

## НАПРАВЛЕНИЕ 6. Магнитосфера.

Кураторы направления: Петрукович А.А. (ИКИ РАН), Демехов А.Г. (ИПФ РАН).

6.1	Проект 6.1: Низкочастотные электромагнитные волны и структуры в околоземной плазме	ИФЗ РАН	Похотелов О.А.
6.2	Проект 6.2: Сравнительный анализ взаимодействия высокоэнергичных заряженных частиц с различными волновыми модами в радиационных поясах Земли	ИКИ РАН	Шкляр Д.Р., Могилевский М.М.
6.3	Проект 6.3: Авроральные проявления возмущений баллонного типа в плазменном слое хвоста магнитосферы	ПГИ КНЦ РАН	Головчанская И.В.
6.4	Проект 6.4: Вторжения заряженных частиц в атмосферу Земли: взаимосвязь с геомагнитной активностью и волновыми явлениями в магнитосфере. Авроральное структурирование и связанные с ним явления в магнитосферно-ионосферной плазме	ПГИ КНЦ РАН	Яхнин А.Г., Козелов Б.В.
6.5	Проект 6.5: Исследования механизмов ускорения плазмы индукционными и потенциальными электрическими полями	ИКИ РАН	Зелёный Л.М.
6.6	Проект 6.6: Комплексное исследование околопланетных плазменных границ и физических процессов, определяющих их образование	ИКИ РАН	Веригин М.И.
6.7	Проект 6.7: Коллективные процессы в плазменном магнитосферном мазере и вблизи него	ИПФ РАН	Беспалов П.А., Демехов А.Г.
6.8	Проект 6.8: Формирование крупномасштабной магнитной структуры хвоста магнитосферы Земли в части компоненты магнитного поля ВУ	ИКИ РАН	Петрукович А.А., Григоренко Е.Е., Ковражкин Р.А.

### **Проект 6.1. Низкочастотные электромагнитные волны и структуры в околоземной плазме.**

**Аннотация.** Экспериментально обнаружены и теоретически исследованы новые типы электромагнитных структур в космической плазме и изучено их нелинейное взаимодействие.

#### **Введение**

Несмотря на большие достижения в солнечно-земной физике, в этой области остается ряд нерешенных проблем. Не изучены достаточно полно вопросы генерации в магнитосфере

разного типа волн и их нелинейных взаимодействий. Только в последние годы появились данные цифровой геомагнитной регистрации на достаточно широкой мировой сети станций, и были реализованы высокоточные многоспутниковые проекты, такие как CLUSTER и THEMIS. Совместный комплексный анализ этих экспериментальных данных практически только начат. В то же время для развития новых теоретических представлений необходима информация о закономерностях взаимосвязи различных геофизических явлений, как во время геомагнитных возмущений, так и в магнитоспокойное время.

### **Экспериментальные исследования**

Впервые обнаружены два вида необычных ОНЧ излучений в авроральных широтах на финской обс. Соданкюля ( $L \sim 5.5$ ) и российской обс. Ловозеро, расположенной на  $\sim 400$  км к востоку.

Первый вид нетипичных излучений – это всплеск шипений (хисс) в очень большой полосе частот ( $\sim 4-10$  кГц). В отличие от типичных авроральных шипений, эти ОНЧ шипения были левой поляризации и приходили к точкам наблюдений с юго-востока, а не с севера. Несмотря на то, что всплеск ОНЧ шипений совпал по времени с развитием суббури и появлением в зените ярких полярных сияний, перемещающихся с севера, возбуждение ОНЧ шипений не было связано с развитием сияний и суббури на данном меридиане. Высказано предположение, что генерация нетипичных ОНЧ шипений могла происходить значительно восточнее за счет циклотронной неустойчивости в области плазмопаузы, расположенной в это время согласно модельным расчетам на  $L \sim 3.5$ , где экваториальная электронная гирочастота ( $f_{He}$ ) составляет порядка 20 кГц. ОНЧ волны могли быть захвачены в дакт на плазмопаузе на частотах ниже половины  $f_{He}$ , и распространяться в волноводе Земля-ионосфера на большие расстояния как лево-поляризованные волны.

Второй вид обнаруженных нетипичных ОНЧ-излучений – серия квазипериодических ОНЧ сигналов длительностью несколько минут каждый необычной грибообразной формы. При этом «шляпка гриба» (квази-шумовые всплески в полосе 2-3 кГц) была лево-поляризованной, а «ножка гриба» (1.0-1.8 кГц) – право-поляризованной. Это может быть проинтерпретировано как волноводное обрезание ОНЧ волн на частоте первого поперечного резонанса полости Земля-ионосфера (1.8-2.0 кГц). Временная последовательность появления «грибов» четко контролировалась геомагнитными пульсациями Pc5, наблюдаемыми одновременно на земной поверхности и спутнике THEMIS-E. Подобные квазипериодические вариации отношения холловской и

педерсеновской проводимости в это время регистрировались и на радаре EISCAT в Тромсё. Таким образом, грибообразная форма ОНЧ-излучений, по-видимому, есть результат совместного эффекта особенностей генерации ОНЧ-волн в магнитосфере и их распространения в волноводе Земля-ионосфера.

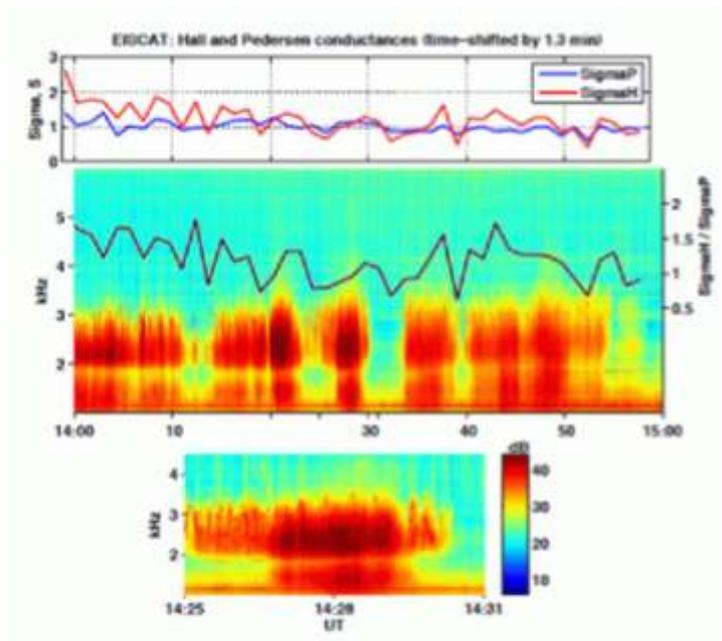


Рис. 1. «Грибы» в наземных наблюдениях ОНЧ сигналов.

- (a) – Данные EISCAT: Холловская и Педерсеновская проводимости;
- (b) – ОНЧ спектр и отношение Холл/Педерсен проводимостей (сплошная черная);
- (c) – Развернутая спектрограмма одного ОНЧ-«гриба».

Также экспериментально исследована и теоретически объяснена связь ширины частотного спектра геомагнитных пульсаций Pc1 с магнитосферными параметрами.

Анализ спектрограмм наземных наблюдений Pc1 на скандинавской сети индукционных магнитометров IMAGE в 2005–2010 гг. показал, что более, чем в 90% случаев, в магнитоспокойных условиях ( $K_p < 2$ ) пульсации Pc1 наблюдались в узкой частотной полосе порядка 0.2–0.4 Гц с центральной частотой колебаний в серии  $f \sim 0.5–0.7$  Гц.

В более возмущенных условиях (при  $K_p \sim 2–3$ ) центральная частота Pc1 колебаний была почти вдвое выше ( $\sim 1.0–1.2$  Гц), а ширина спектра составляла  $\sim 0.5–0.7$  Гц.

Получено аналитическое выражение для связи ширины частотного спектра Pc1 колебаний с магнитосферными параметрами и показано, что:

- а) в формулу для инкремента  $\gamma$  входит важный магнитосферный параметр  $(V_A/U_{||})$  – отношение альфвеновской скорости к средней скорости энергичных протонов вдоль силовой линии, который существенно влияет на ширину частотного спектра;
- б) при уменьшении параметра  $(V_A/U_{||})$  или нормированной оптимальной частоты  $x_0 = \omega_{opt}/\Omega_i = V_A/U_{||}$  соответствующей максимуму инкремента, нормированная ширина частотного спектра Pc1 уменьшается,
- в) с увеличением анизотропии  $A$ , при фиксированном значении параметра  $(V_A/U_{||})$  нормированная ширина частотного спектра Pc1 также уменьшается.

### **Теоретические исследования**

Исследована модификация магнитосферной плазмы из-за пондеромоторных сил ионно-циклотронных волн (пульсаций диапазона Pc1) вне полуденной меридиональной плоскости магнитосферы. Рассмотрено влияние пондеромоторных сил, вызванных геомагнитными пульсациями, на изменение плотности плазмы вне полуденной меридиональной плоскости магнитосферы. Показано, что эффект этих сил приводит к повышению плотности (сгущению) плазмы в областях магнитосферы вне полуденного сектора и на высоких широтах. Рассчитана зависимость возмущения нормированной массовой плотности плазмы вне полуденной меридиональной плоскости от различных параметров магнитосферы.

Исследованы нелинейные структуры бездисперсионных альвеновских волн в плазме произвольного давления. В отличие от ранее исследованных альвеновских вихрей с характерным поперечным масштабом, сравнимым с ионным ларморовским радиусом или электронной скин-длиной, найдены новые вихревые структуры с масштабами существенно большими размеров, определяющих дисперсию. Показано, что они представляют собой вихревые нити, вытянутые вдоль внешнего магнитного поля и имеющие вид монополярных, дипольных или мультиполярных вихрей. Исследована структура скорости, магнитного и продольного электрического полей в плоскости, ортогональной внешнему магнитному полю. Структуры могут быть идентифицированы в существующих наблюдениях как следы быстро вращающихся вихрей магнитного поля в солнечной атмосфере.

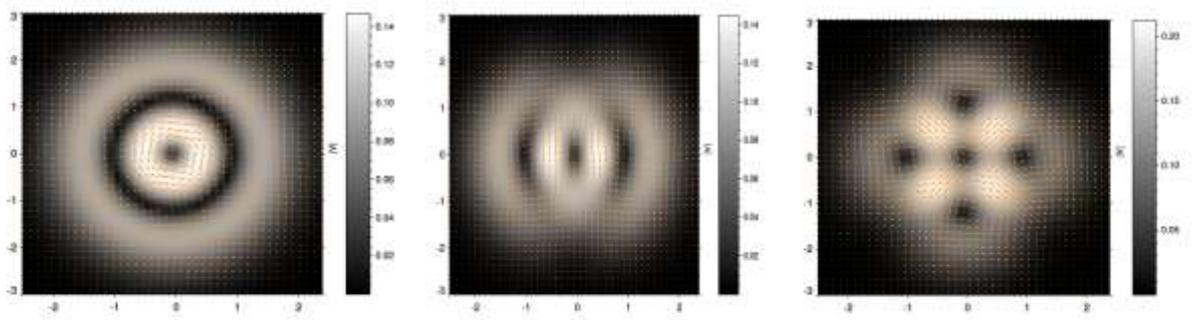


Рис. 2. Поля скоростей (и/или магнитного поля) аксиально-симметричного, дипольного и квадрупольного альфвеновских вихрей.

Понимание масштабируемой природы вихревых движений в космической плазме обеспечивает уникальное проникновение внутрь связи крупно– и мелкомасштабных структур в атмосфере Солнца. Гигантские торнадо, наблюдаемые аналоги крупномасштабных вихревых движений, недавно наблюдались как вращающиеся стойки крупномасштабных протуберантных структур. Считается, что они сформированы схожим путём, как и вызванные вихрями мелкомасштабные магнитные торнадо, и они часто связаны с запуском извержения протуберанцев в гелиосферу. Крупномасштабные вихревые движения могут играть важную роль в динамике солнечной переходной области. Сходство с мелкомасштабными вихревыми движениями представлено в измерениях доплеровских скоростей (именно,  $\pm 6$  км/с) между соседними стойками ряда неподвижных протуберанцев. Координатные наземные и пространственные (space-based) наблюдения другого гигантского торнадо также показывает похожие структуры доплеровских скоростей (показывающие вращение в структурах) внутри стоек протуберанца, хотя с большими средними доплеровскими скоростями  $\pm 25$  км/с. Однако ещё не ясно, действительно ли гигантские торнадо вращаются как вихри с центральной осью, или это движение — представление потоков вдоль стабильных геликальных магнитных структур. В будущем возможно будет пространственно идентифицировать различные колебательные моды в гигантских торнадо в достаточных деталях, используя настоящие и будущие возможности солнечной визуализации для того, чтобы подтвердить наличие бездисперсионных альфвеновских волн в крупномасштабных вихревых структурах, как выведено выше.

**Руководитель проекта: Похотелов Олег Александрович**, дфмн, профессор, ИФЗ РАН, pokh@ifz.ru, 8-499-254-8805.

**Состав группы:** Клейменова Наталья Георгиевна, Онищенко Олег Григорьевич, Фейгин Феликс Зеликович, Хабазин Юрий Григорьевич, Малышева Людмила Михайловна.

### Публикации

1. **Н.Г. Клейменова**, Ю. Маннинен, Л.И. Громова, Т. Турунен, Ю.В. Федоренко, А.С. Никитенко, Зелинский Н.Р., С.В. Громов. Условия в солнечном ветре и магнитосфере во время всплеска нетипичных ОНЧ шипений (08 декабря 2013) //Геомагнетизм и Аэрономия, Т. 55, № 3, с. 323–332, 2015.
2. J. Manninen, **N. G. Kleimenova**, A. Kozlovsky, I. A. Kornilov, L.I.Gromova, Yu.V.Fedorenko, T. Turunen. Strange VLF bursts in northern Scandinavia: case study of the afternoon “mushroom-like” hiss on 8 December 2013 // Ann. Geophys., 33, 991–995, 2015 doi:10.5194/angeo-33-991-2015
3. **O. G. Onishchenko, O. A. Pokhotelov**, W. Horton, E. Scullion, V. Fedun, Large-Scale Alfvén vortices, Physics Plasmas (in press), 2015.
4. S. K. Litt, A. S. Bains, A. I. Smolyakov, **O. G. Onishchenko, and O. A. Pokhotelov**, Nonlinear spreading of Farley-Buneman waves, Physics Plasmas (in press), 2015.
5. **O. Onishchenko, O. Pokhotelov**, W. Horton, and V. Fedun, Dust devil vortex generation from convective cells, Ann. Geophys., 33, 1343–1347, 2015, doi:10.5194/angeo-33-1343-2015
6. **О.Г. Онищенко, О.А. Похотелов**, Н.М. Астафьева, Конвективные ячейки внутренних гравитационных волн в окрестности мезопаузы, Геофизические Исследования, 2015, том 16, № 3, с.5-11
7. A.K. Nekrasov, **F.Z. Feygin**, Modification of the magnetospheric plasma in outside of the noon meridional plane due to ponderomotive forces by ion–cyclotron waves, Astrophys Space Sci., 2015, 359, 18, DOI 10.1007/s10509-015-2467-4.
8. **Ф. З. Фейгин, Ю. Г. Хабазин, Н. Г. Клейменова, Л. М. Малышева**, Т. Раита, Ширина частотного спектра геомагнитных пульсаций Pc1 в спокойных и возмущенных условиях, Геомагнетизм и аэрономия, 2015, том 55, № 2, с. 196–202

### Труды конференций и рабочих групп:

1. **Feygin F.Z., Malysheva L.M., Kleimenova N.G., Khabazin Yu.G.** Geomagnetic Pc1 pulsation behavior depending on solar activity //Proc. Seventh Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", ISSN 2367-7570 Sunny Beach, Bulgaria, 1-5 June 2015, p. 33-36.
2. **N.G. Kleimenova** Post-storm high-latitude geomagnetic Pc5 pulsations and VLF emissions as a result of solar wind disturbances //Proc. Seventh Workshop "Solar Influences on the

Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere" ISSN 2367-7570, Sunny Beach, Bulgaria, 1-5 June 2015. P. 45-48.

3. I.V. Despirak, A.A. Lubchich, **N.G. Kleimenova** Comparison of substorms during two solar cycles maximum: (1999-2000 and 2012-2013) //Proc. Seventh Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere" ISSN 2367-7570, Sunny Beach, Bulgaria, 1-5 June 2015, p. 49-52.

4. **F.Z. Feygin, N.G. Kleimenova, Yu.G. Khabazin, L.M. Malysheva.** Latitude behavior of Pc1 geomagnetic pulsations in the declining and minimum of the 24-th solar activity cycle // Proc. 38-th Ann.Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 02-06 March, 2015.

5. J. Manninen, **N.G. Kleimenova**, T. Turunen. Strange VLF events at auroral latitudes // Proc. 38-th Ann.Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 02-06 March, 2015.

6. I.V. Despirak, A.A. Lubchich, **N.G. Kleimenova.** Three types of substorms depending on the solar wind and IMF conditions// Proc. 38-th Ann.Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 02-06 March, 2015.

## **Проект 6.2. Сравнительный анализ взаимодействия высокоэнергичных заряженных частиц с различными волновыми модами в радиационных поясах Земли.**

### **Тема 6.2.1. Взаимодействие энергичных протонов с квази-электростатическими свистовыми волнами большой амплитуды в магнитосфере.**

В 2015 были начаты работы по анализу взаимодействия энергичных протонов кольцевого тока с квази-электростатическими свистовыми волнами большой амплитуды, о которых впервые сообщалось в работе Cattell, C., et al. (2008), Discovery of very large amplitude whistler-mode waves in Earth's radiation belts, Geophys. Res. Lett., 35, L01105, doi:10.1029/2007GL032009. По данным спутников Van Allen Probes были отобраны случаи наблюдения указанных волн большой амплитуды, и найдены соответствующие данные по потокам протонов по данным спутников POES. Был разработан механизм взаимодействия энергичных электронов с широким спектром квази-электростатических свистовых волн большой амплитуды в неоднородной плазме и показано, что данное взаимодействие не описывается классической квазилинейной теорией. В 2016 году планируется завершить начатое исследование. В этом исследовании принимают участие Е.Е. Титова и Д.Р. Шкляр.

### **Тема 6.2.2. Релятивистское ускорение с поворотом при взаимодействии с монохроматическими свистовыми волнами, распространяющимися под углом к геомагнитному полю.**

Одно из наиболее интересных явлений, связанных с резонансным взаимодействием свистовых волн с электронами релятивистских энергий – так называемое релятивистское ускорение с поворотом. Резонансное условие для таких электронов содержит Лоренц-фактор, благодаря чему в некоторой точке траектории продольный резонансный импульс может обратиться в нуль, что соответствует повороту захваченной частицы. При взаимодействии с волнами, распространяющимися вдоль геомагнитного поля, это явление приводит к более эффективному ускорению захваченных частиц. (Этот процесс, который правильно было бы назвать «ростом энергии частицы», традиционно называют «ускорением»). Построена теория резонансного взаимодействия вблизи точки поворота с волнами, распространяющимися под углом к геомагнитному полю. Показано, что для случая, когда источник волн находится вблизи земли (молниевые разряды, сигналы ОНЧ передатчиков) амплитуда резонансного взаимодействия «устроена» таким образом, что после поворота частицы выходят из захвата. В этом случае релятивистское ускорение с поворотом не приводит к более эффективному набору энергии захваченных частиц. Планируется провести численные расчёты для эволюции функции распределения частиц, сравнить набор энергии для различных резонансов. В этом исследовании принимают участие И.В. Кузичев и Д.Р. Шкляр.

### **Тема 6.2.3. Авроральное километровое излучение и его связь с процессами в магнитосфере.**

В 2015 году средства для выполнения работ по проекту выделены не были. Поэтому работы проводились на инициативной основе, но в "глеющем" режиме.

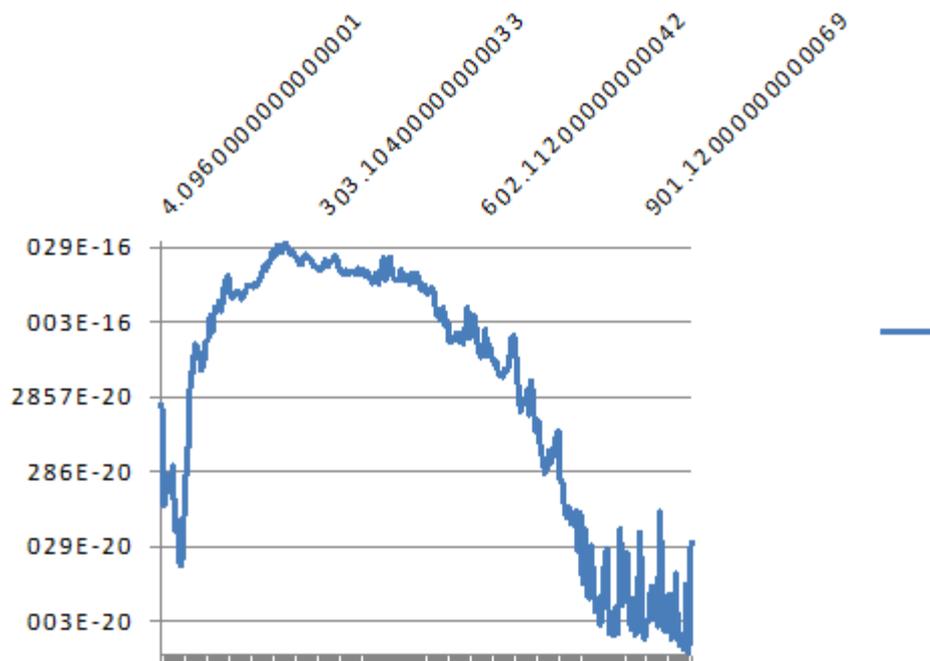


Рис. 1. Пример спектра АКР, зарегистрированного 22 ноября 1997 года на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 в интервале 5:40-6:37 UT.

Изначально задача на 2015 год была связана с определением характеристик силовой трубки магнитного поля, опирающейся на авроральную ионосферу. Во второй половине прошлого века сложилось мнение, что авроральная ионосфера представляет собой "экран" на который проецируются события в хвосте магнитосферы. Однако прямые измерения параметров плазмы и электромагнитных полей в авроральной области показали, что это не так, и что процессы в силовой трубке весьма активны. Большую роль в понимании процессов на высоких широтах сыграли одновременные измерения на двух парах спутников проекта ИНТЕРБОЛ. По результатам измерений в хвосте магнитосферы было показано (Milovanov et al., 2001), что фрактальная геометрия перколяции токовых систем имеет фрактальный размер  $d \sim 1,66$  и индекс связности  $i \sim 0,5$ . В E-слое авроральной ионосферы (A. Chernyshov et al.)  $d \sim 1,38$  и  $i \sim 0,09$ . Мы использовали свойства АКР для определения изменений свойств плазмы в силовой трубке магнитного поля в авроральной области. Были отобраны интервалы, в которые наблюдалось стационарное АКР в течение нескольких десятков минут (стационарное АКР). Пример спектра такого излучения приведен на рис. 1.

Чтобы проследить эволюцию свойств плазмы в зависимости от высоты, мы исследовали спектр флуктуаций АКР на различных частотах, что соответствует высотному разрезу. Наклон спектра флуктуаций связан с фрактальными характеристиками плазмы в области

генерации. На рис. 2 приведен пример изменения наклона спектра флуктуаций в зависимости от частоты 22 ноября 1997 года.

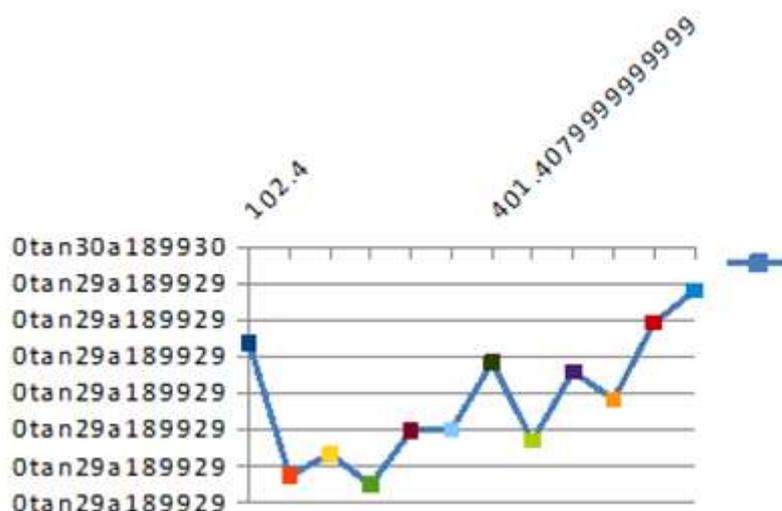


Рис. 2.

Первая точка на частоте 102,4 кГц, по-видимому, ошибочная, поскольку на малых частотах наблюдаются многочисленные помехи от наземных передатчиков (см. рис. 1).

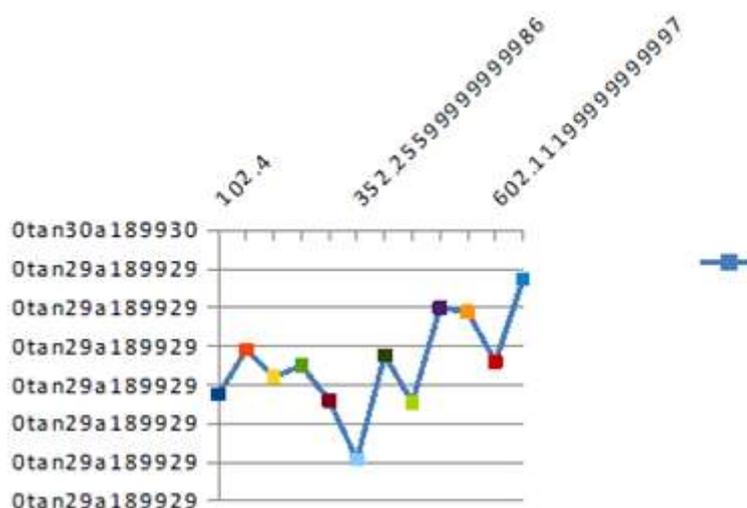


Рис. 3. Эволюция флуктуаций в зависимости от частоты (высоты) 13.10.1997.

Из рис. 2 и рис. 3 следует, что действительно спектр флуктуаций изменяется с высотой – на меньших высотах он более крутой, а на больших – более пологий. Это качественно согласуется с результатами ранее проведенных работ. Однако большая изменчивость спектров указывает на необходимость применения статистических методов обработки. Это будет возможно после аналогичной обработки большого массива данных. Эта работа планируется на 2016 год.

**Руководители проекта:** Шкляр Д.Р., Могилевский М.М.

**Состав группы:** Е.Е. Титова, И.В. Кузичев, Д.И. Вавилов, М.А. Евдокимова, А.А.Чернышов, И.Л.Моисеенко.

**В 2015 году проект не финансировался.**

### **Проект 6.3. Авроральные проявления возмущений баллонного типа в плазменном слое хвоста магнитосферы.**

С использованием сопряженных оптических и спутниковых наблюдений рассмотрены E-W события перехода к взрывной фазе суббури [Mend et al., 2011], в которых все авроральные проявления, предшествующие брейкапу, включая уярчения на полярной кромке овала (polar boundary intensifications, PBIs) за 30-40 мин до  $T_0$  (момент начала экспансии сияний к полюсу), отщепляющиеся от PBIs и распространяющиеся к экватору авроральные структуры, предбрейкаповую дугу и дуги, появляющиеся вблизи неё после её интенсификации, ориентированы исключительно под малыми углами к магнитному направлению восток-запад (E-W) (рис. 1).

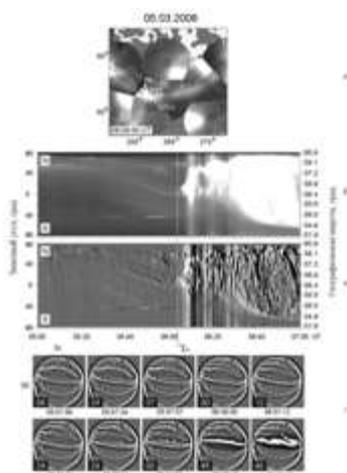


Рис. 1. E-W событие перехода к взрывной фазе суббури 05.03.2008 ( $T_0 = 06:04:00$ ) по авроральным данным станций наземной поддержки спутников THEMIS: (а) мозаика, (б) исходная кеограмма (в) фильтрованная кеограмма и (г) характерные all-sky изображения по наблюдениям на станции Gillam.

Показано, что сопряженные низкочастотные возмущения в плазменном слое хвоста магнитосферы при этом обнаруживают flapping (рис. 2) и, следовательно, казалось бы, отражают полоидальные структуры (возмущения в  $v_r$ ,  $B_r$ ,  $E_y$ ), генерируемые баллонной неустойчивостью [Liu, 1997; Pritchett and Coroniti, 2010, 2011] (рис.3).

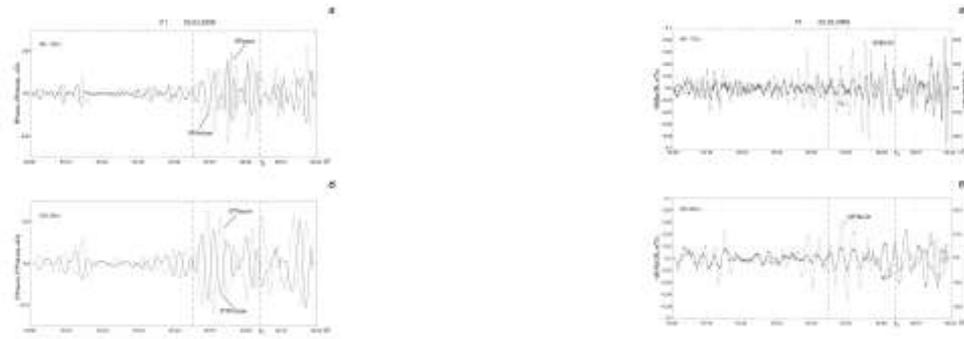


Рис. 2. Flapping в сопряженных наблюдениях спутника ТНВ (P1): (слева) антикорреляция возмущений магнитного и плазменного давлений, (справа) корреляция производной по времени от возмущения продольной компоненты магнитного поля с возмущениями радиальной скорости

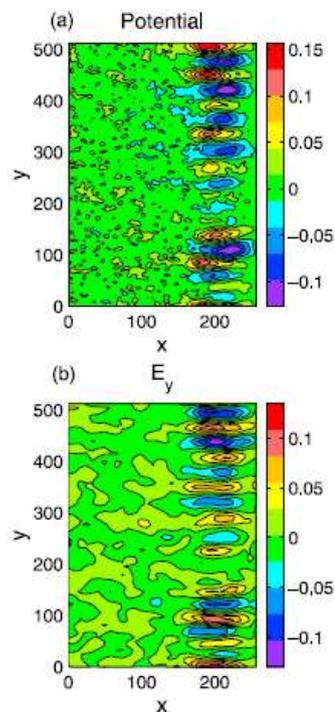


Рис. 3. Полоидальные возмущения потенциала и электрического поля  $E_y$ , генерируемые баллонно-перестановочной неустойчивостью, согласно результатам моделирования [Pritchett and Coroniti, 2010].

Однако авроральными проявлениями полоидальных структур являются авроральные стримеры или другие N-S формы, которые не наблюдаются в E-W событиях (рис.1) – в моменты наблюдений наиболее интенсивных возмущений типа flapping ионосферные проекции спутников ТНВ (P1), ТНС (P2) и ТНЕ (P4) попадают в область структур, наклоненных под небольшим углом к направлению E-W и распространяющихся от полярной кромки овала к экватору (рис.4).

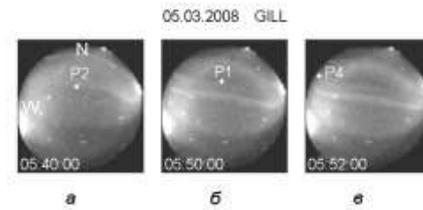


Рис. 4. Ионосферные проекции спутников (а) ТНС (P2), (б) ТНВ (P1) и (в) ТНЕ (P4), согласно модели магнитного поля T96, в моменты наблюдения ими интенсивных возмущений типа flapping.

Это противоречие удаётся разрешить обнаружением в спутниковых данных тороидальной компоненты возмущений ( $v_y$ ,  $B_y$ ,  $E_r$ ), амплитуда которых в 2-2.5 раза превышает полоидальную. Это видно, например, из сравнения азимутальной компоненты возмущенной скорости  $v_y$  (рис. 5) с её радиальной компонентой, показанной на правых панелях рис.2.

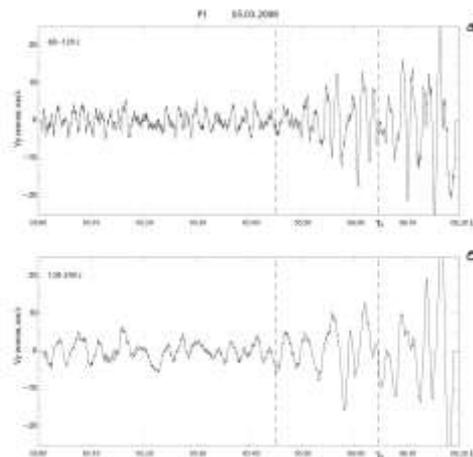


Рис.5. Тороидальная компонента скорости  $v_y$  в сопряженных наблюдениях спутника ТНВ (P1).

Таким образом, возмущения являются преимущественно тороидальными, что соответствует сопряженным авроральным наблюдениям, и хорошо согласуются с транзитными тороидальными волнами [Takahashi et al., 1996]. Эти волны могут наблюдаться в течение нескольких десятков минут и являются преимущественно (но не в точности) тороидальными.

Установленный экспериментальный факт делает актуальным поиск механизмов преимущественно тороидальных возмущений в плазменном слое хвоста магнитосферы перед переходом к взрывной фазе суббури в E-W событиях.

Одним из возможных механизмов, рассмотренным в [Golovhsanskaya et al., 2015], являются распространяющиеся баллонные волны, фронты которых наклонены под малыми углами к E-W направлению. Авторами показано, что дисперсионное уравнение баллонных волн приближённо выполняется для наблюдаемых частот, поперечных длин волн и ориентации фронтов возмущений, а также при разумных предположениях относительно продольной длины волны.

**Руководитель проекта:** Головчанская И.В. ПГИ КНЦ РАН.

#### **Публикации с благодарностью Программе № 9:**

1. Golovchanskaya I.V., Kornilov I.A., Kornilova T.A. East–west type precursor activity prior to the auroral onset: ground-based and THEMIS observations // J. Geophys. Res. -2015. – V.120, doi:10.1002/2014JA020081.
2. Корнилов И.А., Корнилова Т.А., Головчанская И.В. Физическая природа авроральных предвестников брейкапа по наблюдениям события 5 марта 2008 г. // Геомагнетизм и аэрномия. -2015.– Т. 55, № 2, С. 222-230.

**Проект 6.4. Вторжения заряженных частиц в атмосферу Земли: взаимосвязь с геомагнитной активностью и волновыми явлениями в магнитосфере. Авроральное структурирование и связанные с ним явления в магнитосферно-ионосферной плазме**

#### **Тема 6.4.1. Планетарная картина ионных высыпаний.**

**Аннотация.** По данным спутников DMSP F6 и F7 исследованы характеристики ионных высыпаний во всех секторах местного геомагнитного времени (MLT). На основе полученных в процессе исследования результатов создана модели ионных высыпаний, которая при заданном уровне магнитной активности получить планетарное распределение характеристик высыпающихся ионов. Проведено исследование сравнительных характеристик ионных и электронных высыпаний в различных секторах MLT. Модель ионных высыпаний использована для расчета давления плазмы на высотах ионосферы. С использованием модели ионных высыпаний и созданной нами ранее модели электронных

высыпаний рассчитано планетарное распределение интегральной проводимостей ионосферы в зависимости от уровня магнитной активности.

Для изучения характеристик ионных высыпаний использована база данных спутников DMSP F6 и F7, которая содержит более 32000 пересечений спутниками зон авроральных высыпаний в северном и южном полушариях. Характеристики ионов изучались внутри границ различных типов авроральных высыпаний, которые ранее [Старков и др., 2002] были разбиты на три основные зоны: (1) *DAZ* – область диффузных высыпаний, (2) *AOP* – область структурированных электронных высыпаний, приполюсная и экваториальная границы которой статистически совпадают с границами овала сияний; (3) *SDP* – область диффузных высыпаний полюснее *AOP*.

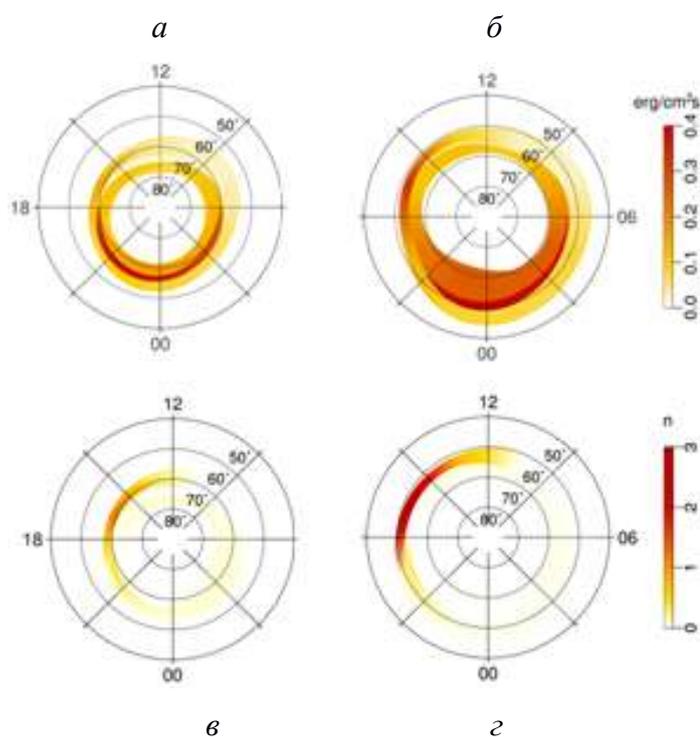


Рис. 1.

Верхняя панель рис. 1 иллюстрирует планетарное распределение потоков энергии ионов при низком (*a*), ( $AL=-200$  нТл,  $Dst=-5$  нТл) и высоком (*б*), ( $AL=-1000$  нТл,  $Dst=-50$  нТл) уровне магнитной активности. Величину потоков энергии показывает цветная вертикальная шкала в правой части рисунка. На нижней панели рис. 1 показано планетарное распределение отношения потока энергии электронов к потоку энергии ионов ( $F_i/F_e$ ). Из рисунка видно, что ионы авроральных энергий играют существенную роль только на экваториальном крае высыпаний в послеполуночном секторе, где величина отношения  $F_i/F_e$  достигает 3 в секторе 15:00-18:00 MLT.

Модель ионных высыпаний и созданная нами ранее модель электронных высыпаний позволяют рассчитать общее энерговыведение, производимое ионными ( $W_i$ ) и электронными ( $W_e$ ) высыпаниями в масштабе всего полушария.

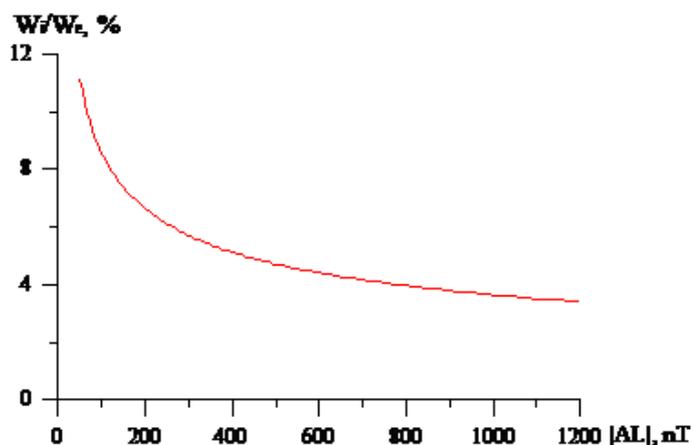


Рис. 2

Рис. 2 показывает величину отношения  $W_i/W_e$  в зависимости от уровня магнитной активности. Из рисунка видно, что вклад ионов в общее энерговыведение максимален при низком уровне магнитной активности и быстро уменьшается с ростом  $|AL|$ . Величина отношения  $W_i/W_e$  составляет ~11% в спокойных условиях и уменьшается до ~4% при  $|AL|=1000$  нТл.

#### **Публикация:**

Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е. Особенности планетарного распределения ионных высыпаний при разных уровнях магнитной активности // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 55. № 5. С. 611-622. 2015.

#### **Тема 6.4.2. Организация наблюдений полярных сияний в Апатитах.**

**Аннотация.** Организованы наблюдения полярных сияний на полигоне в Апатитах, налажен сбор и обработка данных. На основе наблюдений в течение двух зимних сезонов показано, что динамика полярных сияний во время суббурь (направление движения форм сияний с юга на север и наоборот) зависит от условий в солнечном ветре.

Апатиты расположены в авроральных широтах, их географические координаты: 67.58°N, 33.31°E, геомагнитные координаты – 63.86°N, 112.9°E. В зависимости от разных межпланетных условий суббуревые возмущения будут наблюдаться либо севернее, либо южнее Апатит, то есть при разных условиях будет наблюдаться то полярный край

суббулевой авроральной выпуклости, то экваториальный край выпуклости. Были проанализированы все суббулевые возмущения, которые наблюдались во время зимнего сезона 2012/2013. Характеристики солнечного ветра и ММП определялись по базе данных OMNI. Всего за период с октября 2012 по март 2013 было 4 магнитных облака и 6 высокоскоростных рекуррентных потоков. Некоторые из них вызвали геомагнитные бури. Во время развития бурь и спокойных условий all-sky камера зарегистрировала 37 суббурь (суббури и их интенсификации). Пример представлен на рисунке. Показано что существует 2 типа развития суббури в Апатитах, наблюдающиеся в разных межпланетных условиях. Показано, что первый тип суббури – движение сияний с юга на север – наблюдается при геомагнитных бурях ( $|Dst| > 40nT$ ), источником которых являются как MC, так и HSS. Второй тип развития суббури – движение сияний с севера на юг – наблюдается при спокойных условиях или на восстановительной фазе бури ( $|Dst| < 40nT$ ).

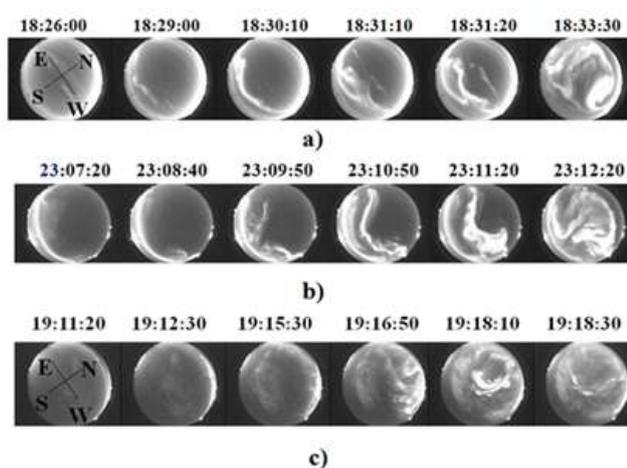


Рисунок. Динамика сияний по данным и all-sky камеры во время 3 суббурь: (а) для 1 суббури (18:26 – 18:33 UT), б) для 2 суббури (23:07-23:12 UT), в) для 3 суббури (19:11–19:18 UT).

#### Публикация:

V. Guineva, I. Despirak, B. Kozelov. Substorm observations in Apatity during 2012/13 winter season: a case study // *Sun and Geosphere* – 2015.-V.10. P. 79-88.

Руководители проекта Яхнин А.Г., Козелов Б.В. ПГИ КНЦ РАН

## Проект 6.5. Исследования механизмов ускорения плазмы индукционными и потенциальными электрическими полями.

**Тема 6.5.1.** Установлено, что токовые слои (ТС) с шировой компонентной магнитного поля могут формироваться в результате самосогласованной эволюции тонкого токового слоя при наличии некоторого начального возмущения в центре ТС.

Самосогласованное кинетическое моделирование тонких ТС в хвосте магнитосферы Земли показало, что при наличии небольшого возмущения шировой компоненты магнитного поля в центре слоя, ТС может эволюционировать к устойчивой токовой конфигурации с магнитным широм. Найдено два устойчивых состояния ТС, характеризуемых симметричным и антисимметричным пространственным распределением (в направлении нормали к ТС) шировой компоненты магнитного поля. Показано, что формирование таких токовых конфигураций происходит одновременно с усилением продольного тока в центре ТС, возникающего в результате асимметрии "север-юг" в отражении/преломлении квазиadiaбатических ионов при их взаимодействии с ТС (рис. 1). Также показано, что формирование равновесной токовой конфигурации с симметричным пространственным распределением шировой компоненты магнитного поля более вероятно при малых значениях нормальной компоненты магнитного поля.

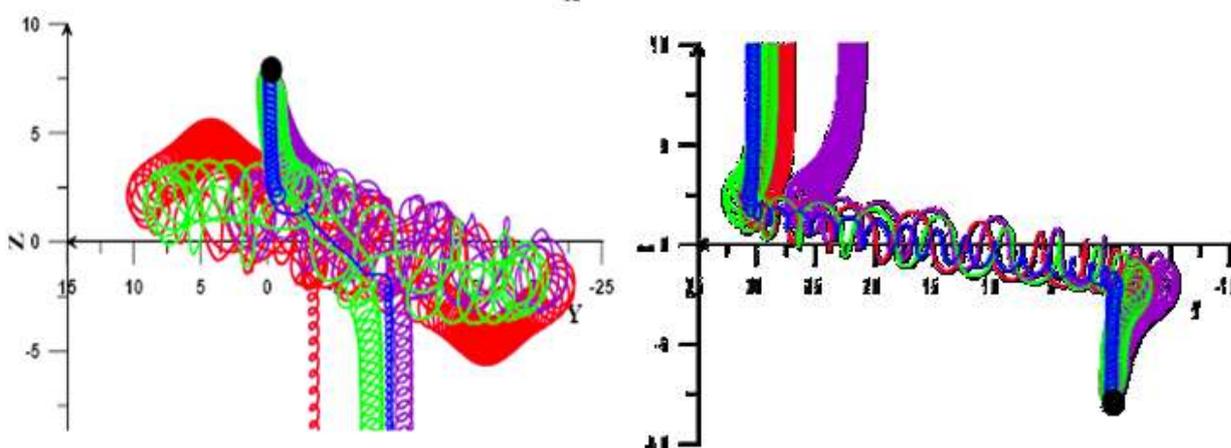


Рис. 1. Траектории тестовых ионов в ТС с шировой компонентой магнитного поля  $V_Y=0.8V_0$ , где  $V_0$  – магнитной поле на краях слоя (разный цвет траекторий соответствует различным pitch-углам влета ионов в ТС). Точка, из которой запускались ионы, показана черным кружком.

Видно, что из-за частичного замагничивания за счет присутствия в ТС поля  $V_Y$  значительная часть ионов, приходящих в ТС из северной полусферы, претерпевает рассеяние в ТС и отражается назад в северную полусферу. Напротив, ионы приходящие в

ТС из южной полусферы, проскакивают вдоль силовой линии практически без рассеяния и полностью инжектируются также в северную полусферу. В результате в северной полусфере имеет место избыток квазиadiaбатических ионов инжектированных из ТС, по сравнению с южной полусферой. Если поле  $V_y$  имеет противоположный знак, то избыток квазиadiaбатических ионов инжектированных из ТС наблюдается, наоборот, в южной полусфере.

**Публикация:**

1. Malova N.V., Mingalev O.V., Grigorenko E.E., Mingalev I.V., Melnik M.N., Popov V.Yu., Delcourt D.C., A.A. Petrukovich, Shen C., Rong D., Zelenyi L.M., Formation of self-organized shear structures in thin current sheets, J. Geophys. Res., Space Physics, 120, doi:10.1002/2014JA020974.2015

**Тема 6.5.2. Установлено существование очень тонких токовых слоев (с толщиной меньше протонного гирорадиуса) вблизи области магнитного пересоединения. Описаны их свойства и предложен механизм формирования.**

Многоспутниковые наблюдения Cluster в хвосте магнитосферы Земли позволили установить существование протяженных (радиальный размер много больше толщина слоя) ТС с толщиной меньше протонного гирорадиуса. Показано, что ток в таких слоях переносится электронами. Важным фактором в формировании таких слоев является анизотропия электронной температуры, возникающая за счет генерации в процессе магнитного пересоединения продольных (распространяющихся вдоль магнитного поля) электронных пучков.

**Публикация:**

L.M. Zelenyi, A.G. Frank, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich, Sub-ion current sheets: space observations and laboratory experiments, International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space (PELS2015), 23-28 August 2015, 2015.

**Руководитель проекта:** академик Зеленый Лев Матвеевич, Институт космических исследований РАН, [lzelenyi@iki.rssi.ru](mailto:lzelenyi@iki.rssi.ru)

**Состав группы:** Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., внс лаб 541, тел. 333-25-00, [hmalova@yandex.ru](mailto:hmalova@yandex.ru), Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., гл. спец. лаб 541, тел. 333-25-00,

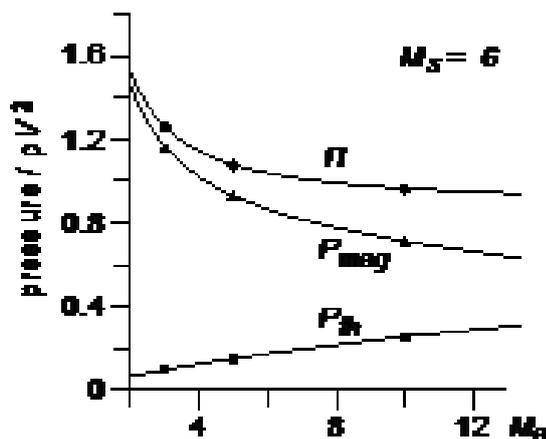
## Проект 6.6. Комплексное исследование околопланетных плазменных границ и физических процессов, определяющих их образование.

**Тема 6.6.1.** Начат анализ влияния параметров межпланетного магнитного поля на положение и форму магнитопаузы. С использованием результатов 3D МГД моделирования обтекания магнитопаузы солнечным ветром и аналитического решения МГД уравнений в Лагранжевых переменных построены аналитические выражения, описывающие полное  $\Pi$ , тепловое  $P_{th}$  и магнитное  $P_{mag}$  давления набегающего потока плазмы в точке его остановки:

*(формулы не отображаются по техническим причинам)*

где  $M_s$  и  $M_a$  – звуковое и Альвеновское числа Маха, соответственно,  $\alpha_{bv}$  – угол между направлениями солнечного ветра и межпланетного магнитного поля,

и  $\gamma$  – показатель адиабаты.



На рис. 1 показано соответствие приведенных выше аналитических выражений (сплошные кривые) результатам МГД моделирования.

С использованием решения уравнения Лапласа в эллипсоидальных координатах получено простое аппроксимирующее выражение для “фактора удвоения”  $f_d$  магнитного поля в подсолнечной точке геомагнитопаузы в зависимости от ее формы. Качественно объяснено

“быстрое” приближение к Земле и “затупление” магнитопаузы при росте южной компоненты ММП, и “медленное” перемещение магнитопаузы от Земли и “сужение” этой границы при росте северной компоненты ММП.

**Руководитель темы:** д.ф.-м.н., М.И. Веригин, [verigin@iki.rssi.ru](mailto:verigin@iki.rssi.ru)

**Публикация:**

Веригин М.И., Котова Г.А., Безруких В.В., Ремизов А.П., О влиянии  $V_u$  и  $V_z$  компонент ММП на положение и форму магнитопаузы: качественный анализ и сопоставление с наблюдениями спутников ИНТЕРБОЛ и ПРОГНОЗ, в сб., Десятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 16-20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, М., с. 109, 2015.

**Тема 6.6.2.** Проведены работы по анализу суточных  $f$ -графиков Якутской меридиональной цепочки ионозондов (Якутск – Жиганск – Батагай – Тикси) с резкими падениями (срывами) критической частоты ( $f_oF_2$ ) регулярного F2-слоя ионосферы. С помощью расчетов, выполненных по прогностической модели высокоширотной ионосферы, показано, что положение срывов критической частоты совпадает с экваториальной границей крупномасштабной конвекции плазмы в вечернем секторе местного магнитного времени. Проанализированы данные за 1968 – 1983 гг. и приведена статистика наблюдений срывов  $f_oF_2$ , показывающая, что они регистрируются, в основном, в равноденственные месяцы и в послеполуденные и вечерние часы при умеренно-возмущенных геомагнитных условиях.

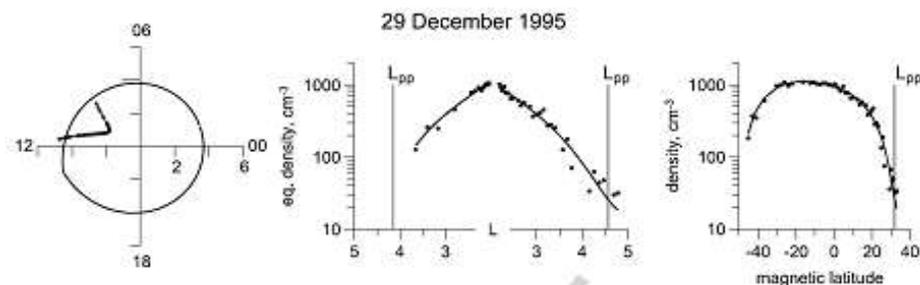
**Руководитель темы:** В.Л. Халипов, [khalipov@iki.rssi.ru](mailto:khalipov@iki.rssi.ru)

**Публикация:**

Первые результаты отражены в статье, подготовленной для журнала *Геомагнетизм и аэрономия*:

А.Е. Степанов, **В.Л. Халипов**, Г.А. Котова, М.С. Заболоцкий, И.А. Голиков, Ионосферные проявления крупномасштабной конвекции плазмы в магнитосфере в зависимости от уровня геомагнитной активности.

**Тема 6.6.3.** Разработан первый вариант основанной на физических принципах полуэмпирической трехмерной модели плотности протонов, позволяющей восстановить распределение плазмы во всей плазмосфере Земли для спокойных геомагнитных условий по измерениям заряженных частиц вдоль одной орбиты спутника. Модель основана на экспериментальных данных прибора АЛЬФА-3, работавшего на космическом аппарате *ИНТЕРБОЛ-1*, и теоретических выражениях, описывающих распределение плазмы в плазмосфере для случаев теплового равновесия и бесстолкновительного начального частичного заполнения плазмосферных оболочек.



В левой части рис. 1 в проекции на экваториальную плоскость показана одна из орбит ИНТЕРБОЛА-1, а в центре и справа – измеренная концентрация протонов (точки) в зависимости от параметра  $L$  и геомагнитной широты, соответственно. Модель имеет 6 свободных параметров, имеющих ясный физический смысл: 3 параметра описывают положение и форму плазмопаузы, 2 параметра описывают распределение плазмы в экваториальной плоскости вдоль одного выделенного направления и 1 параметр относится к степени заполненности плазмосферы. Оптимизацией этих параметров в 6-мерном конфигурационном пространстве обеспечивается наилучшее согласие модели (сплошная линия на центральной и правой панелях рис. 1) с результатами измерений.

**Руководитель темы:** к.ф.-м.н. Котова Г.А., [kotova@iki.rssi.ru](mailto:kotova@iki.rssi.ru)

**Публикация:**

G.A. Kotova, M.I. Verigin, V.V. Bezrukikh, Physics-Based Reconstruction of the 3D Density Distribution in the Entire Quiet Time Plasmasphere from Measurements along a Single Pass of an Orbiter, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2015JA021281, 2015.

**Тема 6.6.4.** По данным доплеровских измерений на Якутской меридиональной сети субавроральных ионосферных станций DPS-4 начаты исследования вертикальных дрейфов плазмы во время регистрации поляризационного джета (ПД) в слое F2

ионосферы. Показано, что в периоды наблюдения ПД скорости вертикальных дрейфов значительно выше, чем фоновые движения и достигают 50-150 м/сек. На полярной границе ионосферного провала происходит изменение направления движения ионосферной плазмы с восходящего на нисходящее. Рассмотрены вариации вертикальных дрейфов на различных фазах суббуревого возмущения. Эти измерения хорошо согласуются с синхронными измерениями дрейфов на спутниках DMSP.

**Руководитель темы:** В.Л. Халипов, [khalipov@iki.rssi.ru](mailto:khalipov@iki.rssi.ru)

#### **Публикации:**

Халипов В.Л., Степанов А.Е., Бондарь Е.Д., Вертикальные скорости дрейфа при наблюдении поляризационного джета по наземным ионосферным данным, в сб., Десятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 16-20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, М., с. 104, 2015.

В.Л. Халипов, А.Е. Степанов, Е.Д. Бондарь, Вертикальные скорости дрейфа при наблюдении поляризационного джета по наземным ионосферным данным, XXXVIII Апатитский Семинар "Физика авроральных явлений", 2 – 6 марта 2015 г.

#### **Другие публикации:**

В.Л. Халипов, А.Е. Степанов, Г.А. Котова, Е.Д. Бондарь, Совпадение экваториальной границы поляризационного джета и границы инжекции энергичных ионов во время суббурь, Труды 38 ежегодного семинара «Физика авроральных явлений», Апатиты, 169-172, 2015.

Котова Г.А., Веригин М.И., Безруких В.В., Моделирование 3-х мерного распределения плотности плазмы в плазмосфере Земли по измерениям на спутнике ИНТЕРБОЛ-1, в сб., Десятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 16-20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, М., с. 112, 2015.

В.Л. Халипов, А.Е. Степанов, Экваториальная граница диффузной авроральной зоны как естественная система координат для организации геофизических измерений, Доклад на Семинаре "Полярные сияния: их прошлое и будущее, на Земле и далеко за ее пределами", Дубна 28-29 ноября 2015 г.

В.Л. Халипов, А.Е. Степанов, Наблюдения дневного полярного каспа с авроральной станции б. Тикси, доклад на Семинаре "Полярные сияния: их прошлое и будущее, на Земле и далеко за ее пределами", Дубна, 28-29 ноября 2015г.

## **Проект 6.7. Коллективные процессы в плазменном магнитосферном мазере и вблизи него**

**Тема 6.7.1. Аннотация.** Отмечено, что искусственные геомагнитные пульсации от связанной с экваториальной токовой струей нелинейной антенны могут эффективнее высокоширотных станций влиять на режимы работы плазменного магнитосферного мазера в дневной субавроральной магнитосфере.

Рассмотрена возможность использования экваториальной токовой струи в низкоширотной полуденной ионосфере и связанного с ней ионосферного контура в качестве огромной нелинейной антенны, запитываемой амплитудно-модулированным излучением наземного коротковолнового нагревного станда. Геомагнитные пульсации от нелинейной антенны могут эффективнее высокоширотных станций влиять на режимы работы плазменного магнитосферного мазера в дневной субавроральной магнитосфере, обеспечивая резонансную модификацию спектров естественных электромагнитных излучений ОНЧ диапазона.

В качестве источника геомагнитных пульсаций сжатия в субавроральной магнитосфере предлагается использовать квазистатическое поле нелинейной антенны, запитываемой нагревным стандом в области экваториальной токовой струи в полуденной ионосфере. Через узкую область экваториальной токовой струи замыкается ток из огромной ионосферной токовой петли. При периодическом нагреве ионосферы в области экваториальной токовой струи за счет модуляции концентрации и температуры происходит модуляция ионосферного тока. Это создает заметные вариации геомагнитного поля вплоть до субавроральной магнитосферы.

Согласно теоретическим расчетам и известным экспериментальным данным на эффективность взаимодействия свистовых волн и энергичных частиц в электронных радиационных поясах Земли и соответственно на режимы работы плазменного магнитосферного мазера в дневной магнитосфере резонансно влияют геомагнитные пульсации сжатия, изменяющие величину локального геомагнитного поля в вершине магнитной трубки. Создать искусственные геомагнитные пульсации сжатия пытались многими способами, но пока это не получалось. В экспериментах на нагревном станде НААРР отмечалось возбуждение пакетов альвеновских волн на частоте модуляции. Однако это происходило в ночной субавроральной магнитосфере над ионосферными токовыми струями, и возбуждались поперечные альвеновские волны без заметной вариации полного геомагнитного поля. Возбуждение волн с поляризацией, близкой к

быстрым магнитозвуковым волнам, источниками на ионосферных высотах согласно выводам теории в волновой зоне малоэффективно.

Квазистатическое магнитное поле от модулированной за счет изменения электронной концентрации и температуры экваториальной токовой струи может эффективнее высокоширотных нагревных стенов влиять на режимы работы плазменного магнитосферного лазера в дневной субавроральной магнитосфере, обеспечивая резонансную модификацию спектров естественных электромагнитных излучений ОНЧ диапазона при характерном для естественных геомагнитных пульсаций относительном изменении геомагнитного поля в несколько сотых долей процента.

#### **Публикации:**

1. Беспалов П.А., Савина О.Н., Нелинейный отклик экваториальной токовой струи на внешние воздействия и его влияние на электромагнитные волны свистового диапазона в магнитосфере // Космические исследования. 2015. Т. 53. № 1. С. 79–84.
2. Bepalov P.A.; Savina O.N. Equatorial electrojet as a nonlinear ULF antenna for the short-wave heating facility // Advances in Space Research, 2015. V. 56, Issue 9. P. 1922-1926.

**Тема 6.7.2. Аннотация.** Продемонстрировано согласие свойств квазипериодических ОНЧ излучений, полученных при статистической обработке данных спутника DEMETER и по результатам самосогласованного моделирования

Проведено сопоставление наблюдательных данных о параметрах квазипериодических (QP) КНЧ/ОНЧ излучений, зарегистрированных на борту низкоорбитального спутника DEMETER, с результатами теоретического анализа. Для статистической обработки использованы данные за шесть лет, среди которых были визуально отобраны QP излучения с периодами более 10 секунд и полосой частот более 200 Гц.

Отобранные события регистрировались преимущественно на дневной части орбиты спутника во время спокойных геомагнитных условий, следующих за интервалами повышенной геомагнитной активности. QP излучения наблюдались в диапазоне частот от 500 Гц до 8 кГц и имели период повторения от 10 до 300 сек. Статистический анализ показал, что с ростом периода QP излучений наблюдается тенденция к уменьшению частотного дрейфа QP элементов, а также уменьшение интенсивности волн.

Проведено численное моделирование QP излучений на основе теоретической модели проточного циклотронного лазера. Моделирование проводилось для широкого набора параметров системы (таких как концентрация холодной плазмы, L-оболочка источника,

мощность источника энергичных частиц и др.). Результаты расчетов согласуются с основными тенденциями зависимостей параметров QR излучений, полученными из статистического анализа экспериментальных данных. На основе сопоставления теоретических и экспериментальных указаны типичные диапазоны параметров источника QR излучений, наблюдаемых на спутнике DEMETER.

**Руководители темы:** профессор Беспалов Петр Алексеевич, ИПФ РАН, [peter@appl.sci-  
nnov.ru](mailto:peter@appl.sci-<br/>nnov.ru), д.ф.-м.н. Демехов Андрей Геннадьевич, ИПФ РАН, [andrei@appl.sci-  
nnov.ru](mailto:andrei@appl.sci-<br/>nnov.ru)

**Публикация:**

Пасманик Д.Л., Демехов А.Г., Гайош М., Немец Ф., Сантолик О., Парро М.

Квазипериодические КНЧ/ОНЧ излучения, зарегистрированные на спутнике DEMETER: статистические свойства и теоретический анализ // Тез. докл. 10-й ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе» (Москва, ИКИ РАН, 16-20 февраля 2015 г.). С.132.

Статья готовится к публикации.

**Проект 6.8. Формирование крупномасштабной магнитной структуры хвоста магнитосферы Земли в части компоненты магнитного поля  $V_y$**

**Тема 6.8.1. Аннотация.** Установлен механизм формирования асимметричных пространственных распределений плотности тока в токовом слое (ТС) геомагнитного хвоста при наличии шировой компоненты магнитного поля.

На основе статистического анализа 17 интервалов пересечений ТС хвоста магнитосферы Земли спутниковым квартетом Cluster в которых наблюдался "колоколообразный" пространственный профиль шировой компоненты магнитного поля (максимальный шир наблюдался в нейтральной плоскости ТС) установлен механизм формирования асимметричных пространственных распределений плотности тока за счет асимметрии север-юг в отражении/преломлении траекторий неадиабатических ионов при их взаимодействии с ТС. Данный механизм подтвержден также кинетическим анализом траекторий тестовых ионов в магнитных конфигурациях ТС аналогичных наблюдаемым. Следующим этапом данной работы будет исследование пространственных профилей

плотности тока в слоях с замкнутыми магнитными конфигурациями типа плазмоедов, а также в слоях с пространственным распределением магнитного поля типа "ступенька".

**Руководитель темы:** д.ф.-м.н., внс Григоренко Елена Евгеньевна, Институт космических исследований РАН, [elenagrigenko2003@yandex.ru](mailto:elenagrigenko2003@yandex.ru)

**Состав группы:**

Малыхин Андрей Юрьевич, студ. лаб. 546, тел. 333-14-67, [anmaurdreg@gmail.com](mailto:anmaurdreg@gmail.com)

**Публикация:**

Е.Е. Григоренко, Х.В. Малова, А.Ю. Малыхин, Л.М. Зеленый, Возможный механизм усиления и поддержания сдвиговой компоненты магнитного поля в токовом слое хвоста магнитосферы Земли, Физика плазмы, т.41, №1, с. 92-106, 2015.

**Тема 6.8.2.** На основе имеющихся данных проекта Geotail сформирована база данных измерений компоненты  $V_y$  в моменты пересечений нейтрального слоя. К выборке добавлены данные по солнечному ветру. Эта база является дополнительной к ранее сформированной по тому же проекту, так как основана на другом критерии. Более ранняя база сформирована не по мгновенным пересечениям нейтрального слоя, а по усреднению в плазменном слое. Оба эти подхода ранее использовались и, как показано в данной работе, приводят к немного различным результатам по регрессии  $V_y$  в зависимости от ММП. Набор по нейтральному слою дает предпочтение измерениям при южном ММП (высокой геомагнитной активности, приводящей к частым пересечениям «нуля» в  $V_x$ ), а набор по плазменному слою – измерениям при северном ММП (толстый спокойный слой). В целом такое различие свидетельствует о важности формальных статистических критериев при построении эмпирических моделей (в данном случае – критерия статистической независимости используемых данных).

**Руководитель темы:** чл.-корр. РАН, зав.отд. Петрукович Анатолий Алексеевич., Институт космических исследований РАН, [apetruko@iki.rssi.ru](mailto:apetruko@iki.rssi.ru)