

**Итоговый отчет
о результатах работ по программе**

**П.14.1 «ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА СОЛНЦЕ, В ОКОЛОЗЕМНОМ
КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ»
за 2010-2012 гг.**

Основные результаты по проекту П.14.1.7

**«Геомагнитные и ионосферные исследования магнитосферно-
ионосферных процессов на авроральных и субавроральных широтах»
(руководитель – к.ф.-м.н. Д.Г. Баишев, ИКФИА СО РАН)**

В течение отчетного периода выполнен комплексный мониторинг геомагнитных и ионосферных процессов на Якутской меридиональной цепочке станций ($\lambda' \approx 190-210^\circ$) на авроральных и субавроральных широтах.

Результаты 2010-2009 гг.

1. Проведен анализ проявления магнитных возмущений, сопровождающих внезапный импульс (SI), в ОНЧ-излучении и поглощении космического радиошума по наблюдениям на L~3-8. Рассмотрены квазирегулярные геомагнитные пульсации в диапазоне Pc5 (рис. 1а) и внезапные авроральные активизации (SA) – (рис. 1б), в дневном и ночном секторах, соответственно. Обнаружено, что геомагнитные пульсации вызывают модуляцию потоков энергичных частиц, что проявляется в

генерации ОНЧ-излучения, высыпаниях частиц и в виде бухтообразного возмущения в геомагнитном поле на $L \sim 3$. SA в момент SI сопровождается всплеском поглощения на $L \sim 6-8$. Поглощение на $L \sim 3$ наблюдается после SI при дальнейшем сжатии магнитосферы, которому предшествовал интервал с отрицательной северо-южной Vz-компонентой межпланетного магнитного поля (ММП). Предполагается, что высыпания энергичных частиц в дневном секторе во время SI могут быть обусловлены ускорением частиц электрическим полем волновых возмущений в магнитосфере. В ночном секторе влияние оказывает электрическое поле утро-вечер, проникающее из межпланетной среды в магнитосферу.

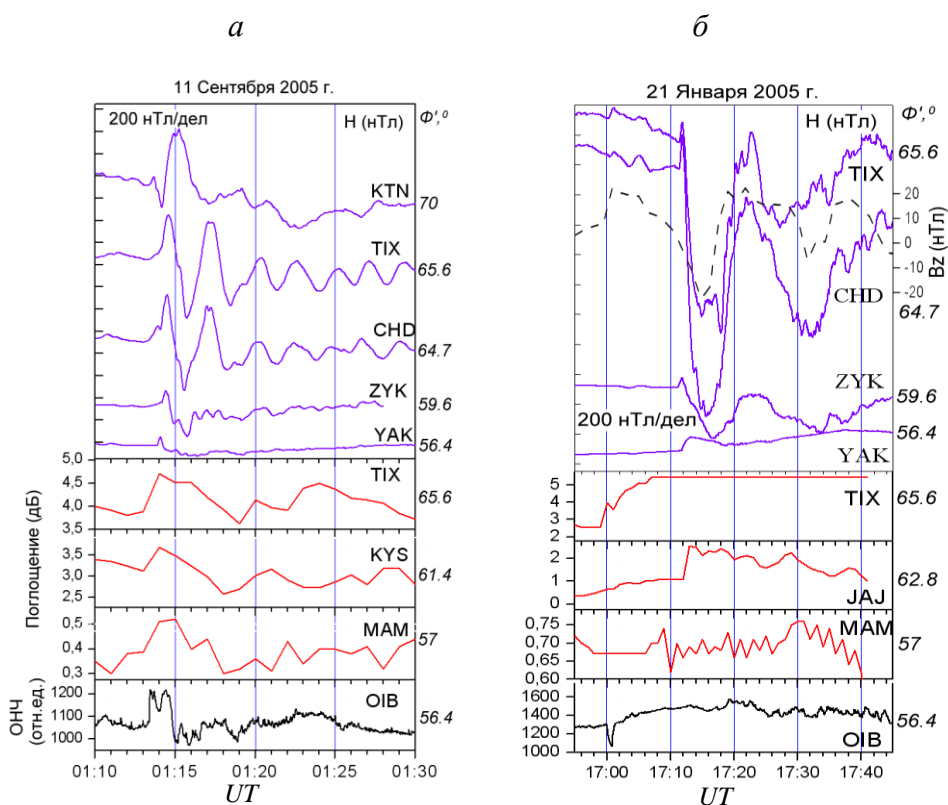


Рис. 1. Вариации H-компоненты геомагнитного поля, уровня поглощения космического радишума, ОНЧ-излучения на авроральных и субавроральных широтах в событиях 11.09.2005 г. (а) и 21.01.2005 г. (б) (*Moiseyev A.V., et al. // 8th Intern. Conf. "Problems of Geocosmos". Book of Abstracts. SPb, 2010. P.69-70.*). Для события 21.01.2005 г. на верхней панели приведены вариации Vz – компоненты ММП по данным спутника ACE.

2. Зондирование ионосферы в Якутске и Жиганске однотипными дигизондами DPS-4 ведется в диапазоне 1-12 МГц по стандартной 15-минутной программе. Синхронизация работы ионозондов поддерживается GPS приемниками, что дает возможность проводить регулярные синхронные измерения методом наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) на субавроральной радиотрассе Якутск-Жиганск, длина которой по земной поверхности составляет 620 км. Наблюдения показали, что временная синхронность работы ионозондов позволяет получить одновременные устойчивые наклонные радиоотражения на ионограммах в Жиганске от дигизонда, работающего в Якутске, и наоборот. На основе параболической модели ионосферы проведены численные расчеты распространения радиоволн на радиотрассе Якутск-Жиганск (рис. 2). Показано, что между следами наклонных отражений на ионограммах вертикального зондирования и расчетными следами имеется хорошее соответствие.

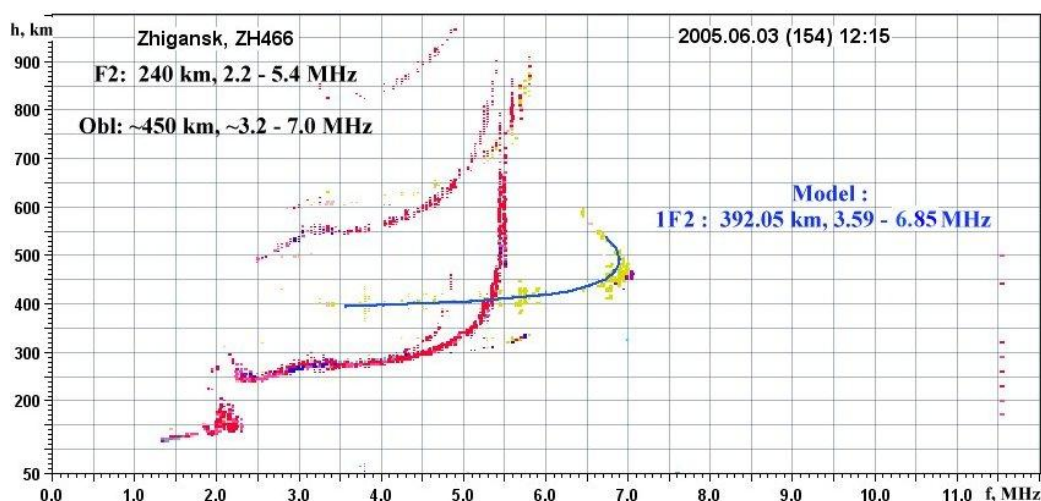


Рис.2. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных (Степанов А.Е. и др. // XIII Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн». Сборник докладов. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. Т.1. С.417-420.).

3. Выполнен сравнительный анализ связи изменений в параметрах солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) с динамикой активизаций авроральных электроструй в периоды экстремальных магнитных бурь октября-ноября 2003 и 2004 гг. (индекс $Dst \approx -300 \div -400$ нТл). Показано, что резкий рост динамического давления солнечного ветра приводит к усилению двухвихревой токовой системы типа DP2, а уменьшение отрицательных значений северо-южной компоненты B_z ММП – к серии интенсивных усилений западной электроструи на низких и полярных широтах (рис. 3). Это позволяет предположить, что вариации давления солнечного ветра проявляются в возбуждении конвекционных возмущений, а вариации B_z ММП приводят к развитию серии суббурь.

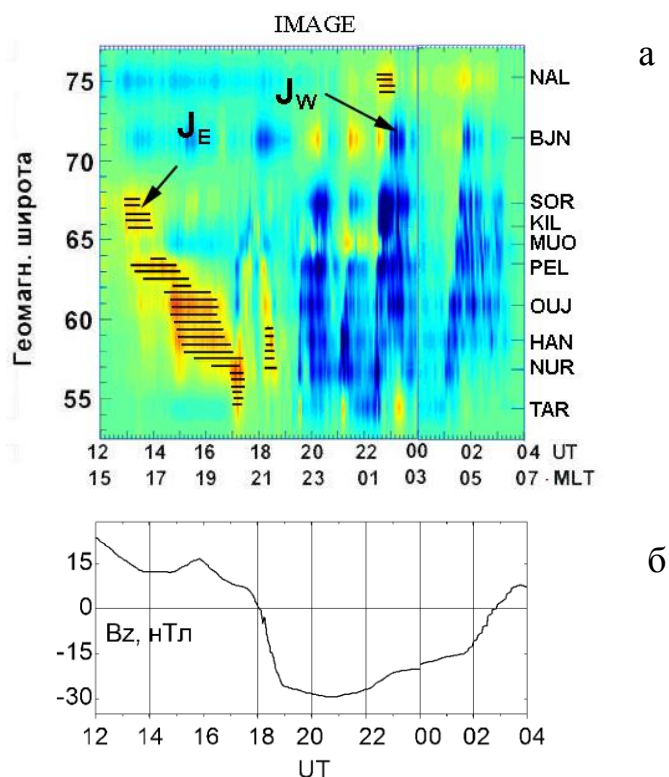


Рис. 3. Пространственно-временная динамика положения западного (J_W) и восточного (J_E) электроджетов по данным меридиональной сети станций IMAGE (а) для магнитной бури 29-30 октября 2003г., иллюстрирующая возбуждение серии усилений западной электроструи на полярных широтах при спаде отрицательных значений B_z -компоненты ММП (б) (Соловьев и др. // *Космические исследования*. 2011. Т. 49. № 1. С.42–52).

4. Выполнен анализ вариаций ионосферных параметров и риометрического поглощения на станциях вдоль 190° магнитного меридиана в период двух последовательных магнитных бурь - 6-9 и 14-17 декабря 2006 г. Отмечено, что на ионосферной станции Жиганск критическая частота Es γ отражений в вечерне-полуночные часы плавно спадало с ~ 6 МГц до ~ 2 МГц в период 6-9 декабря, в то время как для сильной магнитной бури 14-17 декабря такие отражения с foEs ~ 6 МГц регистрировалась в основном 14 и 15 декабря. Большие бухты поглощения (более 4 дБ) по риометрическим данным на станции Кыстатыам наблюдались 6-8 и 14-15 декабря (*Баишев и др. // Наука и образование. 2011. №1(61). С.10-14.*).

5. По данным спутниковых наблюдений исследована динамика сияний в высоких широтах в период суббури 25 января 2005 г. Обнаружено, что во время сильной суббури ($AE \approx 3504$ нТл) после магнитоспокойного периода поперек полярной шапки в направлении утро-вечер формируется дуга сияний (Dawn-Dusk Aligned Polar Cap Aurora – DDAPCA, рис.4а). Показано, что с ростом азимутальной компоненты межпланетного магнитного поля в области полярной шапки наблюдается вращение дуги сияний против часовой стрелки (рис.4б). DDAPCA является новым типом сияний, регистрируемых в полярной шапке. Предполагается, что формирование DDAPCA связано с пересоединением в дальней части хвоста сжатой магнитосферы.

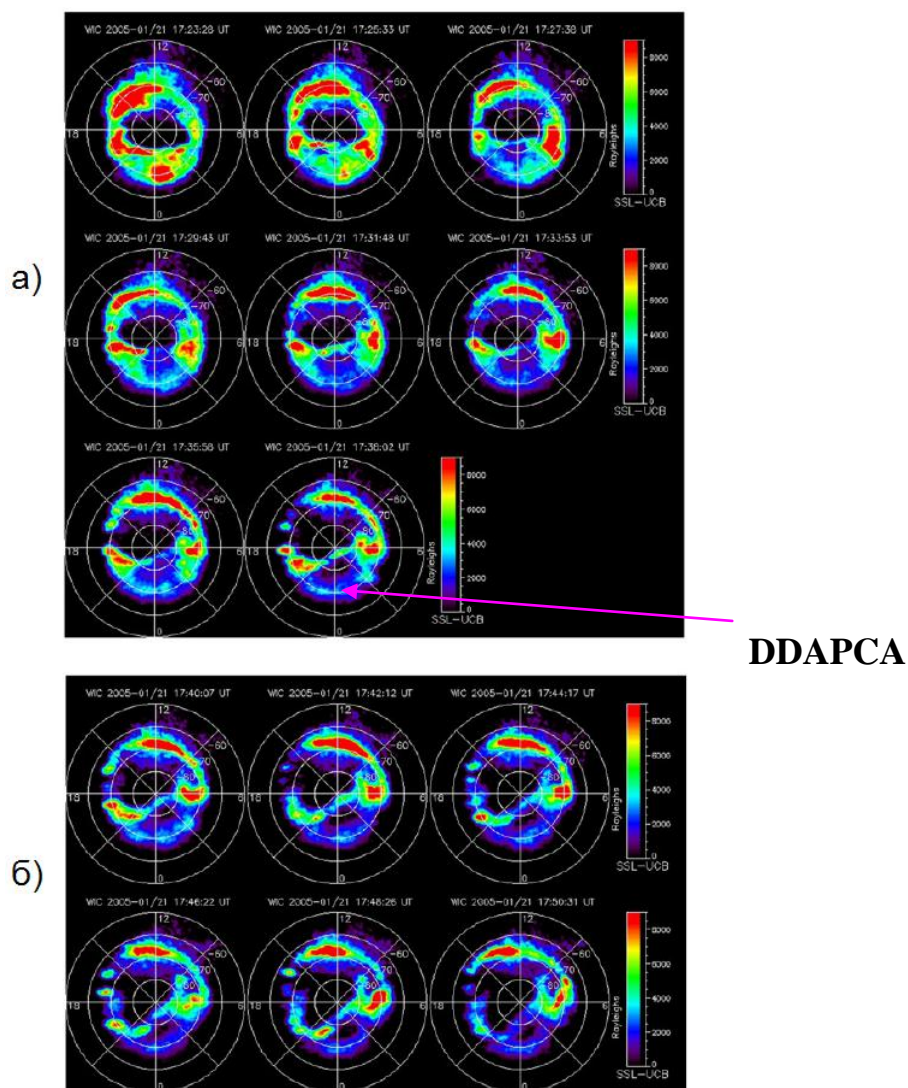


Рис.4. Пространственно-временное распределение сияний, полученное со спутника IMAGE в период суббури 25 января 2005 г. (*Du et al., 2011 // Planet. Space Sci. 2011. V.59. P.1551-1558*). Дуга сияний, наблюдаемая в полярной шапке в направлении утро-вечер, отмечена стрелкой

Результаты 2012 г.

6. Проведен отбор событий иррегулярных геомагнитных пульсаций $Pi2$ ($T=40-150$ с), одновременно наблюдаемых на одном магнитном меридиане, но на разных L-оболочках: субавроральная наземная станция Зырянка и геостационарный спутник ETS-VIII за 2008 г. Было выбрано 250 событий с высоким коэффициентом корреляции (больше 0.75). Показано, что для 154 события (62% от всей выборки) имеется малая (в пределах 10 с) временная задержка в регистрации пульсаций $Pi2$ между этими пунктами. Такая малая задержка позволила предположить, что источником азимутальных пульсаций $Pi2$ являются синхронные колебания токового клина суббури (*Uozumi T., et al. // J. Geophys. Res. 2012. V.117. doi:10.1029/2012JA018291*).

7. Проведена обработка и анализ данных высокоширотных ионозондов на северо-востоке России за 2005 г. В таблице 1 приведено количество случаев регистрации U-следов на ионограммах вертикального зондирования отдельно по станциям в разные сезоны.

Исследование U-следов, “автографов” перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), по данным станций в северо-восточной части России показало:

- Время их регистрации приходится в основном на до- и полуденный сектора MLT – около 70% (см. рис.5, левая панель).
- ПИВы регистрируются в основном в спокойные интервалы геомагнитной возмущенности – около 80% при $Kp < 3$ (см. рис.5, правая панель).
- Средняя фазовая скорость перемещения ПИВ составляет около 200 м/с.
- Доплеровские сдвиги ионизации в F-слое могут служить дополнительным признаком ПИВ.

Таблица 1. Координаты ионосферных станций на северо-востоке России и количество случаев регистрации U-следов на ионограммах по сезонам.

Станция	Координаты	Всего	Зима	Равноден- ствие	Лето
Тикси	71.4N, 128.5E	85	43	21	21
Норильск	69.4N, 88.1E	125	36	40	49
Жиганск	66.8N, 123.4E	40	29	10	1
Якутск	62.0N, 129.6E	166	117	32	17
		416	225	103	88

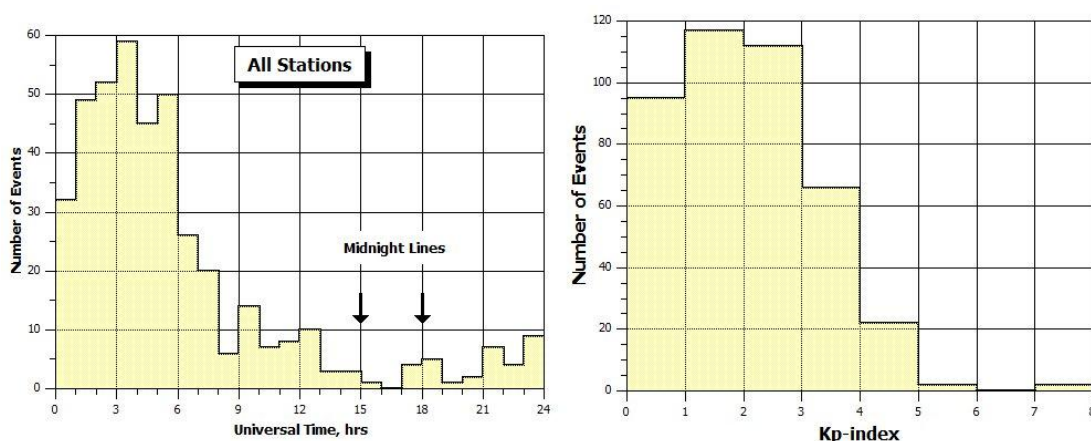


Рис.2. Распределение ПИВ по UT (левая панель) и Kp-индексу (правая панель) (Stepanov A.E., et al. // 9-th Intern. Conf. «Problems of Geocosmos». Book of Abstracts. SPb. 2012. P.234).

Сведения о публикациях по проекту П.14.1.7

Издания	2010	2011	2012	Всего:
Отечественные журналы	2	3	1	6
Зарубежные журналы	1	1	1	3
Труды конференций	4	4	4	12
Всего:	7	8	6	21

Публикации

в зарубежном журнале

1. Cao J.-B., C. Yan, M. Dunlop, H. Reme, I. Dandouras, T. Zhang, D. Yang, A. Moiseyev, S. Solov'yev, Z. Q. Wang, A. Leonoviche, N. Zolotukhina, and V. Mishin. Geomagnetic signatures of current wedge produced by fast flows in a plasma sheet // *Journal of Geophysical Research*. 115, doi:10.1029/2009JA014891, 2010.
2. Du A.M., Sun W., Tsurutani B.T., Boroyev R.N., Moiseyev A.V. Observations of dawn-dusk aligned polar cap aurora during the substorms of January 21, 2005 // *Planet. Space Sci.* 2011. V.59. P.1551-1558.
3. Uozumi, T. Simultaneous ground-satellite observation of Pi 2 pulsations associated with upward and downward field aligned currents of the substorm current wedge / T. Uozumi, K. Yumoto, S. Imajo, K. Koga, H. Matsumoto, T. Obara, D.G. Baishev, A.V. Moiseyev, B.M. Shevtsov, D. Milling, I. Mann, A. Ikeda, S. Abe, K. Kitamura, A. Yoshikawa, H. Kawano // *J. Geophys. Res.* 2012. V.117. doi:10.1029/2012JA018291.

в российских рецензируемых журналах

1. Баишев Д.Г., Баркова Е.С., Степанов А.Е., Rich F., Yumoto K. Электрические поля и крупномасштабные волны свечения в вечернем секторе диффузной авроральной зоны // *Геомагнетизм и аэрономия*. Т. 50. № 1. С. 44–50. 2010.
2. Соловьев С.И., Р.Н.Бороев, А.В.Моисеев, А.Ду, К.Юмото. Развитие авроральных электроструй и низкоширотных геомагнитных возмущений в периоды сильных магнитных бурь 07-11 ноября 2004г. // *Космические исследования*. Т. 48. № 6. С.1–14. 2010.
3. Соловьев С.И., Бороев Р.Н., Моисеев А.В., Ду А., Юмото К. Развитие авроральных электроструй и низкоширотных геомагнитных возмущений в периоды сильных магнитных бурь 07-11 ноября 2004 г. // *Космические исследования*. 2011. Т. 49. № 1. С.42–52.
4. Степанов А.Е., Голиков И.А., Попов В.И., Бондарь Е.Д., Халипов В.Л. Структурные особенности субавроральной ионосферы при возникновении поляризованного джета // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2011. Т.51, №5. С.643-649.
5. Баишев Д.Г., Степанов А.Е., Кобякова С.Е., Самсонов С.Н. Проявление магнитных бурь декабря 2006 г. по данным ионосферных и риометрических станций на территории Якутии // *Наука и образование*. 2011. №1(61). С.10-14.
6. Баишев Д.Г., Баркова Е.С., Юмото К. Оптические наблюдения крупномасштабных волн диффузного свечения в 23-ем цикле солнечной активности // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2012. Т.52, №2. С.211-218.

в материалах конференций

1. Baishev D.G., Barkova E.S., Fedorov A.A., Yumoto K. Optical observations of the eveningside undulations during the 23 solar activity cycle // 8th International Conference “Problems of Geocosmos”, St. Petersburg, 20-24 September 2010. Book of Abstracts. P.19.
2. Baishev D.G., Stepanov A.E., Kobayakova S.E., Samsonov S.N., Kurkin V.I., Pirog O.M., Poddelsky I.N., Poddelsky A.I. Complex observations of ionospheric disturbances in the North-Eastern region of ASIA// 8th International Conference “Problems of Geocosmos”, St. Petersburg, 20-24 September 2010. Book of Abstracts. P.20-21.
3. Голиков И.А., Степанов А.Е., Бондарь Е.Д., Попов В.И., Соловьев Т.Н. Исследования влияния быстрых субавроральных на структуру субавроральной ионосферы // «ЭРЭЛ–2009»: материалы конф. науч. молодежи: к 60-летию Якутского научного центра СО РАН и Году молодежи. Якутск: Изд-во ООО РИА «Феникс», 2009. С.11–14.

4. Moiseyev A.V., Solovyev S.I., Boroyev R.N., Mullayarov V.A. Samsonov S.N., Du A. Peculiarities of sudden commencement manifestation in VLF-emission generation and cosmic noise absorption // 8th International Conference "Problems of Geocosmos", St. Petersburg, 20-24 September 2010. Book of Abstracts. P.69-70.
5. Моисеев А.В., Соловьёв С.И., Муллаяров В.А., Самсонов С.Н., Попов В.И., Ду А. Особенности одновременной генерации внезапного импульса и движущихся вихрей конвекции в событии 24 апреля 2009 г. // Материалы VIII международной школы молодых ученых, г. Томск, 22–27 июня 2010 г.: Институт оптики атмосферы СО РАН. С.119-122. 2010.
6. Степанов А.Е., Филиппов Л.Д., Galkin I.A., Reinisch B.W. Наклонное радиозондирование субавроральной ионосферы по измерениям дигизондов и модельные расчеты // XXIII Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн», Йошкар-Ола, 23–26 мая 2011 г., Сборник докладов (в трех томах), Т.1, Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011, С.417-420.
7. Бондарь Е.Д., Голиков И.А., Попов В.И., Решетников А.А., Степанов А.Е. Исследование сезонных особенностей влияния поляризованного джета на крупномасштабную структуру субавроральной ионосферы // Материалы Всероссийской конференции с междунар. участием "Физика окружающей среды", г. Томск, 27 июня–1 июля 2011 г. Томск: 2011. С. 60-63.
8. Golikov I., Stepanov A., Popov V., Reshetnikov A., Bondar Ye., Koryakin A., Solovyev T. The modelling of the seasonal features of the Polarization Jet appearance // Proceedings of the 30th International Conference on Phenomena in Ionized Gases in Belfast, Northern Ireland, August 28–September 2 2011. http://mpserver.pst.qub.ac.uk/sites/icpig2011/103_C7_Reshetnikov.pdf
9. Баишев Д.Г., Моисеев А.В., Бороев Р.Н., Макаров Г.А., Поддельский И.Н., Поддельский А.И., Шевцов Б.М., Юмото К. Геомагнитные наблюдения на территории Якутии в рамках проекта MAGDAS // Вторая научная конференция ПОЛАР-2012 "Базы данных, инструменты и информационные основы полярных геофизических исследований", ИЗМИРАН, Москва, 22-26 мая 2012 года. С.44-45.
10. Баишев Д.Г., Моисеев А.В., Бороев Р.Н., Макаров Г.А., Поддельский И.Н., Поддельский А.И., Шевцов Б.М., Yumoto K. Геомагнитные наблюдения на территории Якутии в рамках проекта MAGDAS: Первые результаты // Космические лучи и гелиосфера: Научная программа и тезисы докладов, представленных на Всероссийскую конференцию, посвященную 50-летию ИКФИА СО РАН, г. Якутск, 17-18 сентября 2012 г. – Якутск, 2012. - С.26-27.
11. Софронов С.К., Степанов А.Е., Филиппов Л.Д. Перемещающиеся ионосферные возмущения: данные меридиональной сети ионозондов и модельные расчеты // Космические лучи и гелиосфера: Научная программа и тезисы докладов, представленных на Всероссийскую конференцию, посвященную 50-летию ИКФИА СО РАН, г. Якутск, 17-18 сентября 2012 г. – Якутск, 2012. - С.31.
12. Stepanov, A.E. Traveling ionospheric disturbances: data of meridional chain of ionosondes and model calculations / A.E. Stepanov, L.D. Filippov, S.K. Sofronov // 9-th International Conference «Problems of Geocosmos». St. Petersburg. 2012. Book of Abstracts. 2012. P.234.