Ann. Telecom. 1979. V. **35.** P. 122.
2. Krafft C., Lundin B. // Europhys. Lett. 1995. V. **31.** P. 579.

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ КИНЕТИЧЕСКИХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ПЛАЗМЕННЫХ ВОЛН В УСЛОВИЯХ ДВОЙНОГО ПЛАЗМЕННОГО РЕЗОНАНСА В ЛАБОРАТОРНОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ

Мансфельд Д.А., Викторов М.Е., Голубев С.В., Зайцев В.В.

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mansfeld@yandex.ru

Исследованы процессы возбуждения плазменных волн в условиях двойного плазменного резонанса в неравновесной плазме, создаваемой мощным СВЧ излучением и удерживаемой в открытой магнитной ловушке. Экспериментально обнаружены два различных динамических режима кинетической неустойчивости: помимо режима генерации квазипериодических серий коротких (~50 нс) импульсов излучения обнаружен новый сценарий развития неустойчивости в виде генерации одиночного импульса большой (~25 мкс) длительности с медленно меняющейся частотой в окрестности второй гармоники электронной гирочастоты в центре ловушки. Показано, что наблюдаемые в эксперименте динамические режимы генерации плазменных волн могут возникнуть при конкуренции процессов возбуждения волн и их индуцированного рассеяния и переход от квазистационарной генерации к импульсно-периодической определяется отношением энергии неравновесных частиц и температуры фоновой плазмы В дальнейшем исследованные механизмы планируется применить для объяснения похожих явлений в космосе, например, последовательностей импульсов различной длительности в спектрах радиоизлучения солнечных вспышек IV типа.

СИСТЕМА КИНЕТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

О.В. Мингалев[1], И.В. Мингалев[1], Х.В. Малова[2,3], Л.М. Зеленый[3]

[1] *Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, mingalev_o@pgia.ru*

[2] *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва*

[3] *Институт космических исследований РАН, Москва*

Получена система кинетических уравнений, которая описывает достаточно медленные крупномасштабные процессы в бесстолкновительных магнитоплазменных структурах с пространственным разрешением порядка характерного гирорадиуса тепловых протонов и учитывает силовое равновесие электронов вдоль линий магнитного поля. В этой системе плазма считается квазинейтральной, магнитное поле определяется уравнением Ампера, продольная часть электрического поля уравновешивается продольной частью дивергенции тензора давления электронов, а ортогональная часть электрического поля определяются текущими распределениями концентрации, плотности тока и тензора напряжений всех плазменных компонент в приближении мгновенного дальнодействия из систем уравнений эллиптического типа, которые не содержат производных по времени. При выводе этой системы используется условие квазинейтральности, уравнения Фарадея и уравнения Ампера, а также уравнение для полной плотности тока, которое получается суммированием вытекающих из уравнений Власова гидродинамических уравнений потока импульса для каждой компоненты плазмы.

Получен вариант системы уравнений для случая замагниченных электронов, описываемых уравнением Власова в дрейфовом приближении, когда их пространство скоростей является 2-мерным, что существенно экономит вычислительные ресурсы при численном моделировании.

Полученные системы уравнений позволяют разрабатывать как глобальную численную кинетическую модель земной магнитосферы с разрешением по пространству около 100 км, так и локальные модели отдельных областей земной магнитосферы с еще более высоким разрешением.

Для полученных систем уравнений предложен новый метод численного интегрирования, который удобен для проведения параллельных вычислений на графических процессорах, и сочетает достоинства метода крупных частиц и сеточных методов, но свободен от их недостатков. Результаты представленной работы создают теоретические и методические предпосылки для детального моделирования широкого круга актуальных задач физики бесстолкновительной магнитосферной плазмы с использованием полученной системы уравнений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-01-00100.

СОГЛАСОВАННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ТОКОВ ПРИ РАЗВИТИИ ВЕЙБЕЛЕВСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ДВУХТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ

Нечаев А.А.[1], **Бородачёв Л.В.**[2], **Гарасёв М.А.**[1], **Коломиец Д.О.**[2], **Кочаровский Вл.В.**[1], **Мартьянов В.Ю.**[3]

[1]*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, ant.a.nech@gmail.com*
[2]*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
[3]*Intel Corp., Chandler, USA*

Нелинейная стадия вейбелевской неустойчивости исследована с использованием PIC-моделирования эволюции двухкомпонентной плазмы с сильной анизотропией температуры и одинаковыми начальными энергиями электронов и ионов [1, 2]. Для вычислений использовался код DARWIN [3, 4], в котором реализован метод частиц в ячейках в 5-мерном (2D3V) фазовом пространстве, построенный на основе безызлучательной модели динамики электромагнитных полей [5].

Расчеты проводились для двух отношений масс ионов (с зарядовым числом +1) и электронов: 36 и 100. Исходно частицы имели максвелловское распределение по каждой из проекций скорости, но с различными температурами вдоль и поперек оси z декартовых координат, причем большей являлась продольная температура. Моделирование проводилось в плоскости, ортогональной оси z, так что развитие неустойчивости приводило к формированию филаментов тока вдоль этой оси (результаты расчетов см. в [4]), а волновые вектора возмущений лежали в плоскости.

Проанализирована долговременная эволюция квазистационарного магнитного поля и филаментов тока, создаваемых сначала электронной, а потом совместно электронной и ионной фракциями. Обнаружено, что нарастание мелкомасштабных магнитных полей, созданных электронными токами вейбелевской неустойчивости, приводит к рассеянию ионов, уменьшая степень анизотропии их распределения по скоростям и подавляя развитие ионной неустойчивости. На стадии своего насыщения и нелинейного, по степенному закону, затухания эти поля могут индуцировать токи ионов, определяющие долговременную медленную эволюцию крупномасштабных возмущений.

Таким образом, со временем филаменты тока эволюционируют от мелкомасштабных электронных к крупномасштабным ионным, оставаясь направленными преимущественно вдоль оси z. На поздней стадии электроны становятся изотропизованными, и значительная их часть электронов оказывается замагничена, что исключает либо существенно задерживает ионную вейбелевскую неустойчивость, которая в противном случае могла бы развиться за счет сохраняющейся долгое время анизотропии температур ионов.

Работа Бородачёва Л.В. и Коломийца Д.О. поддержана РФФИ (проект 16–01–00690).

1. Weibel E. S. // Phys. Rev. Lett. 1959. V. 2. P. 83.
2. Бородачев Л. В., Гарасёв М. А., Коломиец Д. О., Кочаровский В. В., Мартьянов В. Ю., Нечаев А. А. // Изв. вузов. Радиофизика. 2016. Т. 59, № 12. С. 1107.
3. Borodachev L. V., Kolomiets D. O. // J. Plasma Physics. 2011. V. 77, Iss. 2. P. 277.
4. URL: http://www.darwincode.ru/results/ (дата последнего обращения: 12.01.18).
5. Бородачёв Л. В., Мингалев И. В., Мингалев О. В. Энциклопедия низкотемпературной плазмы Б. Т. 7. М.: Янус-К, 2008. С. 136.

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ СПЕКТРОВ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.М. Буринская, М.М. Шевелёв

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

В предыдущих исследованиях [1,2] нами было показано, что в формировании спектра аврорального километрового излучения (АКР) важную роль играет глобальная неоднородность магнитного поля Земли, причём наибольшую энергию набирают волны, рождающиеся с достаточно большой компонентой волнового вектора, направленной к Земле. Однако в этих работах расчеты были выполнены для волн с начальными волновыми векторами, лежащими в плоскости параллельной стенкам каверны плотности, в которой распространяется поток слаборелятивистских электронов. В настоящей работе мы сосредоточились на анализе поведения волн с волновыми векторами первоначально направленными перпендикулярно к краям каверны, так как именно такие волны имеют максимальный начальный инкремент неустойчивости. С использованием развитого нами вычислительного кода, позволяющего строить траектории распространения АКР в трёхмерном пространстве, были произведены расчёты для большого количества волн при различных значениях скорости потока электронов вдоль магнитного поля. Анализ траекторий и коэффициентов усиления показал, что волны, рождающиеся с больш*и*ми значениями компоненты волнового вектора, направленной перпендикулярно к краю каверны плотности, обладают двумя отличительными свойствами. Во-первых, спектральные характеристики волн, распространяющихся к южному и северному краям каверны, заметно отличаются, вследствие несимметричности каверны плотности, при этом с ростом продольной скорости потока электронов это отличие становится более выраженным. Во-вторых, эти волны набирают значительно меньше энергии по сравнению с волнами, первоначально распространяющимися к Земле, что объясняется их быстрым движением к краю каверны и выходу из условий, необходимых для усиления. Волны с небольшими значениями компоненты волнового вектора, направленной к краю каверны, дольше остаются вблизи её центра, где выполняются условия для их усиления. Таким образом, наиболее эффективным набор энергии оказывается для волн, первоначально распространяющихся к Земле, причем с ростом продольной скорости потока слаборелятивистских электронов наблюдается значительное уширение частотного диапазона волн, обладающих наибольшими коэффициентами усиления.

Литература

1. Буринская Т. М., М. М. Шевелев, Генерация аврорального километрового излучения в источнике конечных размеров в дипольном магнитном поле, Физика плазмы, т. 42, № 10, с. 884-890, 2016
2. Буринская Т.М., Шевелёв М.М., Генерация аврорального километрового излучения в источнике конечных размеров в дипольном магнитном поле – II, Физика Плазмы, т 43, №9, С. 1-6, 2017

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МГД УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ С ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ

Кузнецов В.Д., Осин А.И.

ИЗМИРАН, г.Москва, г.Троицк, kvd@izmiran.ru

В рамках анизотропной МГД бесстолкновительной плазмы с тепловыми потоками получены аналитические соотношения на ударной волне при ее распространении вдоль магнитного поля. Скачки плотности, скорости, давлений плазмы и тепловых потоков для двух типов ударной волны выражены как функции числа Маха и безразмерных параметров, характеризующих состояние плазмы перед ударной волной. Изучено влияние потока продольной тепловой энергии на свойства ударных волн.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННЫХ ТОКОВ, ИНДУЦИРОВАННЫХ СОЛИТОНАМИ

Ф.М. Трухачев, А.В. Томов, М.М. Могилевский, Д.В. Чугунин, Н.В. Герасименко

Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, ftru@mail.ru
Могилевский государственный университет, г. Могилев, Беларусь
Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

В работе [1] построена и подробно исследована МГД модель переноса зарядов электрическим полем ионно-звуковых и электронно-акустических солитонов в бесстолкновительной плазме. В частности, показано, что солитоны приводят к генерации электрических токов импульсного характера со значительной постоянной составляющей, сопоставимой по величине с токами, создаваемыми пучками заряженных частиц. Были рассчитаны требования к временному и пространственному разрешению измерительного оборудования, необходимого для регистрации солитонных токов. В [1] проанализированы токи, лишь, холодных популяций заряженных частиц. В [2] для анализа электронных токов, индуцируемых ионно-звуковых солитонами была использована модель с захваченными электронами. Отмечено, что ионно-звуковые солитоны, приводят к крупномасштабному одностороннему переносу всех популяций заряженных частиц.

В продолжение [1-2], в настоящей работе представлены результаты расчётов параметров как ионных, так и электронных токов, индуцированных ионно-звуковыми солитонами в бесстолкновительной плазме. В качестве базовой модели использована одномерная МГД модель плазмы с учетом захваченных электронов [3]. Рассчитаны, в частности, такие параметры как распределение частиц по скоростям, возможные магнитные проявления солитонных токов и другие параметры которые могут быть полезны при исследовании процессов в космосе. Проанализирован часто наблюдаемый на практике случай движения совокупности солитонов. Установлены постоянные составляющие токов, индуцированных каскадами солитонов. Показано, что электронные и ионные токи сопоставимы друг с другом по величине, однако есть и существенные отличия.

Результаты исследований будут полезны при анализе волновых явлений в космической плазме, а также при анализе процессов переноса.

.

Литература

1. Трухачев Ф.М., А.В. Томов. Электрические токи в плазме, индуцированные солитонами // Космические исследования, Том 54, №5, - 2016. – С. 377 – 383.
2. Трухачёв Ф.М., А.В. Томов, Электронные токи, индуцированные ионно-звуковыми солитонами в двухкомпонентной плазме // Сборник тезисов 12-й ежегодной конференции «Физика и плазмы в солнечной системе». 6-12 февраля 2017 г. Институт космических исследований. – Москва, 2017.- С. 202.
3. Гуревич А.В. Распределение захваченных частиц в потенциальной яме в отсутствие столкновений // ЖЭТФ, Том 53, № 3, - 1967. – С. 953 - 964.

О ФОРМЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ: ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ, ЭЛЕКТРОНЫ И ГАММА-ЧАСТИЦЫ В ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ

Туганов В.Ф.

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

Известно, что высокоэнергичные спектры гамма-излучающих электронов в грозовых разрядах [1, 2], будучи степенными (с показателем $\beta\approx 2.6\div 4.1$) для энергий $X>>10$ МэВ, обнаруживают, как правило, еще и максимум функции $J(X)$ при энергии $X_0>X_{min}$ - порядка нескольких МэВ. Поэтому при обработке наблюдаемых спектров их аппроксимируют простой, удовлетворяющей всем этим условиям функцией $J(\xi;\alpha,\beta)\propto exp(-\alpha/\xi)\times\xi^{-\beta}$, которая максимальна при $\xi_0=\alpha/\beta$ [1, 2]. Здесь параметры $\alpha>0$, $\beta>0$, а $\xi=X/<X>$ - энергия в долях среднего по спектру значения $<X>=D$ на одну частицу, которое, очевидно, существует по самой сути рассматриваемого объекта. Это ансамбль электронов, число которых, так же как и их энергия (импульс) – конечны. Формально же средняя энергия здесь существует хотя бы в силу того, что параметр $\beta>2$ ($\beta\approx 2.6\div 4.1$).

Чего, однако, не скажешь о дисперсии энергии σ^2 и коэффициенте ее вариации (вариация энергии) $d=\sigma^2/<X>^2$: они не определены, поскольку σ^2 – расходящаяся (на верхнем пределе) величина при $\beta\leq 3$. Дело не в том, что нижний предел интегрирования $\xi_{min}<\xi_0$ берется в пределе $\xi_{min}<<\xi_0$ и формально считают $\xi_{min}\sim 0$. Проблема использования функции $J(\xi;\alpha,\beta)$ при $\beta\leq 3$ иная: не выполняются необходимые ее условия: $\beta=\beta(d)=3+1/d\geq 3$, $\alpha=\beta-2$.

Поэтому для гамма-излучающих электронов с неизбежностью встает вопрос обрезания их спектров экспоненциальным фактором типа $exp(-b\xi)$, где $b>0$. Значит, в системе многих частиц с неизвестным законом их взаимодействия надо, не противореча науке (а в ней и искусству), найти не только соответствующий (этой функции $J(\xi;\alpha,\beta)$) интеграл столкновений (см. [3]), но и сам этот закон. Чтобы затем, - и это, вторая часть задачи, - изменить и этот закон, и интеграл столкновений так, чтобы к «перенормирумой» функции $J(\xi;\alpha,\beta)$ добавился тот самый экспоненциальный множитель. В целом это и составляет суть адекватно поставленной проблемы: являясь обратной тому, что обычно решает физическая кинетика, необходимо правильно и непротиворечиво описывать и исследуемые спектры, и динамику гамма-излучающих электронов в грозовых разрядах. Весь разброс показателя $\beta\approx 2.6\div 4.1$ тогда и можно будет задать этой динамикой: $\beta=\beta(d)$, а вариация d – изменяется.

Касается все это и такой же аппроксимации высокоэнергичных спектров ГКЛ $J(X)$ той же функцией $J(\xi;\alpha,\beta)\propto exp(-\alpha/\xi)\times\xi^{-\beta}$ (но с почти фиксированным показателем $\beta\approx 2.7\div 2.8$) для энергий X>>1÷10 ГэВ (см., например, [4]). Однако для ГКЛ все эти вопросы в принципе могут быть сняты существованием предельного значения энергии ξ_{max}, выше которого (при $\xi>\xi_{max}$) ГКЛ отсутствуют (предел Грейзена-Зацепина-Кузьмина), Естественно математика расчетов усложняется, но проблем принципиального характера не возникает.

1. Туганов В. Ф. // Международное совещание «Первые результаты проекта «Чибис-М». Представительство «Интеркосмос» ИКИ РАН. Таруса. 13–15.02.2013. СС. 46–49.

2. Туганов В. Ф. // Международная научно-техническая конференция. Академический микроспутник Чибис: Результаты, уроки, перспективы. ИКИ РАН, 03–07.02.2014. СС. 48-49.

3. Туганов В.Ф. // Девятая ежегодная конференция «ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ» ИКИ РАН. Сборник тезисов. М:. 10–14.02. 14 г. СС. 158-159

4. Крымский Г.Ф. и др. // Письма в ЖЭТФ 2015 Т. 102. СС. 372–379.

КРИТЕРИЙ "ЗАПУСКА" РАЗРЯДА В ТОКАМАКАХ (ГРОЗАХ) И ЭЛАСТИЧНОСТЬ МАЛОГО РАДИУСА "ШНУРА" ПО ТОКУ

Туганов В.Ф.

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

Известно, что электрическое поле в грозовых облаках никогда не достигает величин, необходимых для обычного разряда в атмосфере, поэтому предполагают, что электрическое поле E превышает пороговое значение E_b (в воздухе при атмосферном давлении, $E_b=23$ *кВ/см*) лишь в локальных зонах (например, в стволе лидера) [1].

Что, предполагает и вопрос: а не снижается ли, наоборот, само пороговое поле?

И поскольку снижение порога E_b важно и для токамаков, его исследуют на основе очевидной, но достаточно нелинейной системы уравнений [2]. Используемый при этом подход, значительно упрощая задачу, позволяет найти все пороговые параметры разряда: ток I, напряжение U (электрическое поле E), температуры электронов и ионов (Te и Ti) [3]. Причем определяются они состоянием, где стационарная ВАХ достигает условия $dI/dU=\infty$ или $(I/U)dU/dI = 1 + (I/\rho)\ d\rho/dI = 0$, откуда собственно и может произойти переход к большим значениям тока (формально $I\to\infty$). Здесь $\rho \propto 1/a^2T_e^{3/2}$ - сопротивление плазмы, a – малый радиус шнура, T_e – температура электронов.

Критерием адекватности и этого подхода, и сделанных при этом приближений может быть ответ на вопрос: почему из сотни подготовленных к запуску разрядов успешно реализованы 10, максимум 20 попыток? [4]. Что, по-видимому, как раз и зависит от самой возможности реализовать это условие для «подъема» тока ($I\to\infty$).

Но ее может и не быть, если радиус $a=a(I)$ зависит, например, от тока I, а его «эластичность» по току $\Xi=(I/a)\ da/dI\geq 1/2$: критерий «запуска» разряда

$$(I/U)dU/dI = 1 - 2\Xi - 3/2\ (I/Te)\ dT_e/dI = 0 \qquad (1)$$

здесь заведомо не выполним. Ибо для джоулева нагрева плазмы, как и в случае $\Xi=0$, вполне допустимо условие $dT_e/dI>0$.

Зато при $\Xi<1/2$ все сведется к соответствующим изменениям пороговых параметров разряда, что были выявлены в [5]. В пренебрежении процессами, что заданы временем жизни плазмы ($\tau\to\infty$), связь между порогами температур плазмы примет тогда вид $T_e=3/2\cdot T_b/(1+\Xi)$. Что не сильно отличается от случая при $\Xi=0$, где так же предполагалось, некое постоянство температуры T_i ($dT_i/dI<<dT_e/dI$) и $T_i<T_e$ [5]. Зато пороговые значения напряжения U_b и тока I_b могут заметно снизиться: будучи пропорциональны фактору $(1-2\Xi)^{1/2}$, они при $\Xi\approx 1/2$ – будут ниже, чем при $\Xi=0$.

А поскольку такая «эластичность» $\Xi=1/2$, - да еще и неизменная в широком диапазоне тока I, - присуща, например, постоянной его плотности ($j=const$), то возникает ситуация, когда условие «подъема» тока (1), снижение его порога $I_b(\Xi)/I_b(0)=(1-2\Xi)^{1/2}<1$ и порога напряжения $U_b(\Xi)/U_b(0)=(1+\Xi)(1-2\Xi)^{1/2}<1$, - все связано со значением Ξ близким к $1/2$.

1. Гуревич А.В. и др. // УФН 2009. Т. **179**, №7, С.779.
2. Lloyd B. at all // Plasma Physics and Controlled Fusion 1996. V. **38**. P. 1627.
3. Туганов В.Ф. // ВАНТ. Серия "Плазменная электроника" 2010. № **4** (68). С. 111-115.
4. Hyen-Tae Kim and EVDA-JET Contributors // Nucl. Fusion **52** (2012) 103016 (15 pp). P. 1.
5. Туганов В. Ф. // Международное совещание «Первые результаты проекта «Чибис-М». Представительство «Интеркосмос» ИКИ РАН, Таруса, Россия 13–15.02.13. с. 48–49.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОТНЫХ СВЕРХЗВУКОВЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ С МАГНИТНОЙ АРКОЙ ЗАПОЛНЕННОЙ ФОНОВОЙ ПЛАЗМОЙ

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

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

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, инжектировались в магнитное поле в форме изогнутой открытой магнитной ловушки – магнитной арки.

Показано, что при инжекции потоков плазмы поперек магнитного поля происходит торможение потока и его остановка в области, где динамическое давление потока плазмы равно магнитному давлению. Детально исследован спектр электромагнитного излучения на частотах 1-2 ГГц, возникающего при такой инжекции. Выяснено, что частота излучения не зависит от величины магнитного поля и концентрации плазмы. С помощью скоростной фотосъемки свечения разряда исследована динамика потока плазмы, инжектируемого поперек магнитного поля и показано, что плазма оказывает сильное влияние на распределение магнитного поля в магнитной арке.

Также в работе представлены первые результаты лабораторного экспериментального исследования особенностей взаимодействия сверхзвуковых потоков плазмы с заполненной плазмой магнитной аркой при последовательной инжекции плазменных потоков вдоль и поперек магнитных силовых линий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60056 мол_а_дк.

ДИФФУЗИЯ ЛЕНГМЮРОВСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ С ДЛИННОВОЛНОВЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ ПЛОТНОСТИ

Волокитин А.С., Краффт К.

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

Как известно, в плазме солнечного ветра присутствуют флуктуаций плотности достаточно высокого уровня $\delta n/n \geq 1 \div 3\%$, пространственный масштаб которых существенно превышает длины ленгмюровских волн, возбуждаемых электронными пучками в радиовсплесках III типа. Влияние этих флуктуаций на релаксацию пучка и спектр ленгмюровских волн в рамках одномерного рассмотрения, оказывается весьма существенным [1]. В реальной трехмерной ситуации при наличии флуктуаций плотности имеется дополнительный эффект, влияющий на спектр волн - угловое рассеяние волн на флуктуациях плотности и диффузия волн в пространстве волновых векторов. Этот оказывается важным и в лабораторной плазме при релаксации релятивистских электронных пучков [2]. В работе [2] предложен механизм уширения (диффузии) спектра волн в плазме с неоднородностями, согласно которому, диффузия спектра волн по волновым векторам происходит вследствие резонансного рассеяния волн на колебаниях плотности. Однако если частота колебаний плотности мала, то диффузия происходит главным образом по углу и её скорость мала.

Другой подход к рассмотрению диффузии волн состоит на рассмотрении движения квантов ленгмюровской волны в неоднородном поле, потенциал которого определяется частотой ленгмюровских волн, зависящей от координат в соответствии с флуктуациями плотности [3]. При этом динамика этого поля задается эволюцией звуковой турбулентности и носит случайный характер. Можно ожидать, что часть квантов будет в течение длительного времени оставаться захваченными в потенциальные ямки. Другие кванты с $kL \gg 1$ будут диффундировать в пространстве и пространстве волновых векторов, рассеиваясь на малые углы при выполнении условия резонанса. Третий тип эволюции - волны с $kL \leq 1$ будут испытывать частые отражения, но не захватываться, а совершать случайные блуждания. Простое рассмотрение таких блужданий приводит к степенной зависимости коэффициента диффузии в пространстве волновых векторов D_{kk} от интенсивности флуктуаций плотности $\Delta N=(<\delta n^{2>})^{1/2}$, $D_{kk} \sim (\delta k)^2/\tau \sim \Delta N^{1/2}$. Случайные блуждания квантов в двух- и трехмерном случае может приводить к формированию сетки каустик, подобно при распространении света в случайно-неоднородной плазме [4].

Данная картина подтверждается при численном решении несамосогласованных уравнений Захарова в двумерном случае области с периодическими граничными условиями в среде с внешними колебаниями плотности плазмы, длина которых значительно превышает характерные длины ленгмюровских волн. Размеры области моделирования достигали нескольких десятков тысяч дебаевских длин λ_D. Начальное распределение ф луктуаций плотности задавалось в виде гауссовского пакета волн со случайными фазами и характерные длины неоднородности п лотности составляли $200 \div 500\lambda_D$. Начальное распределение ленгмюровских волн представляло пакет волн со случайными фазами с характерными значениями волновых векторов $k\lambda_D=0.01 \div 0.1$. Сравнение скоростей роста средних по спектру квадратов волновых векторов $K_{\|}^2$ и $K_{\perp}^2$ согласуется с полученной оценкой и значительно расходится с оценкой по резонансной диффузии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №16-52-16010 НЦНИЛ_а..

1. Krafft C., Volokitin A. S., Krasnoselskikh V.V.// The Astrophysical Journal, 2013, 778, 111.
2. Nishikawa K., Ryutov D.D. // J. Phys. Soc. Jpn., 1976, 41, 1757-1765
3. Кадомцев, Б. Б., Вопросы теории плазмы, М. Атомиздат, 1964, 4, 188—339
4. Кляцкин В. И., Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах М."Наука", 1980

ЭФФЕКТ ФОКУСИРОВКИ ВОЛН В ПЛАЗМЕ С МЕЛКОМАСШТАБНЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ ПЛОТНОСТИ

Волокитин А.С., Атаманюк Б.

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

В ионосферной плазме иногда наблюдаются флуктуации плотности, сильно вытянутые вдоль магнитного поля. Мелкомастабная филаментация плотности плазмы может развиваться в результате неустойчивости продольных электрических токов [1] или филаментационной неустойчивости волн циклотронных волн в ионосфере [2]. Наличие таких неоднородностей плазмы может сказываться на свойствах распространения волн, поперечная длина волны $\lambda_\perp$ которых существенно превышает характерный размер филаментации неоднородности. В частности, область плазмы, заполненная мелкомасштабными неоднородностями может приобретать свойства линзы и приводить к фокусировке волны. Данной явление рассмотрено на примере эволюции ленгмюровской волны с λ□ в плазме в которой имеются мелкомасштабные возмущения плотности, сосредоточенные в области с характерным размером $L > \lambda_\perp$. В предположении малости амплитуд флуктуаций плотности $\delta n/n << 1$ вычислена эффективная диэлектрическая проницаемость слабонеоднородной плазмы. Проведенное на основе уравнений Захарова одномерное численное моделирование демонстрирует фокусировку широкого волнового пакета ленгмюровских волн в области с филаментацией плотности плазмы.

Фокусировка (или дефокусировка) волны в области с филаментацией плазмы носит общий характер, что иллюстрируется рассмотрением распространения электромагнитной волны типа вистлера в плазме содержащей квазистатические филаменты плотности. Аналогично случаю ленгмюровской волны вычислены нелинейные поправки к диэлектрическому тензору, учитывающие наличие вытянутых вдоль магнитного поля мелкомасштабных флуктуаций плотности. Таким образом область плазмы, заполненную мелкомасштабными флуктуациями, можно рассматривать как обычную крупномасштабную неоднородность плазмы, исполняющую роль дакта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №16-52-16010 НЦНИЛ_а..

1. Galperin Yu., Zelenyi L., Kuznetsova M. // Cosm. Res., XXIV, pp. 865-874, 1986
2. Stenflo L., Shukla P.K. //J.Geophysical Research: Space Physics, 1988, 93, 4115-4117

Турбулентность и хаос

КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ПРИРОДА КОМПАКТНЫХ ВНУТРИОБЛАЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Долгоносов М.С., Раков В.А., Киселев А.А., Готлиб В.М.

[1]*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия, cactus@iki.rssi.ru*

Среди всего многообразия проявлений молниевой активности компактные внутриоблачные разряды образуют особый класс событий грозового цикла. Определение «компактный» было дано этим разрядам благодаря их малой пространственной протяженности, оцениваемой в сотни метров. Излучение КВР в дальней зоне представляет собой одиночный короткий биполярный импульс электрического поля (Compact Intracloud discharge, CID - компактный внутриоблачный разряд) с характерной длительностью от 10 до 30 микросекунд, синхронный с ещё более коротким всплеском высокочастотного излучения, мощность которого на порядок величины превосходит мощность излучения при типичном разряде облако - земля и достигает десятков гигаватт. Последнее обстоятельство делает эти разряды самыми интенсивными естественными источниками радиоизлучения в ВЧ/ОВЧ диапазоне доступным для регистрации космическими экспериментами [1,2]. Несмотря на обширные экспериментальные исследования и теоретические оценки и построения, проведённые с момента открытия этого типа разрядов в 80-е годы прошлого века [3], на сегодняшний день КВР остается наиболее загадочным проявлением грозовой активности.

Более детальные экспериментальные наблюдения показывают, что основной ток разряда испытывает колебания с частотой порядка 1-2 МГц. Для объяснения этого явления была предложена модель [4–6], в основу которой заложено возможное свойство отражения электрического тока от «виртуальных» концов токового проводника. В данной работе будет предложено к рассмотрению экспериментальные данные регистрации компактных внутриоблачных разрядов, исследование динамических характеристик тока, а также возможная модель, объясняющая природу колебаний. Особое внимание будет уделено методам анализа экспериментальных данных, основанного на реализации методики CEEMDAN (Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise). Данная методика позволяет корректно определять мгновенную частоту колебаний для нестационарных процессов, а также проводить фильтрацию сигнала от шума с сохранением фазовых характеристик.

Работа выполнена при поддержке Российским научным фондом, проект № 17-12-01439.

1. Dolgonosov M.S. et al. Solitary’’ Trans-Ionospheric Pulse Pairs onboard of the microsatellite Chibis-M’’ // Adv. Sp. Res. 2015. Vol. 56. P. 1177–1184.
2. Zelenyi L.M. et al. The academic Chibis-M microsatellite // Cosm. Res. 2014. Vol. 52, № 2. P. 87–98.
3. Le Vine D.M. Sources of the strongest RF radiation from lightning // J. Geophys. Res. 1980. Vol. 85, № C7. P. 4091.
4. Nag A. et al. On phenomenology of compact intracloud lightning discharges // J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115, № D14. P. D14115.
5. Nag A., Rakov V.A. Compact intracloud lightning discharges: 1. Mechanism of electromagnetic radiation and modeling // J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115, № D20. P. D20102.
6. Nag A., Rakov V.A. Compact intracloud lightning discharges: 2. Estimation of electrical parameters // J. Geophys. Res. Atmos. 2010. Vol. 115, № 20.

REVIEWING GLOBAL SELF-SIMILARITY: DO EXTREME EVENTS BELONG TO THE SAME FAMILY AS THE OTHER EVENTS?

Milovanov A.V.

ENEA Centro Ricerche Frascati, Via Enrico Fermi, 45, I-00044 Frascati (Rome) Italy
Space Research Institute, Russian Academy Sci., Profsoyuznaya str. 84/32, 117997 Moscow, Russia

It is shown, following Sornette and Ouillon [Sornette, D., and Ouillon, G., 2012, Eur. Phys. J. Special Topics vol. 205, pp. 1-26] that extreme events in complex systems might not belong to the same population as the other events, and their forecasting by merely calibrating scales may be misleading. On the one hand, this casts doubts on the significance of theoretical models alluding to scale-free statistics such as self-organized criticality. On the other hand, it leads to very promising insights concerning the origin of extreme events (e.g. via an amplification process) and in some cases concerning their precursors. As an example, we discuss the possible mechanisms of extreme events in magnetic confinement systems, with an emphasis on their implication for extreme risks modeling and prediction in general.

Plasma beta control of transition between inertial and ion scales

Zdenek Nemecek (1), Jana Safrankova (1), Frantisek Nemec (1), Lubomir Prech (1), Georgy N. Zastenker (2), and Maria Riazantseva (2)

(1) Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, Czech Republic,
(2) Space Research Institute of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Measurements of the solar wind turbulent spectra in the vicinity of ion and electron plasma scales may clarify our understanding of the processes of dissipation (or dispersion) of the turbulent energy. A wide range of scales is predicted and observed: from the fluid regime where the MHD approximation can be used down to small scales that are controlled by kinetic effects. The power spectrum can be approximated with a power law within each particular scale and the transition from larger to smaller scales is distinctly seen as the increase of the exponent. The corresponding frequency is called the break frequency. The paper analyzes solar wind power spectra of density, bulk, and thermal speed fluctuations that are computed with a time resolution of 32 ms in the frequency range of 0.001–2 Hz and compares them with the power spectrum of magnetic fluctuations (using the data propagated from the Wind spacecraft). We discuss the break frequency between inertial and ion scales and show that this transition is controlled by the plasma beta.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕДИССИПАТИВНОГО БЫСТРОГО ДИНАМО

Жужома Е.В.

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

В 70-ых годах 20-ого века Я.Б. Зельдович предложил конструкцию так называемого веревочного динамо, которая в идейном плане легла в основу современных геометрических конструкций трехмерных моделей быстрого динамо. С точки зрения теории динамических систем конструкция Зельдовича представляет собой отображение полнотория в себя, и имеет положительную топологическую энтропию (то есть, это отображение хаотичное). Как отмечалось в [1] (см. обсуждение в гл. V), с точки зрения теории кинематического динамо указанная конструкция имеет существенный недостаток, состоящий в том, что предложенное отображение не является консервативным. В докладе мы приводим модификацию конструкции Зельдовича, лишенную этого недостатка в окрестности инвариантного множества. Показывается, что построенное отображение продолжается до диффеоморфизма 3-мерной сферы или евклидового пространства.

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда, проект 17-11-01041.

1. Арнольд В.И., Хесин Б.А. Топологические методы в гидродинамике. М., МЦНМО, **2007**.

ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТНОЙ СПИРАЛЬНОСТИ НА МАЛЫХ И БОЛЬШИХ МАСШТАБАХ В ДИНАМО-МОДЕЛИ КАЗАНЦЕВА

Юшков Е В Лукин А.С., Соколов Д.Д.

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

Мелкомасштабная модель Казанцева описывает самогенерацию магнитного поля, вмороженного в турбулентный поток проводящей жидкости. Несмотря на то, что условия вывода модели являются достаточно жесткими (неограниченная область, коротко-коррелированное течение, однородное случайное поле), она позволяет качественно судить о процессе самогенерации магнитного поля на масштабах много меньших корреляционной длины случайного поля скорости, а также получать оценки на критические числа Рейонольдса, при которых мелкомасштабная генерация вообще возможна. Однако, анализ спектральных свойств генерируемых полей показал, что разговор о величине масштабов является гораздо более тонким, чем кажется на первый взгляд, и, в частности, самогенерация возможна не только полей вблизи малых масштабов диссипации, но и самогенерация полей, характерные корреляционные размеры которых превышают энергетический масштаб поля скорости. В представляемой работе доказано утверждение, что наравне с мелкомасштабным процессом модель Казанцева описывает также и генерацию крупномасштабной компоненты, обладающей многими общими чертами к крупномасштабной-моделью Штеенбека-Краузе-Редлера. Продемонстрирована возможность самогенерации при докритических числах Рейнольдса, связанная как с поддержкой крупномасштабным динамо, так и с эффектом Зельдовича, то есть с локальным во времени и пространстве докритическим ростом магнитной энергии. Работа осуществлена в рамках проекта, поддержанного грантом РФФИ N 18-02-00085.