

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2018 Г.

I. ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ

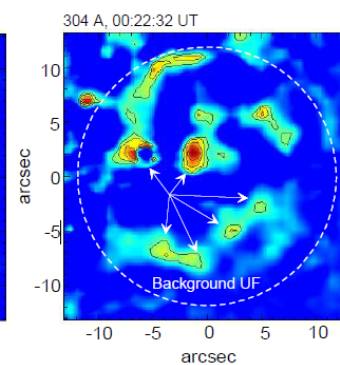
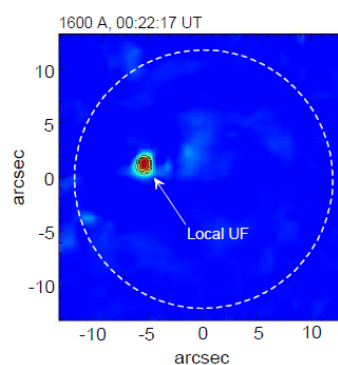
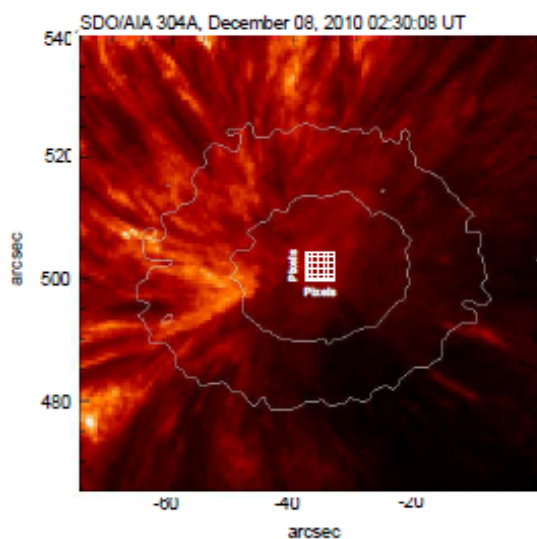
(раздел II «Физические науки», п. 12 и п. 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

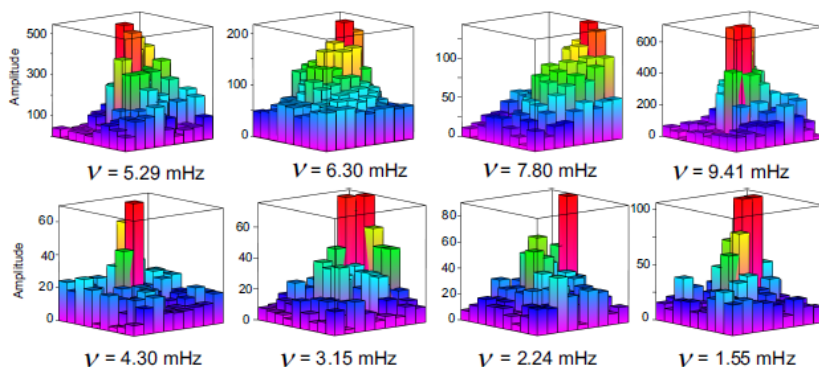
1. Волновые процессы и подфотосферный резонатор в солнечных пятнах

ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН

Резонатор для МГД волн расположен в восходящих конвективных струях, ответственных за яркие точки в тени пятна. Различные режимы работы подфотосферного резонатора приводят к появлению волновых пакетов трехминутных колебаний и пятенных уярчений. Уярчения в тени - отклик на глобальный процесс усиления волновой активности в волноводах, охватывающий всю атмосферу над солнечными пятнами. На рисунке слева показаны тень и полутень пятна (SDO/AIA). Теория подтверждена наблюдениями на SDO и Big Bear.



Узкополосные изображения источников UF, полученные одновременно на разных высотах - температурный минимум 1600А (левая панель) и переходная зона 304А (правая панель).



Гистограмма амплитуды осцилляций солнечного пятна

Публикации:

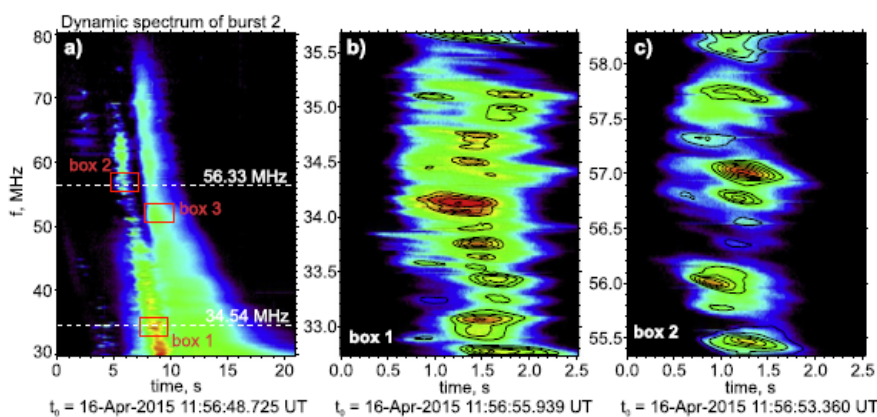
1. Sych, R.; Wang, M., Fine wave dynamics in umbral flash sources, *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 618, id.A123, 2018, doi: 10.1051/0004-6361/201732139.
2. Ю.Жугжда, Подфотосферный резонатор и локальные колебания в солнечных пятнах, *Письма в АЖ*, 44, №5 (2018)
3. Y.Zhugzhda, R.Sych, Local sunspot oscillations and umbral dots, *Res. Astron. Astrophys.* 18, 105 (2018)

2 Наблюдения тонкой спектральной структуры в радиовсплесках III типа с помощью LOFAR

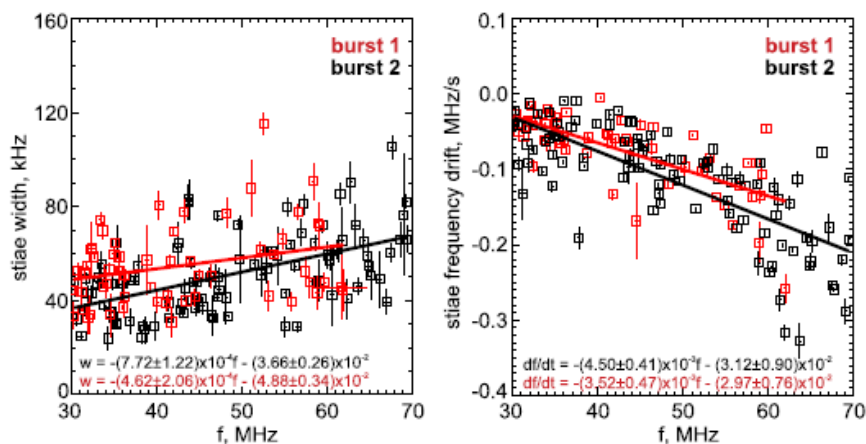
ИКИ РАН, ИСЗФ СО РАН

Радионаблюдения с высоким спектральным разрешением открывают новые возможности диагностики плазменной турбулентности в короне Солнца.

Наблюдаемые свойства согласуются с моделью модуляции всплеска III типа мелкомасштабными неоднородностями плотности плазмы. Параметры неоднородностей: амплитуда $\sim 0.3\%$, размеры $\sim 200-800$ км, скорости движения $\sim 400-800$ км/с, соответствуют распространяющимся МГД- волнам.



Динамический спектр
всплеска III типа



Спектральная ширина и
скорость частотного дрейфа

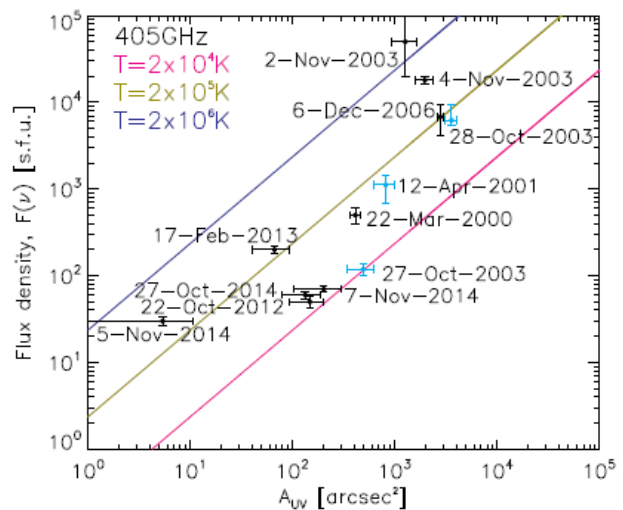
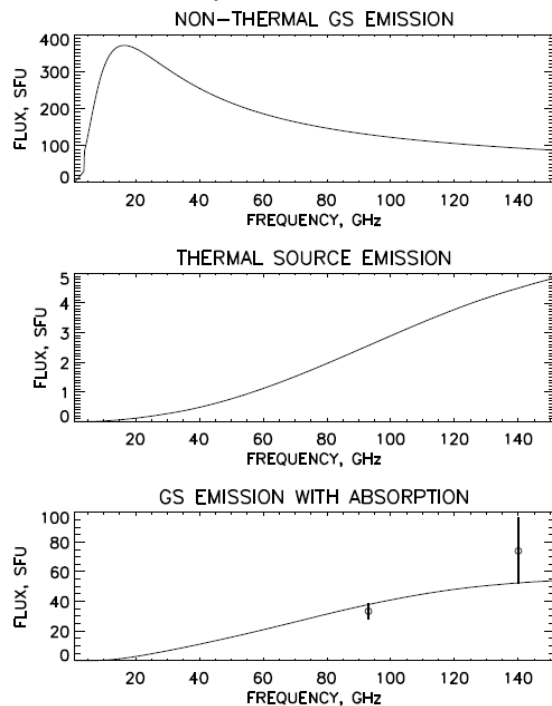
Публикация:

1. I.N. Sharykin, E.P. Kontar, A.A. Kuznetsov, LOFAR Observations of Fine Spectral Structure Dynamics in Type IIIb Radio Bursts, *Solar Physics*, 293, 115, 2018.

3 Моделирование хромосферного излучения солнечных вспышек

КраО РАН, НИРФИ ННГУ им.Н.И.Лобачевского, ГАО РАН

На основе модели вспышечной хромосферной плазмы, (Machado et al., 1980) объяснён положительный наклон спектра суб-ТГц излучения вспышки 4.06.2012, наблюдаемого на РТ-7.5 МГТУ им.Баумана (в 93-140 ГГц). Проведён расчет радиоспектра столба хромосферной плазмы, в предположении, что площадь источника $\sim 10^{18}$ см³. Решено уравнение переноса для теплового тормозного излучения неоднородной плазмы с учетом влияния нейтралов. Для 17 суб-ТГц событий (90-405 ГГц) сделан вывод, что источниками излучения являются вспышечные ленты с $T \approx 10^4 - 10^6$ К.



Сверху вниз:
спектр гиротропного излучения;
спектр теплового излучения;
спектр гиротропного излучения с поглощением.

Поток излучения на 405 ГГц от источников с различной температурой для 14 солнечных вспышек

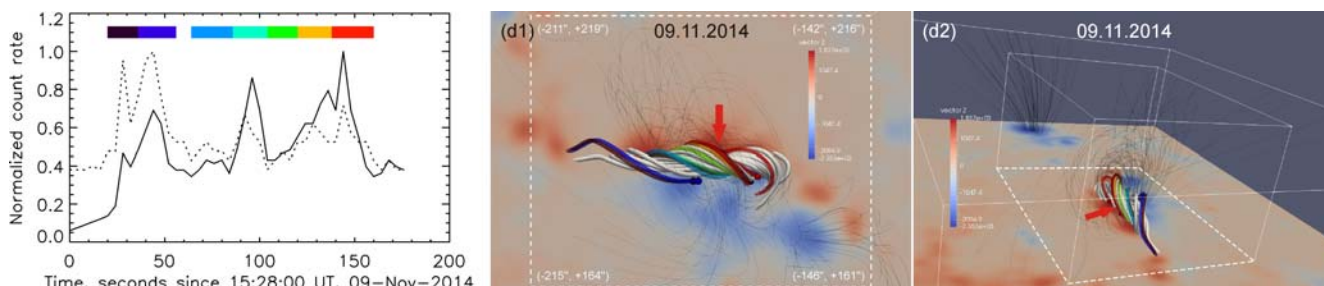
Публикации:

1. E. Kontar, G. Motorina, Y. Tsap et al. Frequency rising sub-THz emission from solar flare ribbons, *Astron. Astrophys.* 620, A95 (2018)
2. Yu. Tsap, V. Smirnova, G. Motorina, A. Morgachev: Millimeter and X-Ray Emission from the 5 July 2012 Solar Flare // *Solar Phys.* 293, 50 (2018)
3. A.S. Morgachev, Yu.T. Tsap, V.V. Smirnova, G.G. Motorina «Simulation of subterahertz emission from April 2, 2017 solar flare based on the multiwavelength observations // *Geomagnetism and Aeronomy*, 58, 1113, 2018.

4. Магнитная структура источников рентгеновских пульсаций

ИКИ, ГАО

Реконструирована магнитная структура источников рентгеновских пульсаций солнечных вспышек и показано, что пульсации являются следствием последовательных эпизодов выделения энергии и ускорения электронов в отдельных магнитных трубках, сгруппированных в скрученный магнитный жгут или арку магнитных петель над ним.



Публикация:

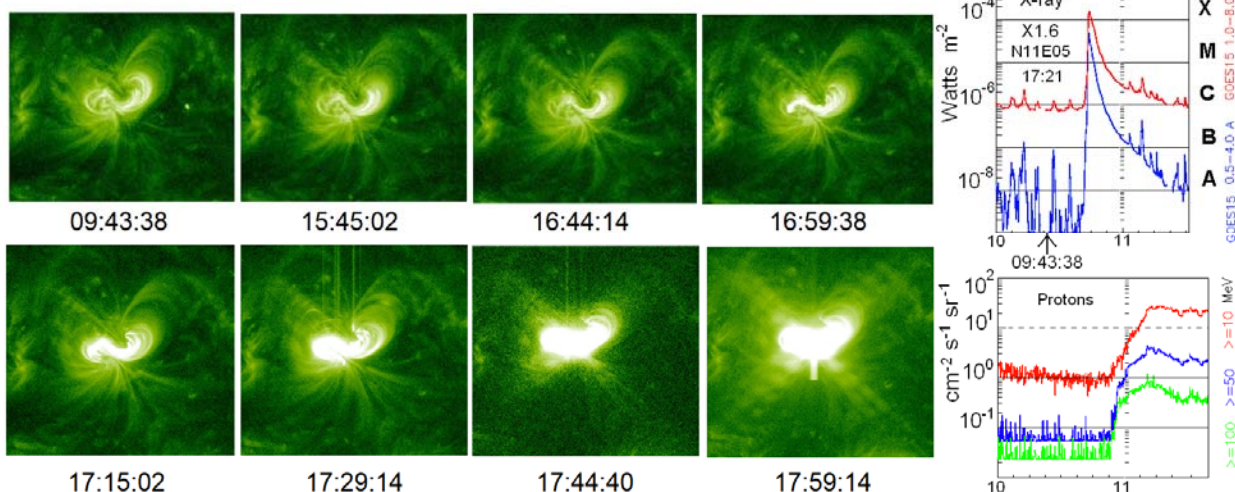
Zimovets, Wang, Liu, Kuznetsov, Sharykin, Struminsky. JASTP, 174, 17 (2018)

5. Механизм ускорения солнечных и галактических космических лучей и исследование вспышечного процесса путем анализа ультрафиолетового излучения высокоионизованных ионов железа,

ИНАСАН

Ускорение протонов происходит вдоль особой линии магнитного поля токового слоя полем $\mathbf{E} = -\mathbf{V} \times \mathbf{B}/c$. Супервспышки на звездах класса G с энергией, значительно превышающей энергию солнечной вспышки, означают, что вспышка - универсальный процесс, ответственным за ускорение протонов на Солнце и на звездах. Анализ солнечной вспышки при исследовании спектральных линий высокоионизованных атомов железа подтвердил, что первичное энерговыделение происходит высоко в солнечной короне, и энергия вспышки запасается в магнитном поле токового слоя. Исследована вспышка X8.2 10.09.2018, АО которой на обратной стороне Солнца, а источник излучения в линиях 193 Å (20 МК) 131 Å (16 МК) и 94 Å (6.3 МК) появляется в короне. Ускоренные протоны доходят до наблюдателя за пролетное время ~ 20 мин.

SDO AIA AR12158 N11E05 94 Å FeXVIII 10 Sept 2014 $t_0=17:21$ X1.6



Развитие вспышки X1.6 3 в линии 94 Å (SDO), справа – SXR и СКЛ

Публикации:

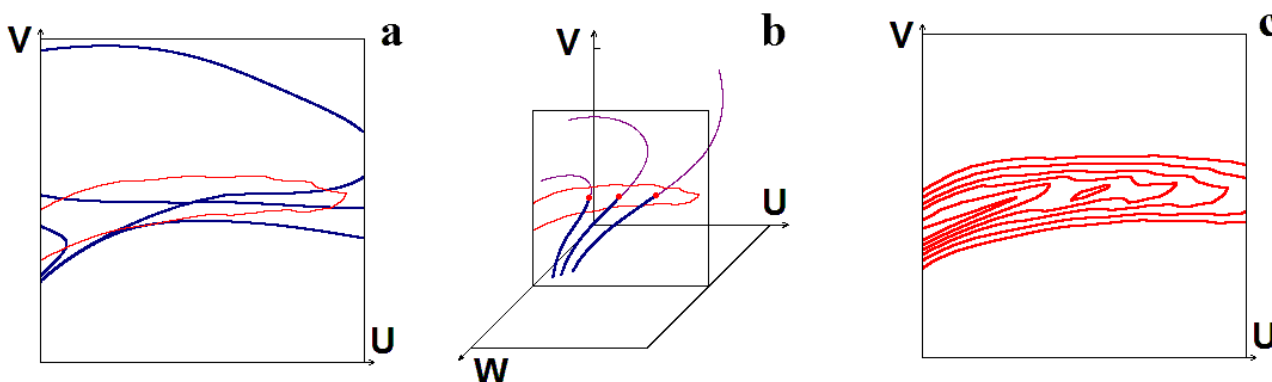
- Podgorny I.M., Podgorny A.I. JASTP 180, 9 (2018)
- Подгорный И.М., Подгорный А.И. АЖ. 95, 735 (2018)
- Podgorny I.M., Podgorny A.I. Sun & Geosphere 13/1, 69 (2018)

6. Вспышечная ситуация в короне. Анализ результатов МГД моделирования и методы МГД моделирования процессов над активной областью в реальном масштабе времени

ИНАСАН, ФИАН

Детально исследованы конфигурации магнитного поля во вспышках 27 и 29.05.2003 с помощью системы поиска в магнитном поле короны, основанном на МГД моделировании реальной активной области.

3D конфигурация магнитного поля соответствует направлению магнитных сил, которые создают токовый слой, а затем его разрушают при переходе системы в неустойчивое состояние. Подтверждён механизм вспышки, основанный на освобождении магнитной энергии, накопленной в токовом слое.



Токовый слой для вспышки 29 мая 2003 г. 00:51 UT

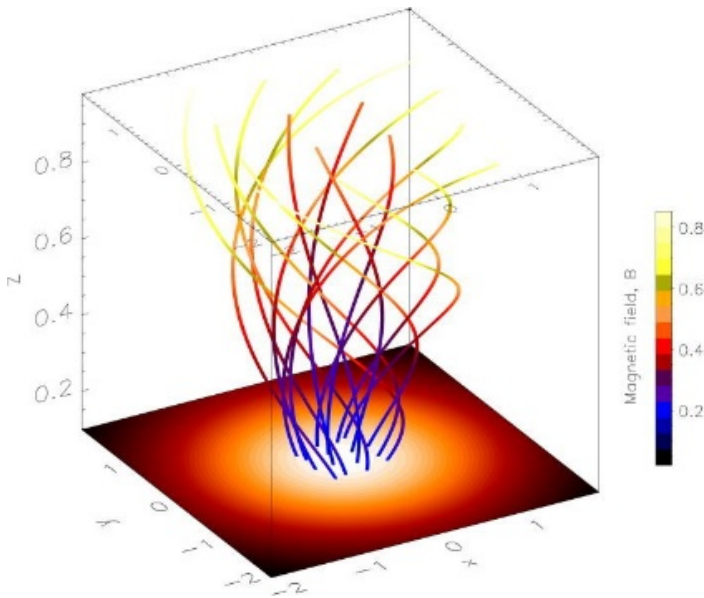
Публикация:

Подгорный И.М., Подгорный А.И., Мешалкина Н.С. JASTP, **180**, 16–25 (2018)

7. Новая модель магнитных вихрей

ИФЗ РАН, ИКИ РАН

В идеальной МГД создана новая модель квазистационарных торнадо в короне Солнца. Вихри генерируются в конвективно-неустойчивой плазме в гравитационном поле, где восходящая плазма проникает на поверхность Солнца изнутри в результате тепловой конвекции, ускоренной вертикальным градиентом давления. Получены явные выражения для компонент скорости и магнитного поля.

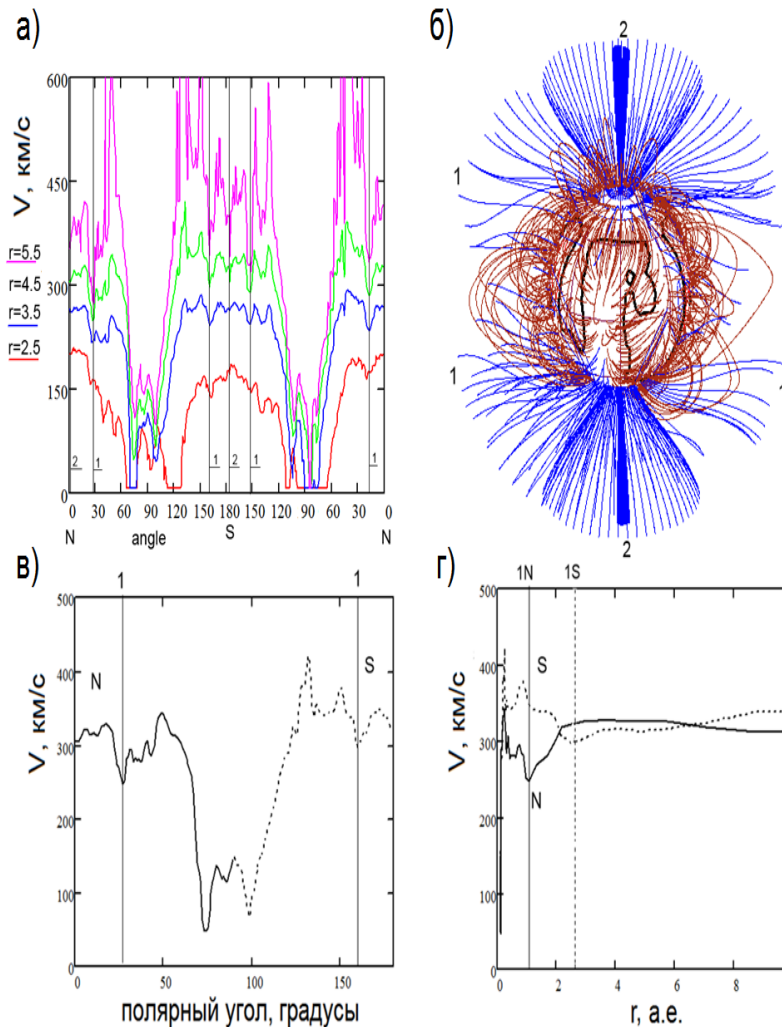


SDO и шведский телескоп CRISP:
снимки солнечных торнадо.

Публикация:
O.Onishchenko, V.Fedun, A.Smolyakov, W.Horton, O.Pokhotelov, G.Verth: Physics of Plasmas 25, 054503 (2018)

8. Обнаружение немонотонной зависимости скорости солнечного ветра

ИЗМИРАН, ИКИ РАН, НИЯФ МГУ



Космический зонд Ulysses:

Эволюция скорости солнечного ветра с расстоянием зависит не только от гелиошироты, но и от фазы цикла солнечной активности. Отличия зависимости $V(r)$ от классического профиля скорости по Паркеру значительны. Они не могут объясняться техническими эффектами. В минимуме солнечной активности в низких широтах обнаружен локальный провал скорости между 2 а.е. и 5 а.е., что говорит либо о наличии плазменного барьера в этой области или о воздействии потоков из высоких широт на характеристики солнечного ветра в низких широтах. Эффект падения скорости за орбитой Земли может быть объяснен в рамках одножидкостной идеальной МГД-модели при учёте восстановленного профиля скорости в короне.

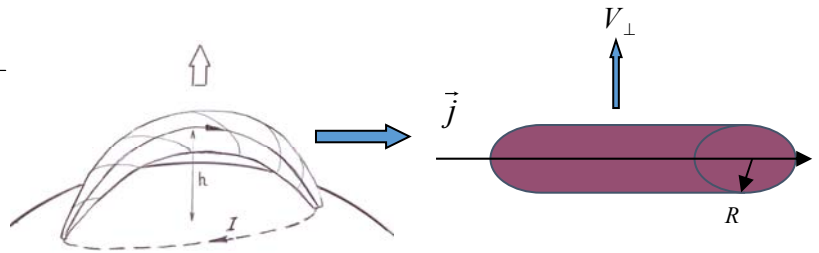
9. Активизация протуберанца при увеличении электрического тока

ИПФ РАН, ГАО РАН

$$\eta = \frac{4\pi\eta_0}{\ln(3.7\eta_0 / m_i n_i R V_\perp)} = \frac{4\pi\eta_0}{\ln(3.7 / Re)}$$

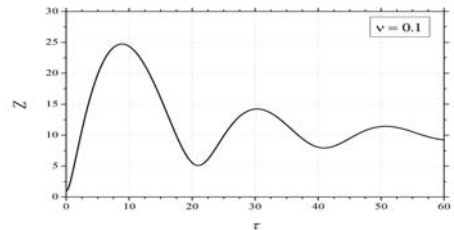
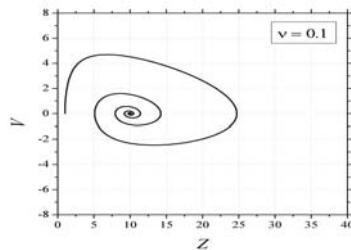
$$\eta_0 \approx 0.96 n_i k_B T_i \tau_i,$$

$$\tau_i \approx 10^6 \frac{T_i^{3/2} (eV)}{n_i}$$



$$\pi R^2 \rho \frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{I^2}{c^2 z} - \eta \frac{dz}{dt} - \pi R^2 \rho g$$

$$\frac{dV}{dZ} = \frac{K - Z - vVZ}{VZ}$$

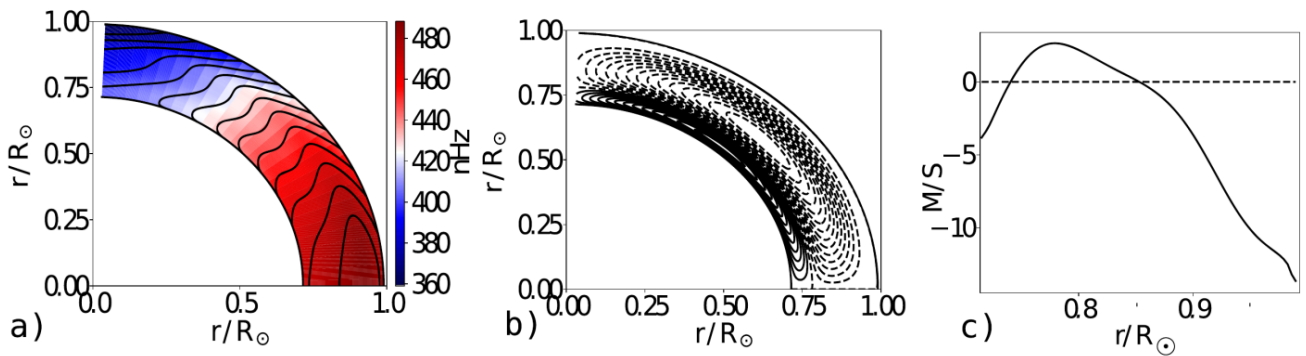


Публикация:
Zaitsev, Stepanov, JASTP **179**, 149 (2018)

10. Двухъярусная меридиональная циркуляция в модели солнечного динамо,

ИЗСФ, New Jersey.

Предложен механизм образования многоячейистой меридиональной циркуляции в конвективной зоне Солнца. Построена самосогласованная модель дифференциального вращения и циркуляции. Впервые показано, что градиент параметра Россби вблизи дна конвективной зоны приводит к обращению знака радиальных потоков углового момента и появлению второй ячейки с обратным направлением циркуляции. Результат важен для моделирования солнечной активности и уточнения прогноза солнечных циклов.



а) профиль угловой скорости конвективной зоны, б) распределение потоков циркуляции в северном полушарии, с) радиальный профиль меридиональной скорости циркуляции на 45° северной широты

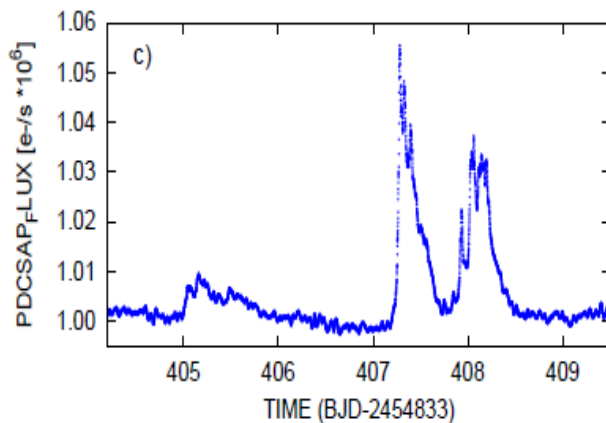
Публикация:
Pipin, Kosovichev, Ap. J. 854, 67, 2018

11. Могут ли супервспышки происходить на Солнце? Взгляд с точки зрения теории динамо

МГУ, ИСЗФ, ИЗМИРАН

Развита представление о том, чем может отличаться ГД звезд оленчного типа от Солнца для того, чтобы динамо в них производило достаточно магнитной энергии для супервспышек.

Показано, что для того, чтобы звезда, похожая на Солнце, могла запаст в своем магнитном поле энергию, необходимую для супервспышки, достаточно предположить, что ее закон вращения иной, чем на Солнце. Именно, достаточно, чтобы приэкваториальные области звезды вращались не быстрее, чем приполярные области, как это происходит на Солнце, а медленнее. Пример - звезда НК Лас.



Супервспышка на звезде KIC 2852961

Публикации:
Кацова, Кичатинов, Лившиц, Мосс, Соколов, Усоскин, АЖ 95, 78, 2018.
Кацова, Кичатинов, Мосс, Олах, Соколов, АЖ 95, 542, 2018.

2 ФИЗИКА МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

(раздел II «Физические науки», п. 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Переход от столкновительного к бесстолкновительному ударному фронту, возбуждаемому корональным выбросом массы в короне Солнца

ИСЗФ СО РАН, ИКИ РАН

Впервые, экспериментально был обнаружен и исследован переход от столкновительного к бесстолкновительному ударному фронту, возбуждаемому корональным выбросом массы в короне Солнца. Существование такого перехода означает изменение механизма диссипации энергии в ударной волне: от случая, вызванного прямыми столкновениями частиц в плотной плазме к случаю их коллективного взаимодействия, связанного с возбуждением электростатических и электромагнитных колебаний в разреженной плазме. Это новое явление в области физики космической плазмы, которое весьма актуально и перспективно для будущих теоретических и экспериментальных исследований (рис.).

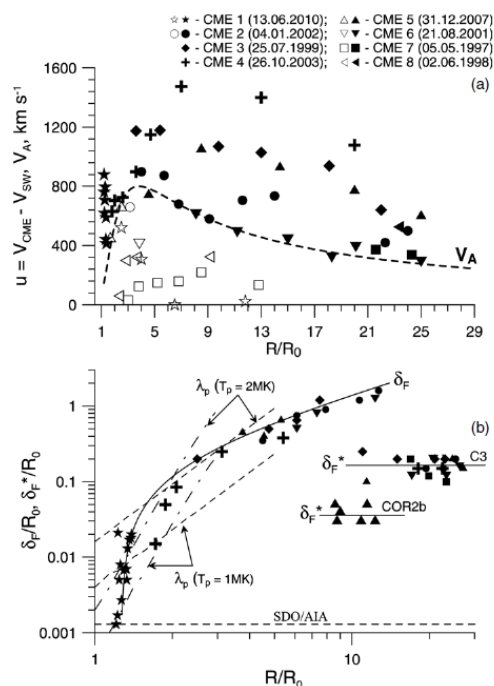


Рисунок - Зависимости от расстояния от центра Солнца.

а) Скорость CME $u(R) = V(R) - V_{sw}(R)$ относительно окружающего солнечного ветра. Пунктирная кривая - рассчитанная альфвеновская скорость в поясе стримеров. Черные и светлые значки соответствуют случаям наличия и отсутствия ударного фронта.

б) Ширина столкновительного ударного фронта $\delta_F(R)$ (сплошная кривая) и бесстолкновительного фронта $\delta_F^*(R)$ (отрезки прямых линий с надписями $\delta_F^*(R)$, C3 и $\delta_F^*(R)$, COR2b), возбуждаемых корональным выбросом массы.

Публикация:

В. Г. Еселевич, Н. Л. Бородкова, О. В. Сапунова, Г. Н. Застенкер, Ю. И. Ермолаев. Структура фронта бесстолкновительной косої межпланетной ударной волны по измерениям параметров плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением, Геомagnetизм и аэрoнoмия, том 58, № 6, с. 759–767, 2018 г.

2. ПРАО АКЦ ФИАН, ИРЭ РАН

- а) Проведен анализ результатов экспериментов поляризационного радиопросвечивания внешней короны Солнца, выполненных в период с 1975 г. по 1984 г. с помощью космических аппаратов *HELOS*. Получены характерные параметры временных спектров флуктуаций фарадеевского вращения плоскости поляризации в области гелиоцентрических расстояний от 3.5 до 5.5 радиусов Солнца. Показано, что абсолютный уровень флуктуаций, а, следовательно, и уровень флуктуаций магнитного поля практически не зависит от уровня солнечной активности. Как известно, глобальная структура солнечного ветра изменяется с циклом солнечной активности таким образом, что в минимуме солнечной активности на низких широтах наблюдается медленный солнечный ветер, а на высоких широтах – быстрый солнечный ветер. В максимуме солнечной активности на всех широтах преобладает медленный солнечный ветер. Объяснение неизменности флуктуационных эффектов при зондировании околосолнечной плазмы заключается в том, что магнитогидродинамическая турбулентность низкоширотного медленного солнечного ветра в среднем не зависит от фазы цикла солнечной активности.
- б) В 2013 г. и 2015 г. выполнены исследования внутреннего солнечного ветра методом двухчастотного радиозондирования сигналами европейского спутника Марса *Mars Express*. Значения частоты *S*- и *X*-диапазонов и дифференциальной частоты регистрировались с периодичностью 1с в наземных пунктах слежения за космическими аппаратами американской и европейской сетей. Исследованы пространственные распределения уровня флуктуаций частоты. Показано, что интенсивность флуктуаций частоты заметно уменьшается на высоких гелиоширотах. В ряде сеансов радиозондирования во временных спектрах флуктуаций частоты наблюдаются квазипериодические осцилляции субмиллигерцового диапазона, предположительно связанные с неоднородностями плотности, имеющими размеры, близкие к внешнему масштабу турбулентности.
- в) Проанализированы данные трехлетней серии мониторинга межпланетных мерцаний в 2015-2017 гг. на фазе спада солнечной активности. Наблюдения выполнены на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Показано, что в течение рассматриваемого периода пространственное распределение уровня мерцаний в среднем было близко к сферически симметричному и не испытывало сильных временных вариаций на месячных и годовых интервалах. Среднемесячные значения уровня мерцаний не коррелируют с числами Вольфа.

Публикации

1. А.И. Ефимов, Л.А. Луканина, И.В. Чашей, М.К. Бёрд, М. Петцольд, Д. Векслер. Скорость внутреннего солнечного ветра по данным когерентного радиопросвечивания // Космич. Исслед. Т.56. №6. 2018, *Cosm. Res.* V.56. No.6. P.413-418. 2018. DOI:10.1134/S0010952518060023
2. И.В.Чашей, В.И.Шишов, С.А.Тюльбашев, И.А.Субаев. Крупномасштабная структура солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН. *Proc. Plasmas in the solar system. International conference Gringauz 100.* P.102-103. <https://gringauz100.cosmos.ru/>
3. А.И.Ефимов, Л.А.Луканина, И.В.Чашей, М.К.Бёрд, М.Петцольд. Турбулентность магнитного поля солнечного ветра в цикле солнечной активности по данным экспериментов коронального

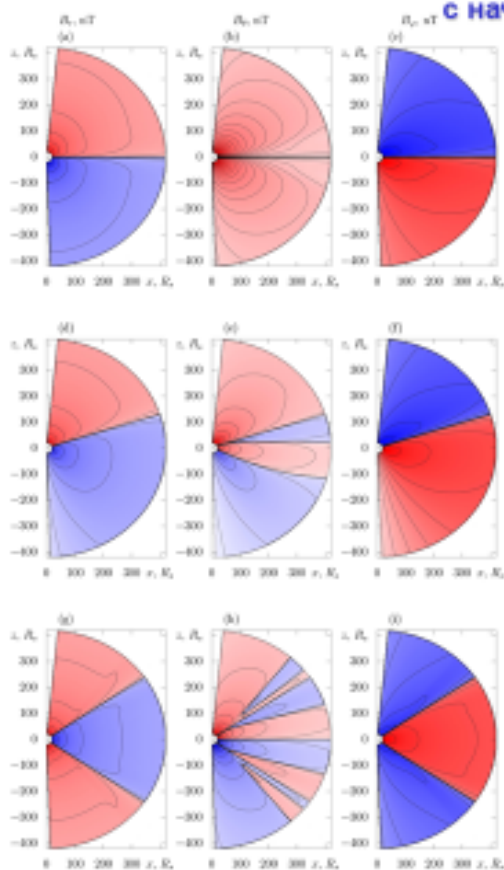
радиопросвечивания линейно-поляризованными сигналами зондов *Helios*. Proc. Plasmas in the solar system. International conference Gringauz 100. P.40-42. <https://gringauz100.cosmos.ru/>

4. Чашей И.В., Тюльбашев С.А., Субаев И.А. Глобальная структура солнечного ветра на фазе спада солнечной активности по данным мониторинга межпланетных мерцаний //Астрон. Журн. (принято в печать)

5. А. И. Ефимов, Л. А. Луканина, И. В. Чашей, М. К. Бёрд, М. Петцольд. Турбулентность магнитного поля солнечного ветра в цикле солнечной активности по данным экспериментов коронального просвечивания линейно-поляризованными сигналами зондов *HELIOS* // Астрон. Журн. (принято в печать)

3. ИКИ РАН

В рамках стационарной осесимметричной МГД-модели солнечного ветра исследованы пространственное распределение солнечного ветра и его структур на расстояниях от 20 до 400 R_S (радиусов Солнца) на всех гелиоширотах в инерциальной системе отсчета с началом в центре Солнца



Показано, что результаты моделирования описывают плавный переход от быстрого солнечного ветра на высоких гелиоширотах к медленному солнечному ветру на низких гелиоширотах. Показано, что в период максимума солнечной активности, когда на Солнце доминирует квадрупольное магнитное поле, **гелиосферный токовый слой может приобретать конусообразную форму и смещаться в область высоких широт до 30 градусов над плоскостью эклиптики. В противоположном полушарии на тех же широтах может устанавливаться второй токовый слой конической формы с азимутальным током противоположного направления** (рис.1).

Показано, что профили основных характеристик солнечного ветра укрущаются с расстоянием от Солнца, а их амплитуды уменьшаются, причем для квадрупольного поля зависимости основных характеристик солнечного ветра имеют более сложный характер. Сравнение результатов модели с осредненными характеристиками солнечного ветра показывает соответствие между наблюдаемыми величинами и модельными параметрами.

Рис.1 Распределения значений магнитных компонент b_r , B_{θ} , B_{ϕ} при различных значениях веса квадрупольной составляющей 0 (панель рис. вверху), 0.5 (в середине), 1.0 (внизу) от дипольной. Вертикальная ось карты – ось вращения Солнца, горизонтальная ось лежит в экваториальной плоскости. Координаты по осям – в R_S . Цвет на карте соответствует знаку поля. Черные линии – линии уровня поля.
Маевский и др, Физ. Плазмы, Косм Иссл. , УЗФФ, 2018

4. ИКИ РАН

Исследование структуры токовых слоев с квазиadiaбатической динамикой частиц в солнечном ветре

В рамках самосогласованной гибридной модели, основанной на квазиadiaбатическом приближении для протонов, исследована тонкая структура сильных токовых слоев (СТС) в солнечном ветре (СВ), в том числе, в гелиосферном токовом слое (ГТС). Движение электронов рассмотрено в больцмановском приближении. Показано, что профили СТС представляют собой многомасштабную конфигурацию с узким центральным токовым слоем, которая вложена в более широкий гелиосферный плазменный слой (рис.1). Особенности структуры СТС определяются относительными вкладами энергичных протонов на серпантинных орбитах и дрейфовыми токами электронов (рис.2). Модель предсказывает и описывает свойства сильных токовых слоев, наблюдающихся космическими аппаратами. Показано, что многомасштабная структура токовых слоев является неотъемлемым внутренним свойством токовых слоев в солнечном ветре.

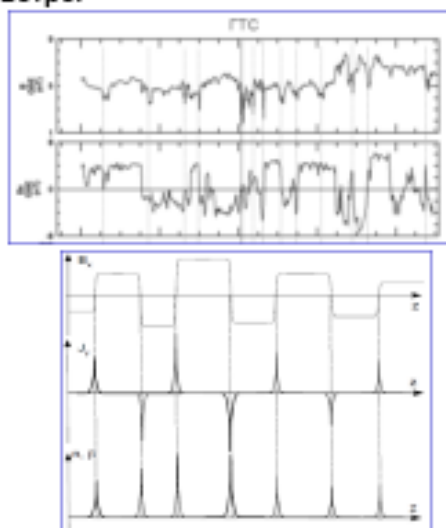


Рис.1 пересечение ГТС (вверху) и модельное представление (внизу)

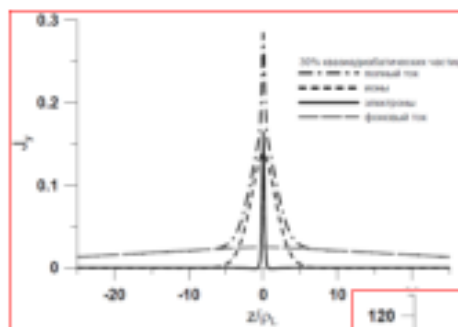
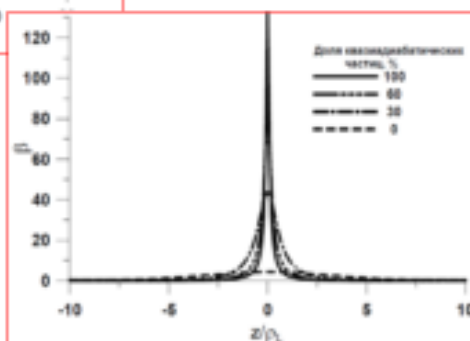


Рис.2. Структура СТС в СВ (вверху) и структура СТС в зависимости от вклада квазиadiaбатических частиц (внизу)



3 ФИЗИКА МАГНИТОСФЕРЫ

(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Формирование плазмосферного пограничного слоя и его характеристики по детальным измерениям на спутнике МАГИОН - 5

ИКИ РАН

Впервые на основе экспериментальных данных, полученных на спутнике МАГИОН-5 российского проекта ИНТЕРБОЛ, исследованы свойства плазмосферного пограничного слоя, иногда очень резкого, иногда достаточно протяженного толщиной до 1.5 радиусов Земли в экваториальной плоскости.

Показано, что в пограничном слое:

- плотность плазмы $N(L)$ падает экспоненциально с увеличением L - оболочки (рис.1)
- внутри пограничного слоя плотность ионов обратно пропорциональна объему силовой трубки с единичным магнитным потоком
- толщина слоя пропорциональна объему такой магнитной трубки.

Предложено аналитическое выражение зависимости толщины плазмосферного пограничного слоя от величины последнего максимума K_p -индекса и от времени, прошедшего до наблюдения плазмопаузы после этого максимума K_p (рис.2)

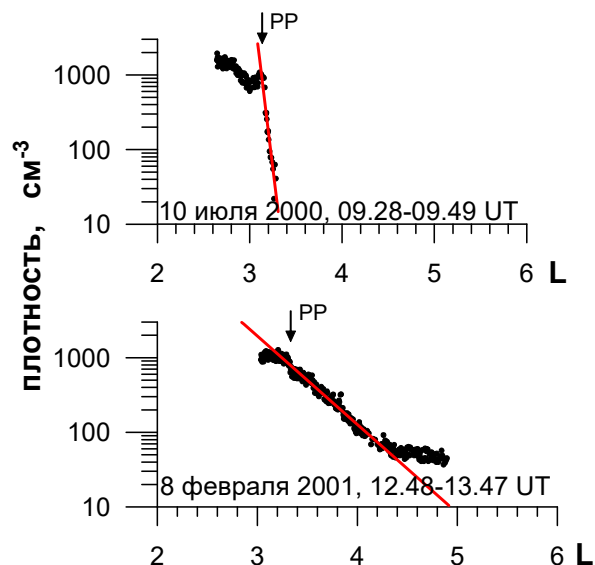


Рис.1. Примеры наблюдения плазмосферного пограничного слоя на спутнике МАГИОН-5.

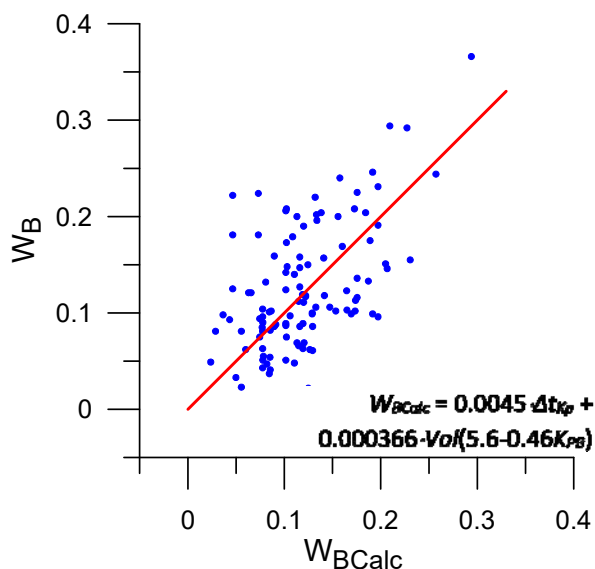


Рис.2. Сравнение рассчитанной W_{BCalc} и измеренной W_B толщины плазмосферного пограничного слоя. На красной линии $W_B = W_{BCalc}$

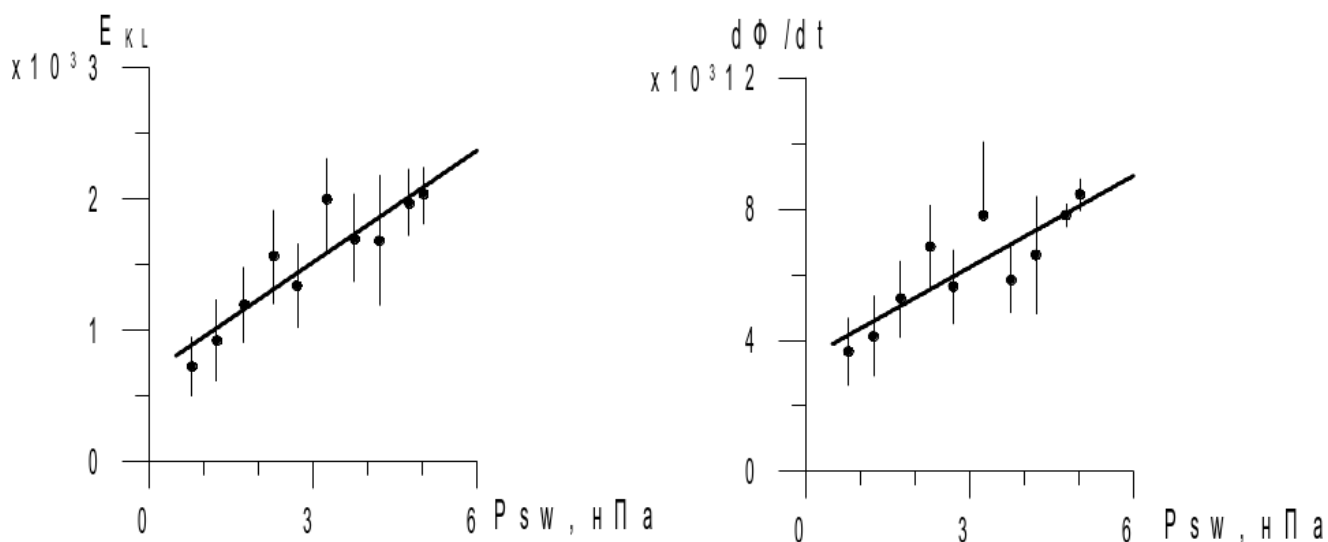
Публикация:

G. Kotova, M. Verigin, J. Lemaire, V. Pierrard, V. Bezrukikh, and J. Smilauer, Experimental Study of the Plasmasphere Boundary Layer Using MAGION 5 Data, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **123**, 1251–1259, 2018, <https://doi.org/10.1002/2017JA024590>

2. Корреляция интенсивности изолированных магнитосферных суббурь с давлением солнечного ветра перед суббурей

ПГИ РАН

Обнаружена неизвестная до сих пор закономерность космической погоды: интенсивность изолированных магнитосферных суббурь тем больше, чем больше давление солнечного ветра перед суббурей. Показано, что перед суббурей давление СВ коррелирует со скоростью накопления магнитного потока в магнитосфере, что не наблюдается в другие, произвольно выбранные периоды.



Величина функций E_{KL} и $d\Phi/dt$ в зависимости от динамического давления солнечного ветра. Точки на графиках - средние значения E_{KL} и $d\Phi/dt$ в каждом интервале P по 0.5 нПа.

Публикации:

Vorobjev V.G., Antonova E.E., Yagodkina O.I. How the intensity of isolated substorms is controlled by the solar wind parameters // Earth, Planets and Space. 70:148 doi.org/10.1186/s40623-018-0922-5. 2018.

Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е., Зверев В.Л. Влияние параметров плазмы солнечного ветра на интенсивность изолированных магнитосферных суббурь // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 58. № 3. С. 311-323. DOI:10.7868/S001679401803001X. 2018.

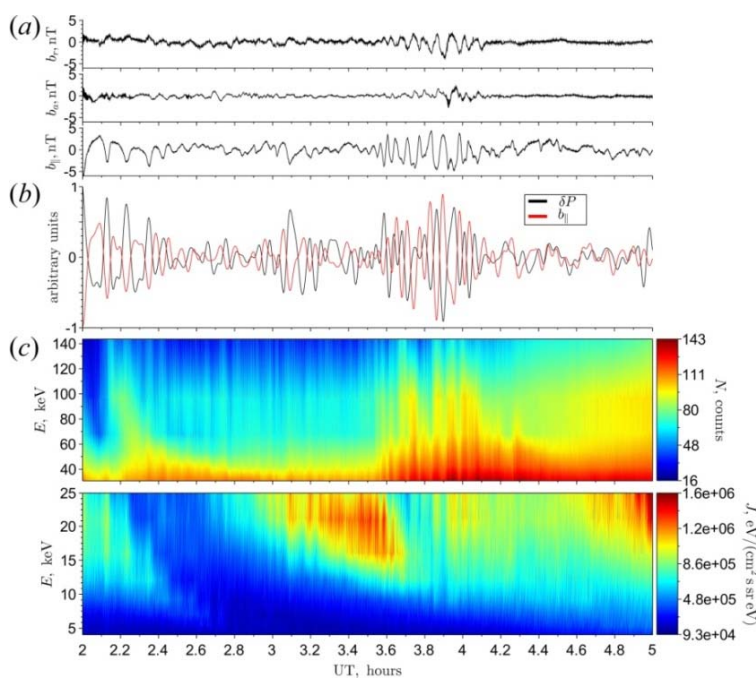
3. Дрейфовый резонанс компрессионной и альвеновской волн и высокоэнергичных протонов на основе данных спутниковых наблюдений

ИСЗФ СО РАН

На основе анализа данных спутников THEMIS и Van Allen Probes впервые получены прямые экспериментальные подтверждения роли дрейфового резонанса между низкочастотными волнами (диапазонов Pc4-5) и энергичными протонами в генерации двух типов волн: компрессионной волны Pc5 и полоидальной альвеновской волны Pc4 в районе плазмопаузы.

Дрейфово-компрессионная природа волны Pc5 была установлена за счет одновременного наблюдения волны на нескольких пространственно-разнесенных спутниках, что впервые позволило выявить пространственно-временную структуру как возмущения, так и фоновой плазмы.

Условия генерации полоидальных альвеновских волн были подтверждены сравнением спектрального состава колебаний, зарегистрированных спутником Van Allen Probe B, с данными о функции распределения заряженных частиц, которая содержала участок с положительным наклоном.



(a) Радиальная (b_r), азимутальная (b_a), и продольная ($b_{||}$) компоненты магнитного поля волны.

(b) Противофазные осцилляции плазменного давления (черная кривая) и продольной компоненты магнитного поля волны (красная кривая).

(c) Энергичные частицы, ассоциированные с волной: потоки протонов (энергии 4-25 кэВ) и отсчеты протонов (30-143 кэВ)

Публикации:

Mager, P. N., Mikhailova, O. S., Mager, O. V., & Klimushkin, D. Y. (2018). Eigenmodes of the transverse Alfvénic resonator at the plasmopause: A Van Allen Probes case study. *Geophysical Research Letters*, 45. DOI: 10.1029/2018GL079596.

A.V. Rubtsov, O.V. Agapitov, P.N. Mager, D.Yu. Klimushkin, O.V. Mager, F.S. Mozer, V. Angelopoulos. Drift resonance of compressional ULF waves and substorm injected protons from multi-point THEMIS measurements. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 2018, V. 123. Doi: 10.1029/2018JA025985.

4. Интенсивные токовые структуры электронных масштабов на фронтах диполизации в хвосте магнитосферы Земли

ИКИ РАН

Уникальная конфигурация спутников Cluster в 2013г позволила впервые исследовать магнитную структуру зоны торможения быстрых потоков и диполизации в ближнем хвосте магнитосферы Земли одновременно на ионных и электронных кинетических масштабах. На основе анализа 14 диполизаций в ближнем хвосте, сопровождающихся формированием суббурового токового клина, впервые обнаружены интенсивные токовые структуры с толщиной порядка 2-5 электронных инерционных длин, формирующихся вблизи множественных диполизационных фронтов в зоне торможения быстрых потоков. Плотность тока в таких структурах > 50 нА/м². Статистически доказано, что эти токовые структуры наблюдаются только на фазе роста диполизации.

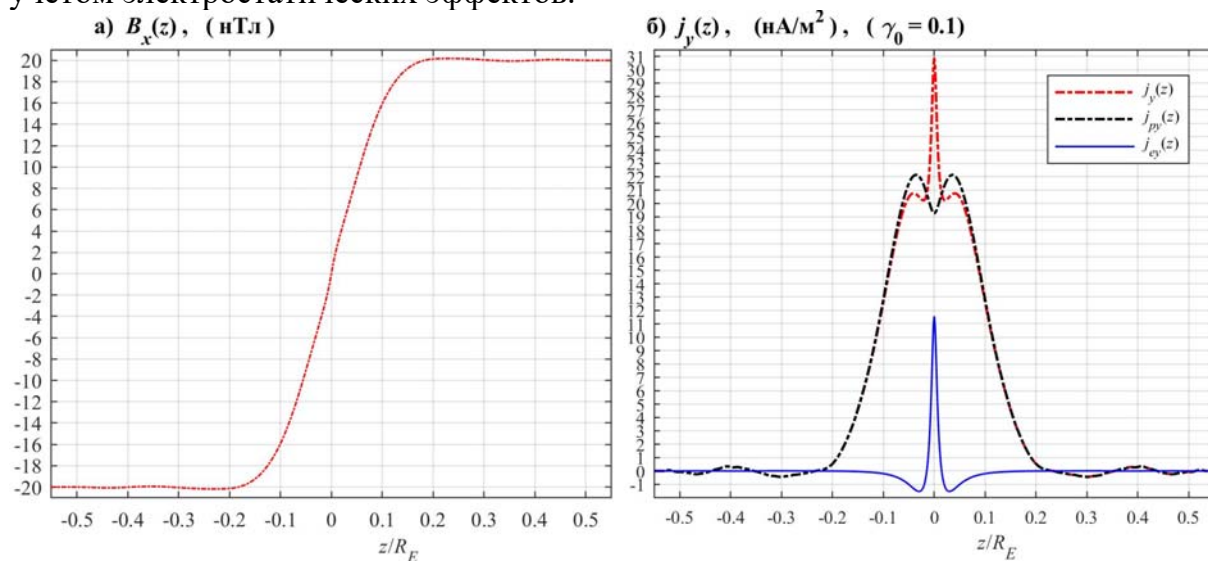
Публикации:

Grigorenko E.E., et al., *Geophys. Res. Lett.*, V.45, doi:10.1002/2017GL076303, 2018.

5. Кинетическое описание электронов в двумерных тонких токовых слоях в бесстолкновительной космической плазме

ПГИ РАН

Разработана теория для нового класса стационарных пространственно 2-мерных тонких токовых слоев (ТТС). Незамагнитенные ионы описываются уравнением Власова, которое должно решаться численно. Вклад замагнитенных электронов описывается аналитически с помощью решения кинетического уравнения Власова в дрейфовом приближении. Получено общее решение в виде функции от трех независимых интегралов дрейфовой системы уравнений движения. Рассмотрен важный случай, когда функция распределения ведущих центров электронов является распределением Максвелла–Больцмана в стационарном электромагнитном поле. Такой подход позволяет наиболее адекватно описывать ТТС в солнечном ветре и в хвосте магнитосферы Земли с учетом электростатических эффектов.



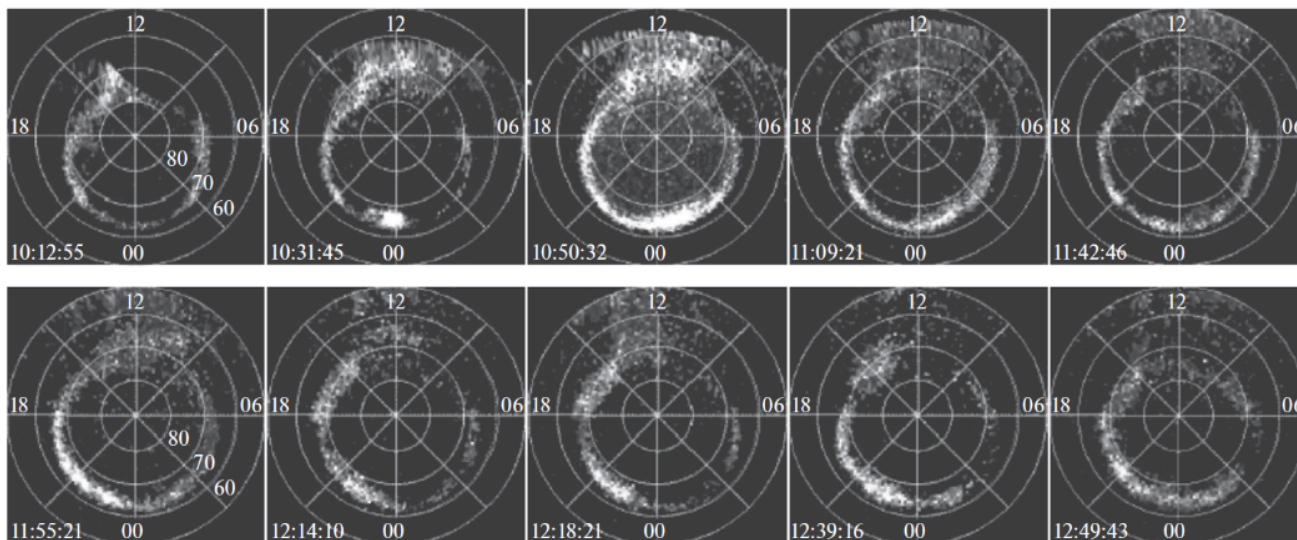
Публикация:

Мингалев О.В. и др. (2018), *Физика плазмы*, Т.44, №10, с.769–790

6. Новый тип протонного сияния на дневной стороне к экватору от протонного овала

ПГИ РАН

По данным спутника IMAGE обнаружен новый тип протонного сияния - долгоживущее свечение в эмиссии 121.82 нм на дневной стороне к экватору от протонного овала. Свечение обусловлено высыпанием в атмосферу энергичных (>10 кэВ) протонов и может охватывать десятки градусов долготы и несколько градусов широты. Сияния этого типа сопровождаются регистрацией электромагнитных ионно-циклотронных волн в сопряженной области, что указывает на связь этого типа сияний с развитием ионно-циклотронной неустойчивости в магнитосфере.



Последовательность снимков протонных сияний с высоко-апогейного спутника IMAGE в течение интервала 10:12 – 12:49 UT 1 ноября 2005 г., показывающая наличие свечения с переменной интенсивностью в дневной субавроральной зоне. Наблюдений сияний не было до 10:12 UT, но данные низкоорбитальных спутников показывают, что вызывающие эти сияния потоки протонов появились около 08 UT.

Публикация:

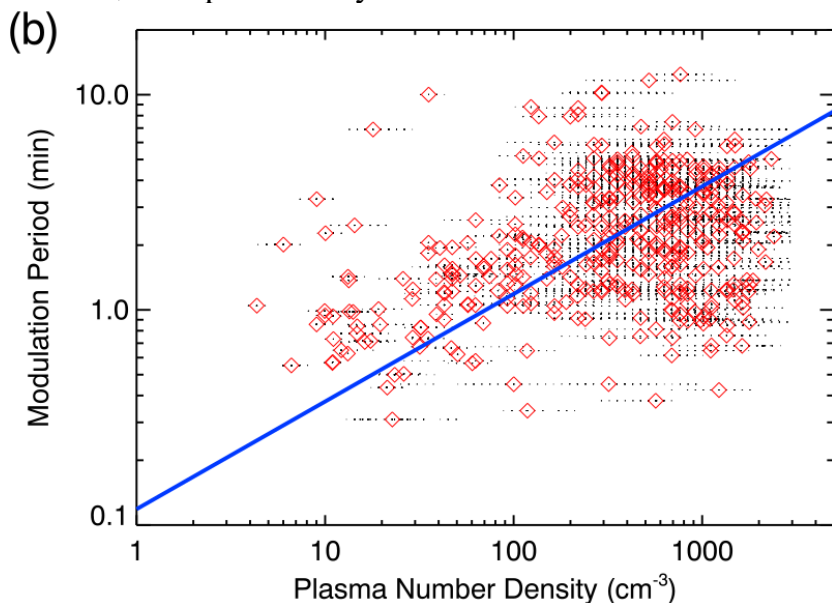
Яхнин А.Г. и др. (2018), Геомагнетизм и аэрономия, Т.58, №5, с.599–607

7. Исследование и объяснение статистики периодов квазипериодических ОНЧ излучений

ИПФ РАН

Проанализированы данные спутников Van Allen Probes по наблюдениям квазипериодических ОНЧ излучений в экваториальной области магнитосферы. Статистический анализ показал, что такие сигналы, как правило, характеризуются малыми углами распространения по отношению к магнитному полю и наблюдаются практически исключительно на частотах ниже половины экваториальной гирочастоты электронов, что указывает на важность канализованного распространения для их генерации. Сопоставлены теоретические и полученные из наблюдений соотношения

между параметрами модуляции интенсивности волн и параметрами плазмы. Медианное значение периода колебаний пропорционально корню из плотности холодной плазмы. Показано, что эта закономерность соответствует выводам теории автоколебательного режима циклотронной неустойчивости в геомагнитной ловушке.



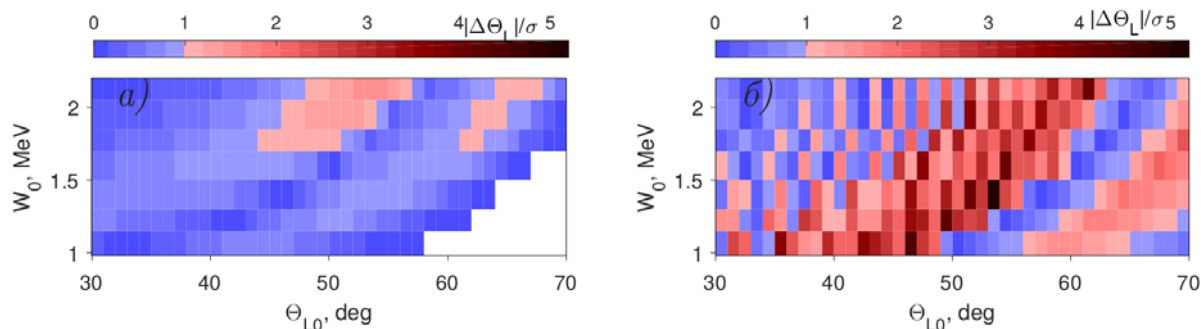
Публикация:

Němec F. et al. (2018), J. Geophys. Res Space Phys., V.123, doi:10.1029/2018JA026058

8. Параметры нелинейного резонансного взаимодействия релятивистских электронов с электромагнитными ионно-циклотронными волнами

ИПФ РАН

Проанализированы характеристики резонансного взаимодействия релятивистских электронов в радиационных поясах Земли с волновыми пакетами ионно-циклотронных волн конечной длины с переменной частотой, распространяющимися от экватора. Получено, что для пакета с гауссовым профилем амплитуды, направленный и диффузионный перенос частиц в фазовом пространстве сравнимы, в то время как для пакета с прямоугольным профилем амплитуды величина направленного изменения экваториального питч-угла может заметно (в 3÷5 раз) превосходить среднеквадратичное изменение. Наибольшее уменьшение экваториального питч-угла и наибольшая доля соответствующих частиц наблюдаются при энергиях около 1 МэВ. Доля частиц, которые могут попасть в конус потерь после однократного пролёта волнового пакета, составляет 1,0÷1,7 %.



Отношение среднего изменения питч-угла электрона за один пролет через волновой пакет ЭМИЦ волн с гауссовым (слева) и прямоугольным (справа) профилем амплитуды поля как функция начального питч-угла и энергии

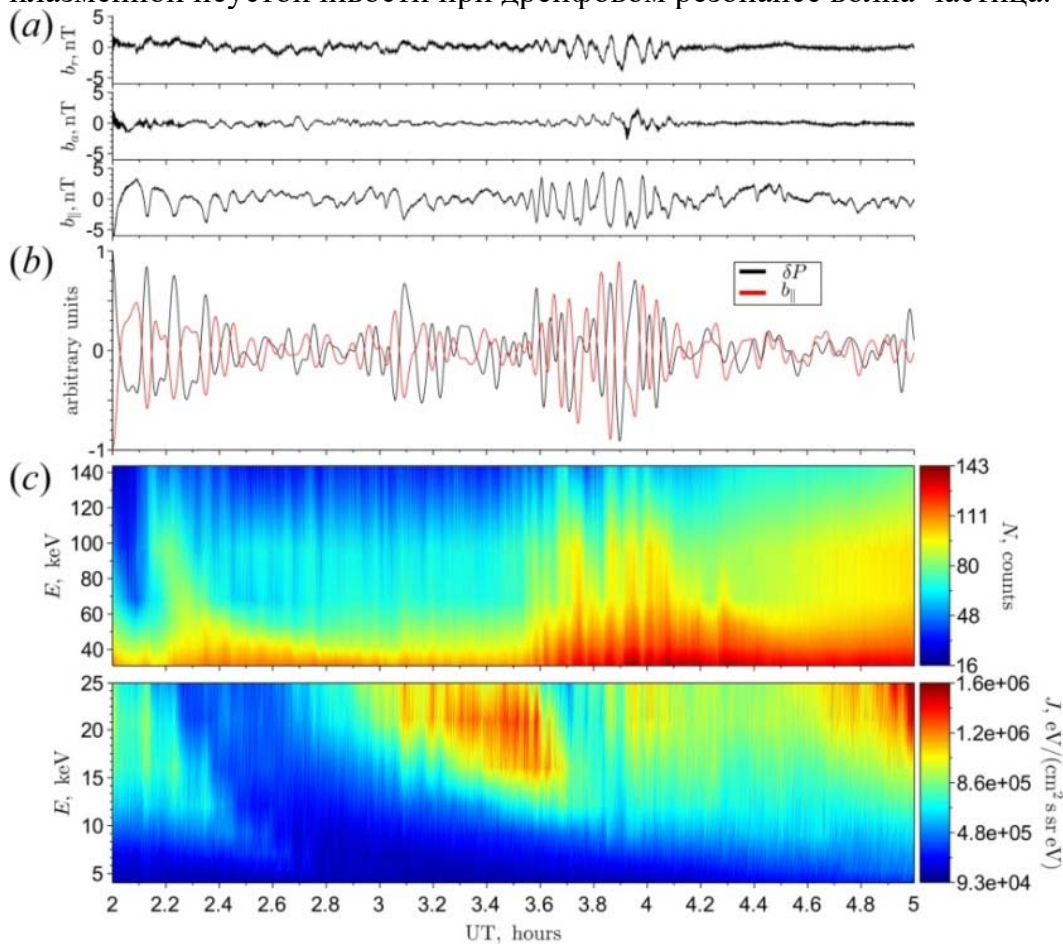
Публикация:

Грач В. С., Демехов А. Г. (2018), Известия вузов. Радиофизика, Т.61, №6. С. 441-455.

9. Дрейфовый резонанс компрессионной УНЧ-волны и высокоэнергичных протонов

ИСЗФ СО РАН

На основе анализа данных системы спутников THEMIS была детально исследована компрессионная волна типа Pc5 и ее взаимодействие с высокоэнергичными частицами, инжектированными в магнитосферу в результате двух последовательных суббурь. Одновременное наблюдение волны на нескольких пространственно-разнесенных спутниках впервые позволило выявить пространственно-временную структуру как возмущения, так и фоновой плазмы. Показано, что изученная волна может быть классифицирована как дрейфово-компрессионная мода, генерированная в результате плазменной неустойчивости при дрейфовом резонансе волна-частица.



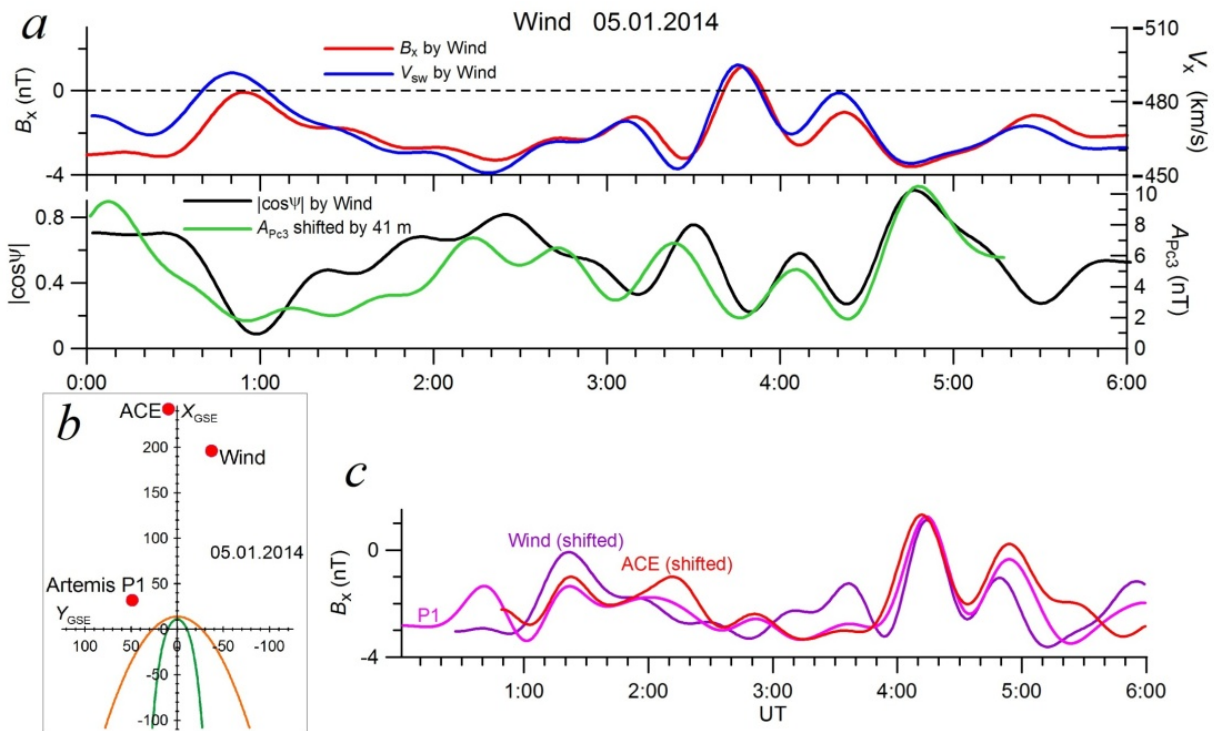
Публикация:

Rubtsov A.V. et al. (2018), J. Geophys. Res. Space Phys., V.123. doi:10.1029/2018JA025985

10. Эффект Троицкой-Большаковой как магнитосферное проявление турбулентности в солнечном ветре

ИСЗФ СО РАН

На примере двух десятков 6-часовых интервалов наблюдения геомагнитных пульсаций типа P_{с3} продемонстрировано воздействие изменений направления межпланетного магнитного поля (ММП) на амплитуду пульсаций (эффект Троицкой-Большаковой). Показано, что альвеновские волны, распространяющиеся в солнечном ветре, вызывают глубокую модуляцию пульсаций P_{с3} на земной поверхности.



(a) Сопоставление по данным Wind вариаций радиальных компонент ММП и скорости СВ (верхняя панель) и сравнение сдвинутых по времени вариаций наземной амплитуды P_{с3} с модулем косинуса конусного угла (нижняя панель); (b) взаимное расположение космических аппаратов 5 января 2014 г. в проекции на плоскость эклиптики; (c) вариации радиальной компоненты ММП по измерениям на трех космических аппаратах.

Публикация:

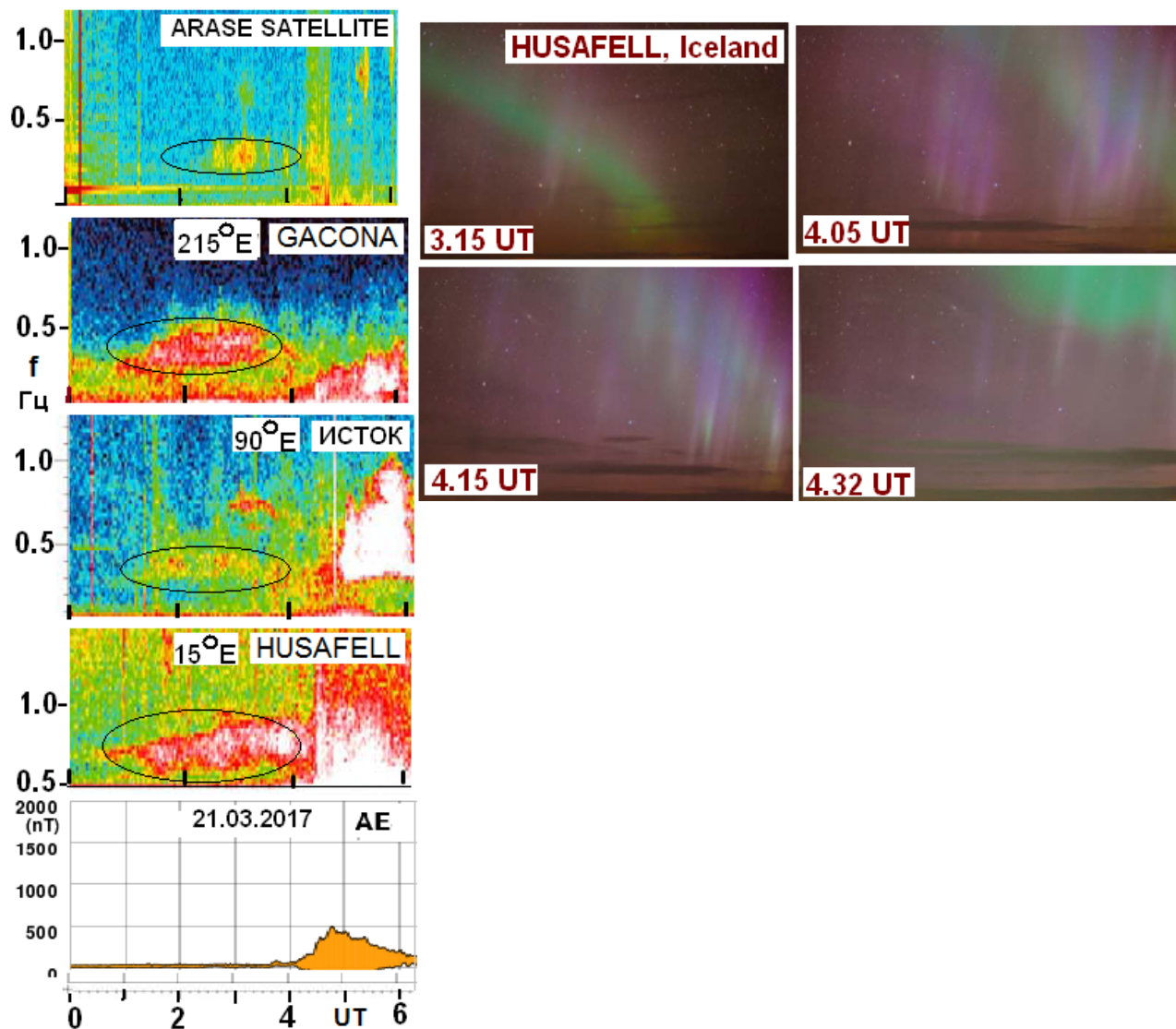
Potapov A.S. et al. (2018), Planet. Space Sci. V.151. P.78–84. doi:10.1016/j.pss.2017.11.008

11. Глобальные пульсации P_{с1} и фиолетовые авроральные лучи во время усиления плотности солнечного ветра

ИСЗФ СО РАН

Обнаружено аномальное возбуждение пульсаций P_{с1} в субавроральной зоне в широком диапазоне долгот (~200 град.) и высвечивание фиолетовых высотных полярных сияний до начала бури 21.03.2017. Такая ситуация может быть обусловлена взаимодействием

турбулентного потока солнечного ветра с магнитосферой Земли, характерной для эпохи спада солнечной активности.



Публикация:

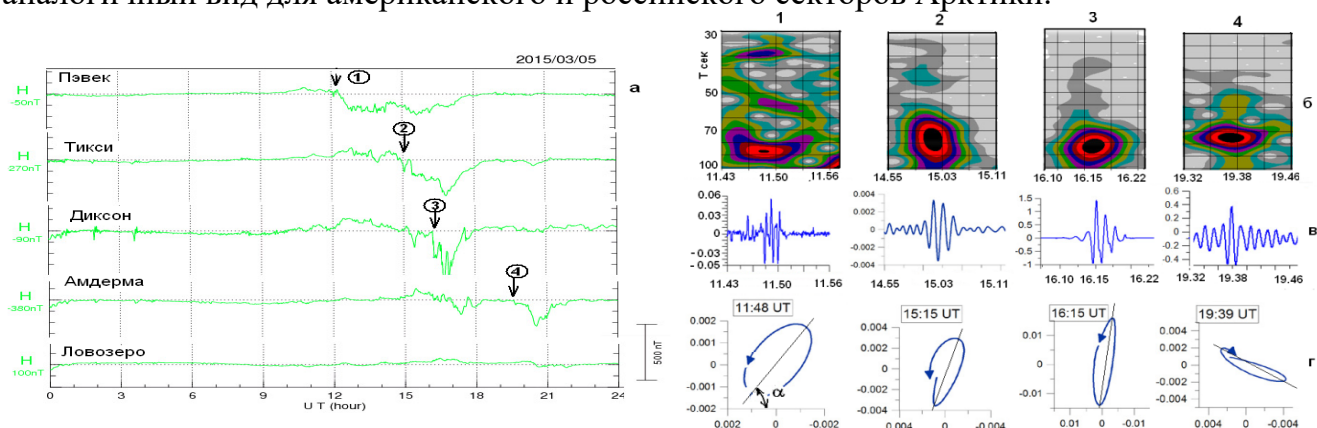
Shiokawa K. et al. (2018), Geophysical Research Letters. V.45. doi:10.1029/2018GL079103

12. Динамика поляризации пульсаций Pi2 на средних широтах в течение развития суббури в авроральной зоне

ИСЗФ СО РАН

Впервые обнаружена и исследована зависимость ориентации главной оси эллипса поляризации среднеширотных пульсаций Pi2 в зависимости от долготы развития суббури в авроральной зоне, что открывает возможность оценивать долготный ход развития суббури по наблюдениям пульсаций в средних широтах. Возбуждение цуга пульсаций Pi2, наблюдаемых в средних широтах, стимулировано суббурей в авроральной зоне. В правой части приведены соответствующие этим суббурям появления цугов Pi2 в средних широтах, их соответствующие спектры, и вычисленный по компонентам Hс-ю и Hв-з эллипс поляризации. В процессе развития возмущений

область суббуревой активности перемещается по долготе с востока на запад. В соответствии с этим, ориентация главной оси эллипса (величина угла α) меняет свой наклон. Величина угла α соответственно изменяется в зависимости от долготы практически по линейному закону. Обнаруженные долготные зависимости имеют аналогичный вид для американского и российского секторов Арктики.



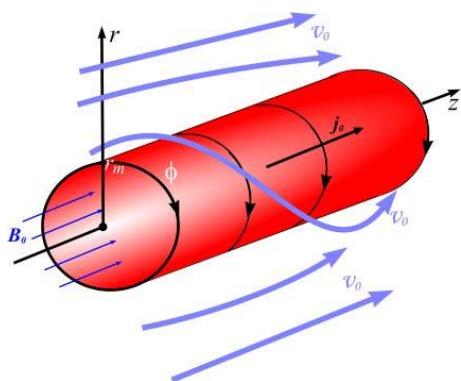
Публикация:

Rakhmatulin R.A., Pashinin A.Yu. (2018), Sol.-Terr. Phys. V.4. doi:10.12737/szf-43201807

13. Неустойчивость плазменного цилиндра с током в спиральном потоке плазмы

ИСЗФ СО РАН

Исследована устойчивость плазменного цилиндра с током в спиральном потоке плазмы. На границе цилиндра, обтекаемого потоком плазмы, раскачиваются неустойчивые поверхностные моды МГД-колебаний. Показано, что асимметричные МГД-моды в плазменном цилиндре устойчивы, если скорость потока плазмы ниже некоторого определенного порога. Для симметричных мод такой порог по скорости потока плазмы отсутствует: симметричные моды неустойчивы в любых сколь угодно медленных потоках плазмы. Для всех поверхностных волн существует верхний порог скорости обтекающего цилиндра потока плазмы, при превышении которого они устойчивы. Проведены расчеты инкремента неустойчивых колебаний в равновесном плазменном цилиндре с током, который моделирует низкоширотный пограничный слой (НПС) геомагнитного хвоста. Для границы геомагнитного хвоста (магнитопаузы) используется модель тангенциального разрыва. Показано, что магнитопауза в геомагнитном хвосте неустойчива к раскачке поверхностных волн в потоках солнечного ветра с низкой и средней скоростью, но становится устойчивой в высокоскоростных потоках. Однако НПС может оставаться слабо неустойчивым к излучательным модам МГД-колебаний.



Публикация:

Leonovich A.S. et al. (2018), J. Plasma Phys. V.84. doi:10.1017/S0022377818000235

Цилиндрическая модель геомагнитного хвоста с плавным переходным слоем, обтекаемого спиральным потоком плазмы

14. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца в низкоширотном пограничном слое с плавным переходным слоем

ИСЗФ СО РАН

Решена задача об устойчивости низкоширотного пограничного слоя (НПС) геомагнитного хвоста. Исследование проведено с использованием цилиндрической модели геомагнитного хвоста с размытой границей, обтекаемой спиральным потоком солнечного ветра. Показано, что в такой плазменной системе существуют неустойчивые МГД-волны трех видов: 1) поверхностные волны на магнитопаузе, 2) волны, излучаемые в солнечный ветер, и 3) собственные моды волновода в геомагнитном хвосте. Наибольший инкремент имеют неустойчивые поверхностные волны, сгенерированные в низко- и среднескоростных потоках солнечного ветра. Они раскачиваются на частотах, охватывающих диапазоны геомагнитных пульсаций от Pc3 (периоды колебаний 10-50 с) до Pc6 (с периодами более 600 с) включительно. В высокоскоростных потоках солнечного ветра магнитопауза устойчива к раскачке на ней поверхностных волн, но неустойчива к излучательной моде колебаний. Величина инкремента таких колебаний на порядок меньше, чем у поверхностных волн, генерируемых в медленных и среднескоростных потоках солнечного ветра.

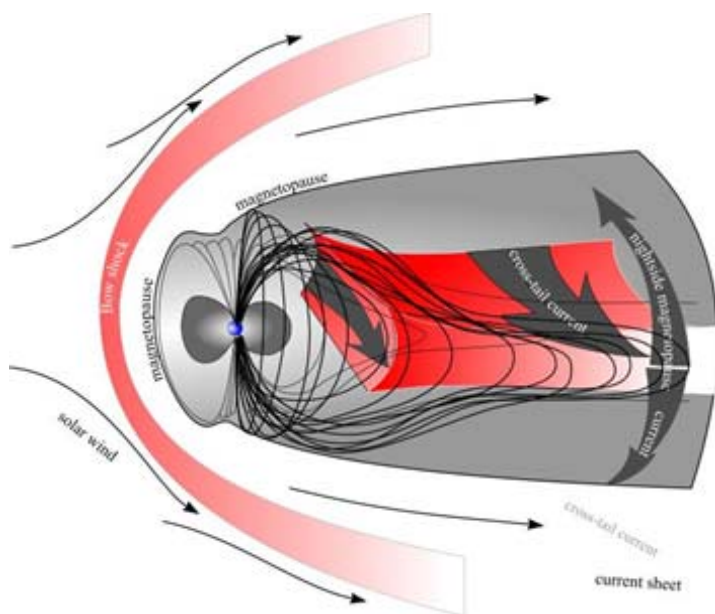


Схема низкоширотного пограничного слоя геомагнитного хвоста, моделируемого плазменным цилиндром с током

Публикация:

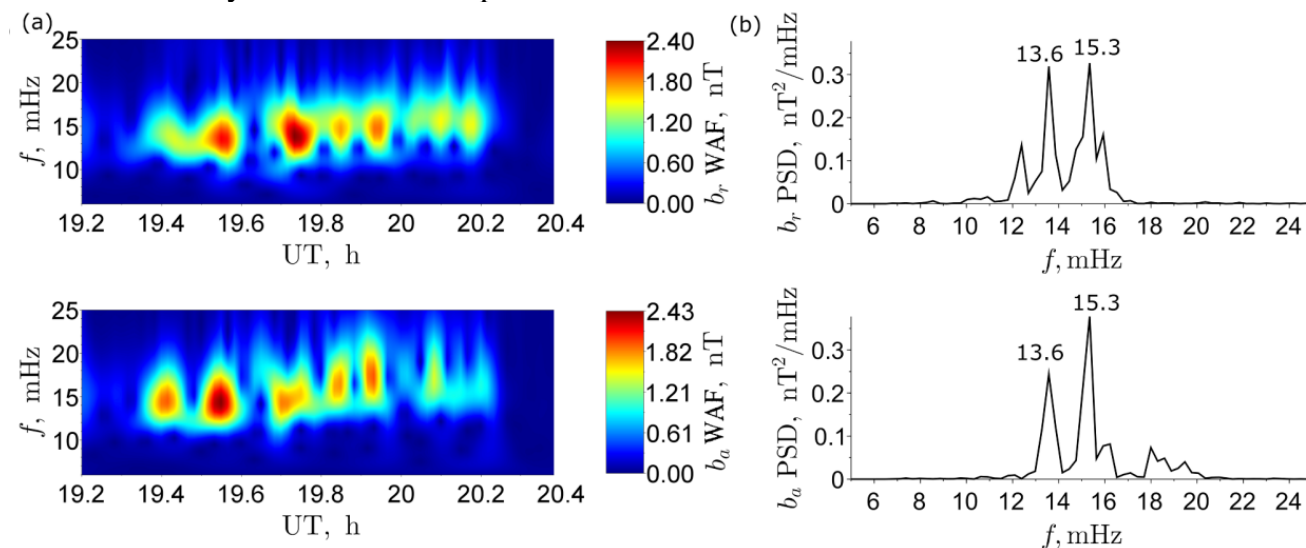
Leonovich A.S., Kozlov D.A. (2018), J. Geophys. Res. V.123. doi:10.1029/2018JA025552

15. Собственные моды поперечного альфвеновского резонатора

ИСЗФ СО РАН

На основе анализа данных спутника Van Allen Probes В была детально исследована полоидальная альфвеновская волна типа Pc4 в районе плазмопаузы. Показано наличие дрейфового резонанса волны с частицами с энергиями около 80 кэВ. Спектр волны содержал по меньше мере две гармоники с частотами 15.3 и 13.6 мГц. Показано, что эти

гармоники могут быть собственными модами поперечного резонатора в районе внешней кромки плазмопаузы, предсказанного разработанной в ИСЗФ теорией. Функция распределения частиц содержала участок с положительным наклоном, что соответствует условиям генерации полоидальной альвеновской волны за счет плазменной неустойчивости при взаимодействии с энергичными частицами в магнитосфере. Тем самым впервые было экспериментально подтверждено существование на внешней кромке плазмопаузы резонатора для полоидальных альвеновских волн, генерируемых плазменной неустойчивостью при взаимодействии "волна-частица".



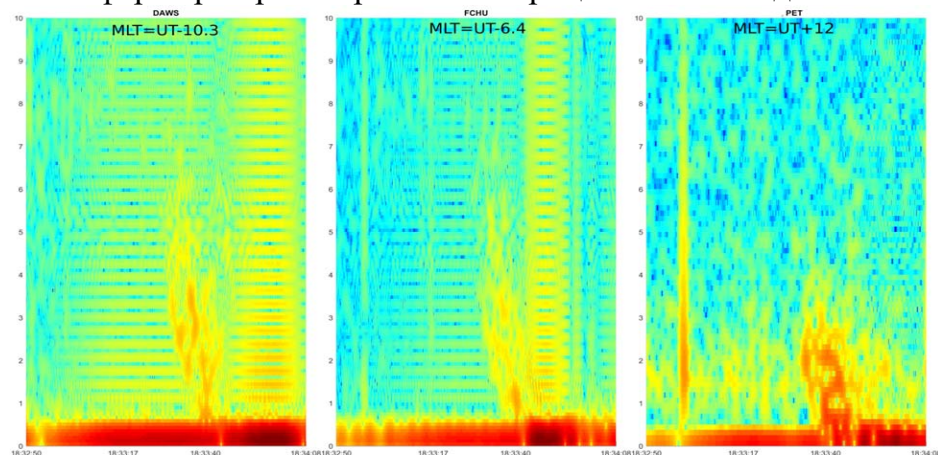
Публикация:

Mager P. N. et al. (2018), Geophys. Res. Lett. V.45. doi:10.1029/2018GL079596

16. Процессы в магнитосфере, предшествующие магнитной буре 22.06.2015 г. и вызванные межпланетной ударной волной

ИКИР ДВО РАН

С использованием данных наземных измерений индукционными магнитометрами, распределёнными по Земле обнаружен глобальный предвестник главной фазы бури в виде цуга колебаний с падающей частотой, имеющего спектральную резонансную структуру в диапазоне 0.25–11 Гц и длительность около 20 с и проявляющегося одновременно на всех пунктах. Предполагается, что предвестник может возбуждаться в волноводе Земля — ионосфера импульсным электрическим полем, которое возникает в ионосфере при кратковременных процессах взаимодействия МУВ с магнитосферой.



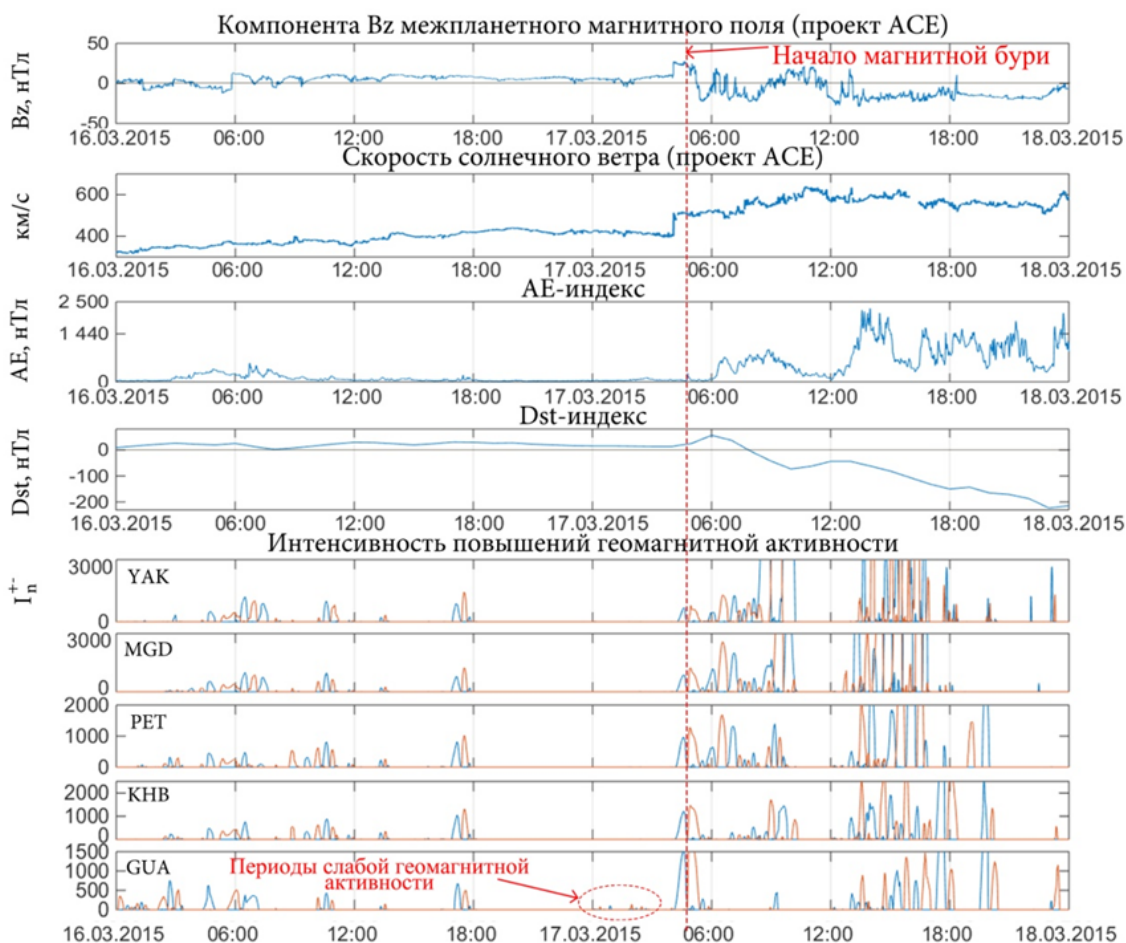
Публикация:

Parkhomov V.A. et al. (2018), Sol.-Terr. Phys. V.4. doi:10.12737/stp-43201808

17. Метод анализа активности по геомагнитным данным

ИКИР ДВО РАН

Выделены предшествующие магнитным бурям синхронные (от высоких широт до экватора) геомагнитные возмущения, коррелирующие с флуктуациями ММП и возрастаниями АЕ-индекса. Выявлено, что на фоне малых вариаций ММП и повышения авроральной активности возможно возникновение кратковременных возрастаний геомагнитной активности на экваториальных широтах. Подтверждено предположение, что критическая особенность стойкости в магнитосфере является результатом сочетания солнечного ветра и внутренней магнитосферной активности, связанной с авроральными процессами.



Публикация:

Mandrikova O.V. et al. (2018), Ann. Geophys. V.36. doi:10.5194/angeo-36-1207-2018

18.Верификация метода краткосрочного прогноза геоэффективных солнечных вспышек

НИРФИ ННГУ

Выполнена верификация метода краткосрочного прогноза геоэффективных солнечных вспышек, основанного на наблюдениях долгопериодных пульсаций магнитного поля Земли (по данным 2-х геомагнитных станций для 2-х протонных вспышек). Подтверждено, что для анализа предпочтительно использовать данные среднеширотных станций.

Публикация:

Калинин В.Б. и др. (2018), Труды XXII научной конференции по радиофизике (Нижний Новгород, 15-29 мая 2018 г.).

4 ФИЗИКА ИОНОСФЕРЫ

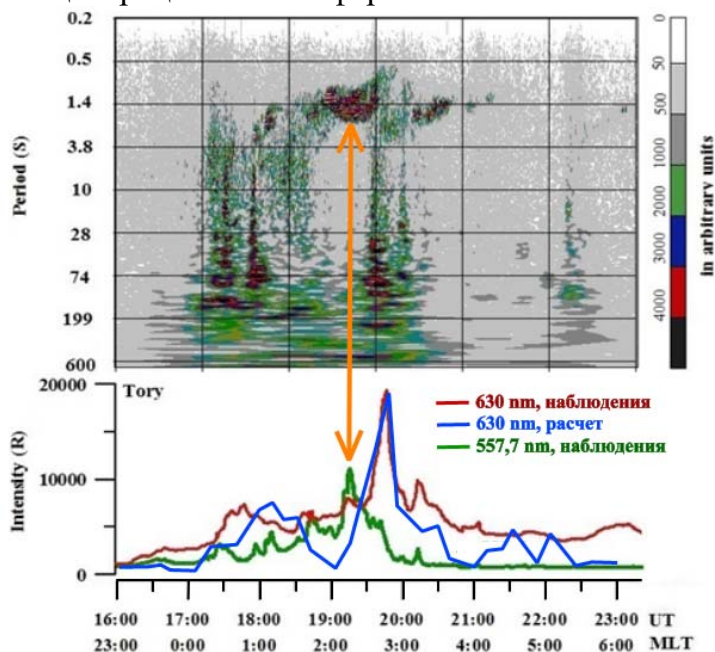
(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Экстремальные геомагнитные и оптические возмущения на средних широтах во время супербури 20 ноября 2003 года

ИСЗФ СО РАН

На основе обработки данных мировой сети магнитометров методом техники инверсии магнитограмм и наблюдений оптических эмиссий в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН во время супербури 20.11.2003 г. установлено, что южная граница зоны продольных токов и связанных с ними высыпаний энергичных электронов сместилась на средние широты. Эта граница во время двух суббуревых активизаций в 17:20 и 19:40 UT достигла широты Иркутска, где наблюдался комплекс явлений присущих авроральной зоне, включая одновременные всплески рекордной интенсивности свечения в зеленой линии 557.7 нм и короткопериодных пульсаций Pi1B/Pi1C, вызванных высыпаниями жестких электронов с энергиями $E \geq 2$ кэВ, возрастание интенсивности свечения в красной линии 630.0 нм до рекордного значения 20 кРл, обусловленное высыпаниями низко-энергичных электронов ($E \leq 1$ кэВ) в сильно нагретой нейтральной атмосфере ($T_n \approx 1500 \div 1600$ К) и увеличением электронной концентрации в ионосфере.



Изменения периодов колебаний и интенсивностей свечения линий 557.7 нм и 630.0 нм в выделенный интервал времени во время супербури 20.11.2003 г.

Публикация:

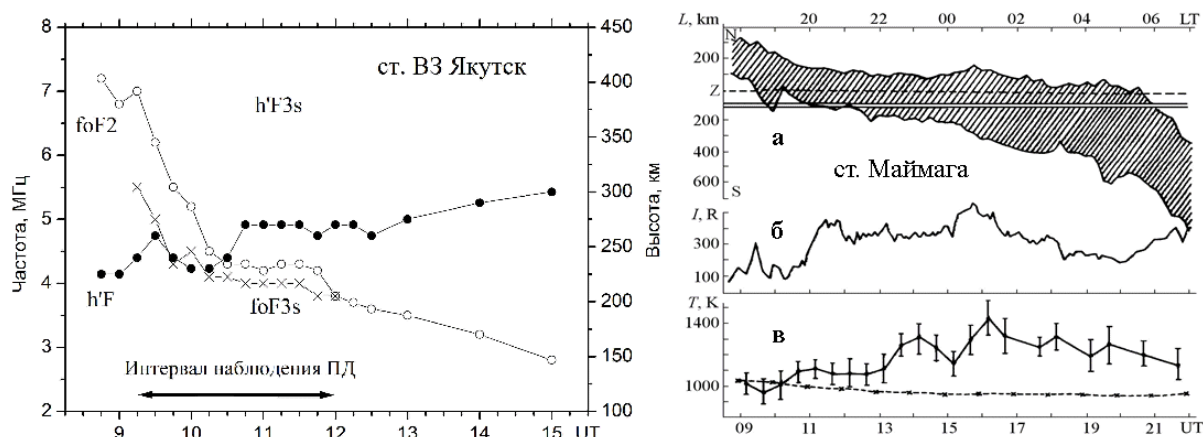
Mishin V.V., Lunyushkin S.B., Mikhalev A.V., Klibanova Yu.Yu., Tsegmed B., Karavaev Yu.A., Tashchilin A.V., Leonovich L.A., Pensikh Yu.V. Extreme geomagnetic and optical disturbances over irkutsk during the 2003 November 20 superstorm // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2018. DOI:10.1016/j.jastp.2018.10.013.

2. Впервые экспериментально обнаружен разогрев нейтральной атмосферы в полосе поляризационного джета при развитии SAR-дуги

ИЗМИРАН, ИКИ РАН, ИКФИА СО РАН

На основе комплексных измерений впервые показано, что в полосе поляризационного джета происходит повышение температуры нейтральной атмосферы на несколько сот градусов относительно фонового уровня. В этой полосе генерируется SAR-дуга с интенсивностью 100-500 Релей за счет фрикционного разогрева среды при движении ионов со скоростью 1-3 км/сек через нейтральную атмосферу.

Измерения проведены на субавроральных станциях Якутск и Маймага. Пространственное положение и интенсивность SAR-дуги определялась меридиональным сканирующим фотометром. Температура нейтральной атмосферы регистрировалась интерферометром Фабри-Перо. Результаты показывают, что температура нейтральной атмосферы увеличивается в области SAR-дуги, следуя за вариациями свечения в дуге.



Оптические и ионосферные измерения 2 декабря 1989 г. Слева - вариации параметров ионосферы во время развития SAR-дуги. Светлые кружочки – ход критических частот $foF2$, черные кружочки – ход минимальных высот $h'F2$ регулярного F2-слоя. Крестики - ход критических частот спорадического слоя $F3s$, свидетельствующего о развитии поляризационного джета в зените ионосферной станции. Справа - оптические измерения во время наблюдения SAR-дуги, где а) положение красной дуги по измерениям сканирующего фотометра, б) значения интенсивности линии 630.0 нм в дуге, в) вариации температуры нейтральной атмосферы в области F. Штриховая линия с крестиками обозначает усредненные за месяц вариации температуры нейтральной атмосферы для невозмущенных дней.

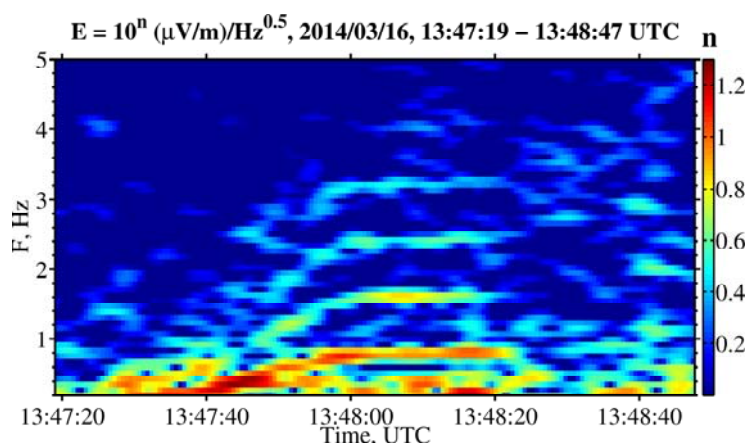
Публикация:

Khalipov V.L., Stepanov A.E., Ievenko I.B., Kotova G.A., Panchenko V.A. Formation of red arc in the polarization jet band // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2018. Vol. 179. P. 494-503.

3. Возбуждение в верхней ионосфере электромагнитных возмущений УНЧ диапазона молниевым разрядом

ИКИ РАН, ИФЗ РАН

На основе численного моделирования показано, что в результате молниевых разрядов возбуждается взаимосвязанная система волн, охватывающая как ионосферный альвеновский резонатор, так и ионосферный волновод для быстрых магнитозвуковых волн. Поэтому полученные частотные спектры возбуждаемых волн обладают резонансной структурой. Построенная модель позволила понять природу многополосных УНЧ сигналов, обнаруженных на низкоорбитальных спутниках, и дать количественное объяснение этого явления.



Пример наблюдения многополосных УНЧ сигналов на микроспутнике Чибис-М (Pilipenko et al., 2017)

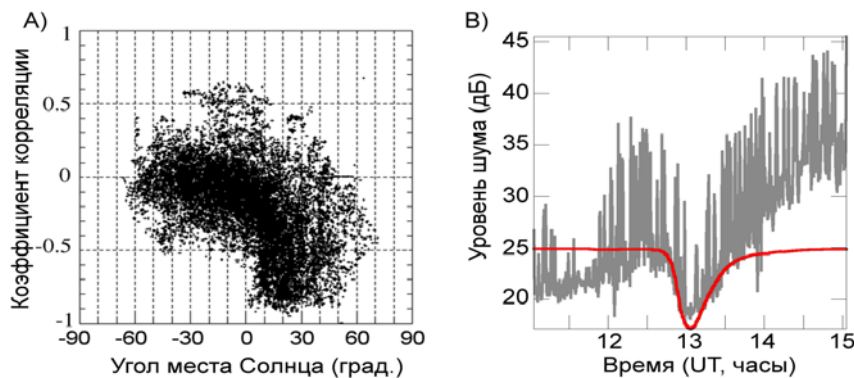
Публикация:

Mazur N.G., Fedorov E.N., Pilipenko V.A., Vakhnina V.V. ULF electromagnetic field in the upper ionosphere excited by lightning // J. Geophysical Research: Space Physics, 123, 6692-6702, 2018.

4. Связь вариаций уровня радишума на декаметровых (8-20 МГц) радарх и интенсивности рентгеновских солнечных вспышек на длинах волн 1-8 Ангстрем

ИСЗФ СО РАН при участии зарубежных партнеров

На основе совместного анализа данных 10 радаров декаметрового (8-20 МГц) диапазона (9 радаров SuperDARN северного полушария и Екатеринбургский радар ИСЗФ СО РАН) исследовано поведение уровня минимального радишума во время 80 рентгеновских солнечных вспышек (2013-2017 гг). В результате, обнаружена сильная антикорреляция между мощностью шума и интенсивностью рентгеновских вспышки в диапазоне 1-8 Å, при этом в 88.3% случаев динамика затухания дневного радишума отслеживает временную динамику интенсивности рентгеновской солнечной вспышки. Тем самым показаны диагностические возможности измерений этого шума.



А) Коэффициент корреляции Пирсона между интенсивностями декаметрового радиошума и рентгеновского солнечного излучения на длинах волн 1-8 Å при различных углах места Солнца по данным наблюдений 80 вспышек на 10 радарах; В) Динамика радиошума на частоте ~10 МГц (серым цветом) по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН и интенсивности рентгеновского излучения Солнца (красная линия) в диапазоне 0.1-0.8 нм по данным спутника GOES во время вспышки 18/04/2014.

Публикация:

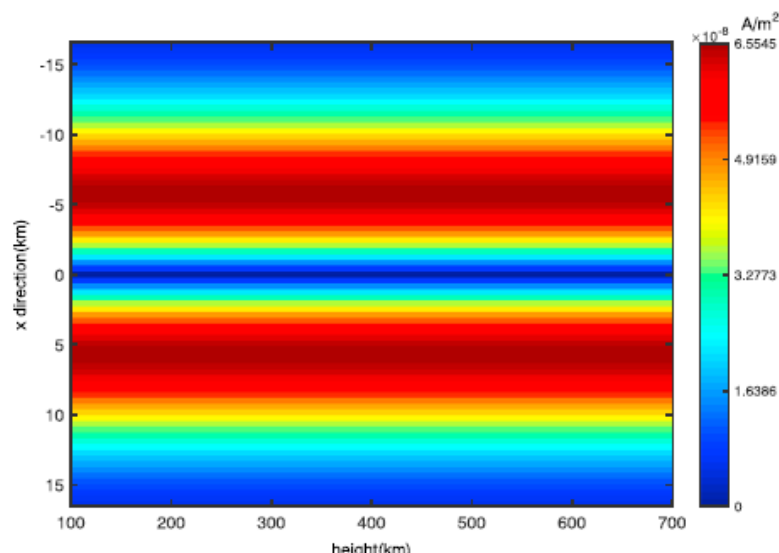
Berngardt O.I., Ruohoniemi J.M., Nishitani N., Shepherd S.G., Bristow W.A., Miller E.S., Attenuation of decameter wavelength sky noise during x-ray solar flares in 2013–2017 based on the observations of midlatitude HF radars // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.*, 173, 1-13, 2018, doi: 10.1016/j.jastp.2018.03.022.

5. Теория возбуждения искусственных неоднородностей в F-слое ионосферы под воздействием мощных ВЧ-радиоволн X-поляризации

ИЗМИРАН при участии зарубежных партнеров

Впервые теоретически предложен механизм формирования мелкомасштабных искусственных неоднородностей в F-слое при воздействии на ионосферу мощных ВЧ радиоволн X-поляризации. Механизм основан на двухступенчатом процессе – первоначальном развитии крупномасштабной тепловой самофокусирующей неустойчивости, а затем на ее фоне мелкомасштабной температурной дрейфовой неустойчивости.

Обычно возбуждение мелкомасштабных неоднородностей при нагреве ионосферы мощными ВЧ радиоволнами связывают с верхнегибридным и ленгмюровским резонансами. Области таких резонансов может достичь только обыкновенная радиоволна (волна O-поляризации), необыкновенная волна (волна X-поляризации) всегда отражается ниже этих резонансов. Тем не менее, эксперименты с помощью нагревного стенда в Тромсе показали возможность возбуждения искусственных мелкомасштабных неоднородностей при воздействии на авроральную ионосферу мощных ВЧ радиоволн X-поляризации. Предложенная теория дает первое объяснение таких экспериментальных данных. Полученные на основе этой теории характерные времена возбуждения мелкомасштабных неоднородностей соответствуют средним значениям, полученным в эксперименте.



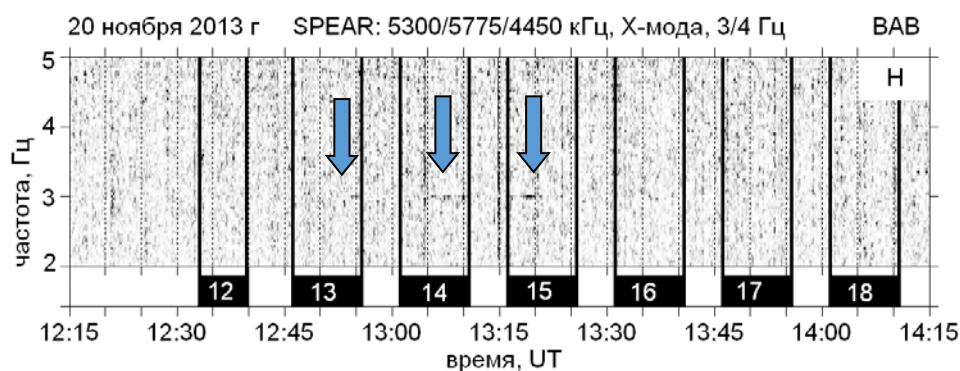
Теоретические оценки высотного распределения продольных электрических токов при нагреве ионосферы волной X-поляризации для условий эксперимента с помощью нагревного стенда в Тромсе от 19.10.2012 г.

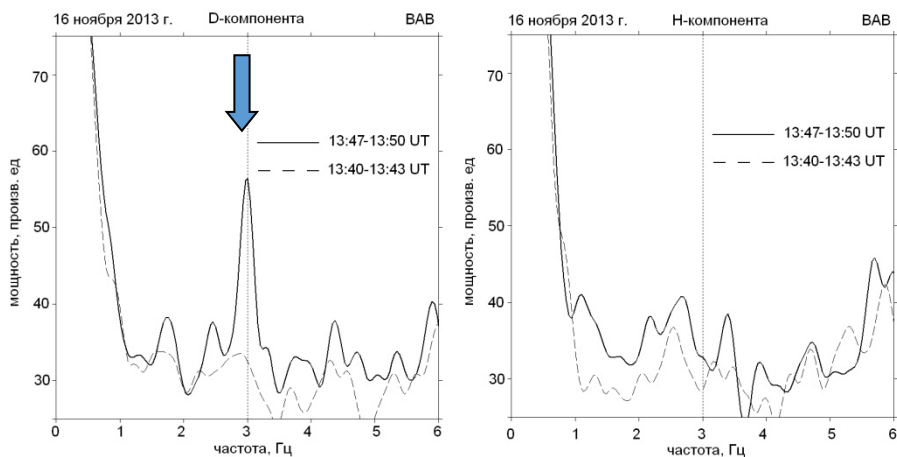
Публикация:

Borisov N., Honary F., Li H. Excitation of plasma irregularities in the F-region of the ionosphere by powerful radio waves of X-polarization // J. Geophys. Res.: Space Phys. 123(6), 5246-5260, 2018.

- 6. Впервые в мировой практике экспериментов по модулированному нагреву ионосферы КВ-волной продемонстрирована связь режимов генерации искусственных пульсаций герцевого диапазона с динамикой аврорального электроджета (нагревный стенд SPEAR, Шпицберген)**

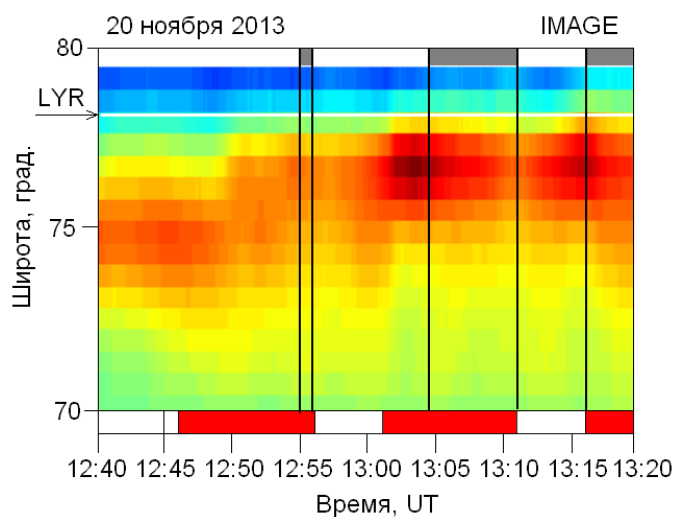
ПГИ РАН, ААНИИ





Сонограммы и спектральная плотность шумового фона по данным индукционного магнитометра ПГИ в Баренцбурге, иллюстрирующие факт регистрации искусственных пульсаций на частоте 3 Гц (голубые стрелки). Черные прямоугольники - интервалы излучения нагревной волны стендом SPEAR

Пульсации начинают обнаруживаться при приближении полюсной границы электроджета к области воздействия (рисунок ниже) и пропадают, когда электроджет от нее удаляется.



Динамика электроджета по данным MIRACLE. Красные прямоугольники – интервалы нагрева, серые – интервалы пульсаций

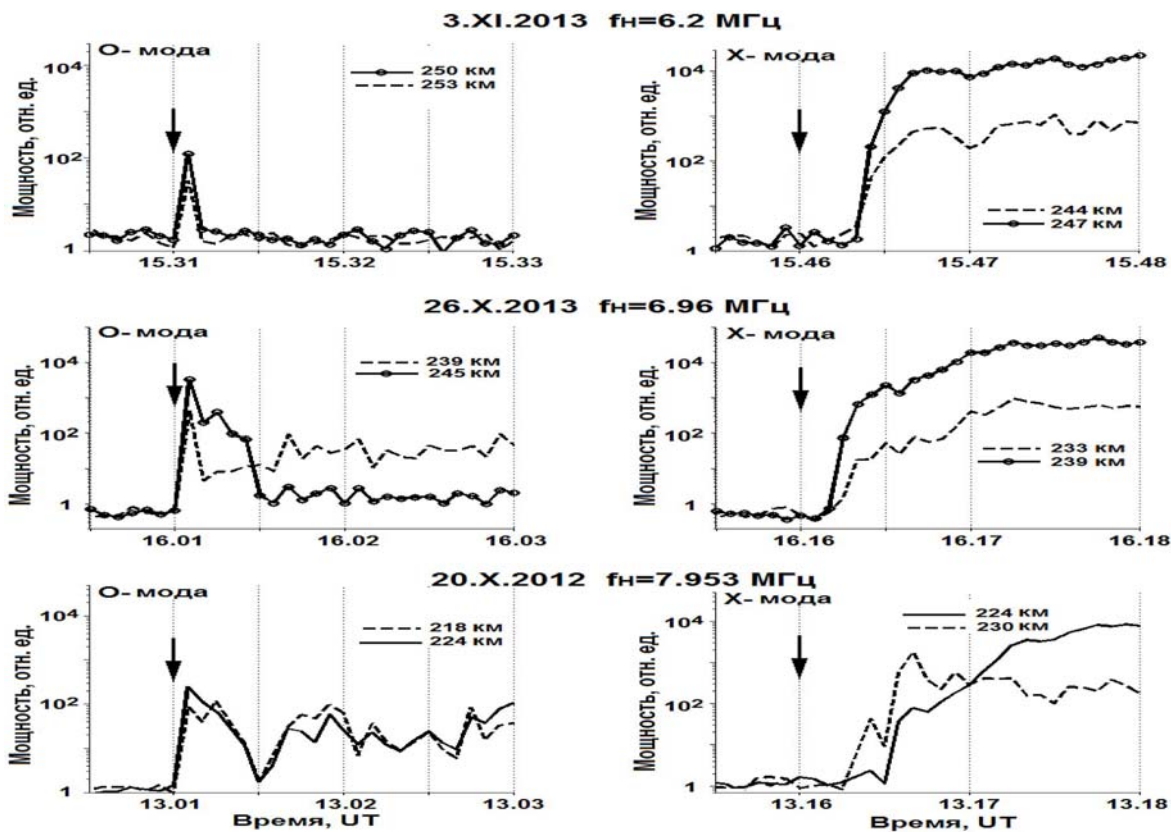
Публикация:

Сафаргалеев В.В., Благовещенская Н.Ф., Бадделей Л.Дж., Григорьев В.Ф., Борисова Т.Д. Связь искусственных пульсаций герцевого диапазона с динамикой аврорального электроджета: эксперимент на стенде SPEAR // Геомагнетизм и Аэрономия. Том 58. № 5. С.690–699. 2018.

7. Сравнение эффектов воздействия мощных КВ радиоволн обыкновенной (О-мода) и необыкновенной (Х-мода) поляризации на высокоширотную F-область ионосферы

ААНИИ

По данным комплексных экспериментов по модификации высокоширотной ионосферы мощным КВ радиоизлучением нагревного комплекса EISCAT/Heating (г. Тромсе, Норвегия) выполнено сравнение эффектов воздействия мощных КВ радиоволн обыкновенной (О-мода) и необыкновенной (Х-мода) поляризации на высокоширотную F-область ионосферы. Обнаружено принципиальное различие в развитии ленгмюровской и ионно-акустической турбулентностей (усиленных нагревом плазменных и ионно-акустических линий в спектре EISCAT радара некогерентного рассеяния радиоволн) в циклах О- и Х-нагрева после включения нагревного комплекса. Показано, что при воздействии на ионосферную плазму мощной КВ радиоволны Х-поляризации интенсивные спектральные компоненты в спектре узкополосного искусственного радиоизлучения ионосферы (УИРИ) регистрировались на расстоянии порядка 1200 км от нагревного комплекса.



Мощности плазменных линий (HFPL) на двух высотах, рассчитанные с 5с разрешением по времени и 3 км разрешением по высоте при О- и Х-нагреве на частотах 6.2, 6.96 и 7.953 МГц за 30 с до включения комплекса EISCAT/Heating и в течение первых двух мин циклов нагрева. Стрелками отмечены моменты включения комплекса.

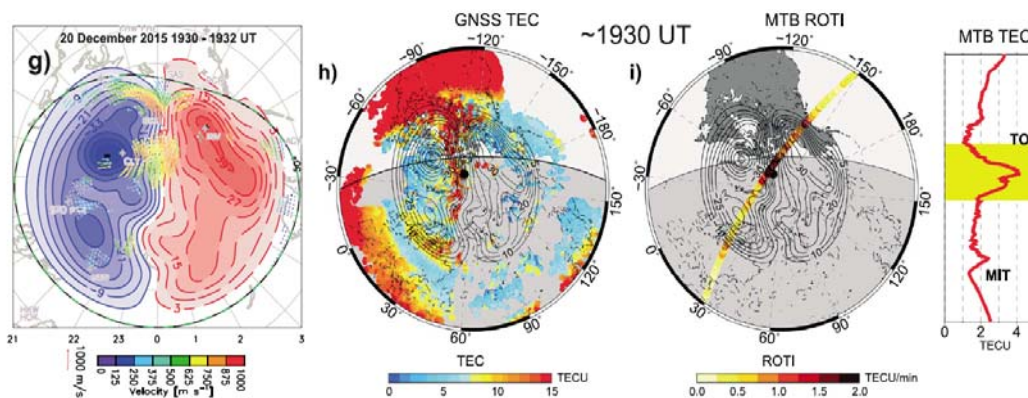
Публикация:

Vlagoveshchenskaya N.F., Borisova T.D., Kalishin A.S., Kayatkin V.N., Yeoman T.K., Häggström I. Comparison of the Effects Induced by the Ordinary (O-Mode) and Extraordinary (X-Mode) Polarized Powerful HF Radio Waves in the High-Latitude Ionospheric F Region // Cosmic Research, 56 (1), 11 – 25, 2018.

8. Неиспользованные GPS наблюдения для мониторинга космической погоды

Западное Отделение (филиал) ИЗМИРАН

Впервые GPS-наблюдения на борту метеорологической миссии MetOp были использованы для выявления возникновения градиентов плазмы на высотах выше 835 км. Так, анализ карт глобальной конвекции SuperDARN, наземных наблюдений TEC, а также наблюдений TEC, полученных на борту MetOp, показал, что плазменные неоднородности выше 835 км совпадают с плазмосферной / магнитосферной частью структуры полярного языка ионизации, что является первым прямым наблюдением данной структуры в плазмосферном TEC.



Язык ионизации по данным GNSS TEC и неоднородности в этом языке по данным MTB TEC

Публикация:

Zakharenkova I., Cherniak I. (2018). Underutilized spaceborne GPS Observations for Space Weather monitoring // *Space Weather*, 2018, 16, 345–362.

9. Долговременные изменения температуры экзосферы

ИЗМИРАН

Найдено, что долговременные изменения температуры экзосферы, восстановленные из ионосферных данных по цепочке станций европейского региона за период наблюдений 1958-2015 г.г. практически полностью контролируются солнечной активностью, после удаления эффектов которой, остаточные тренды очень малы и статистически незначимы (0.05-0.6)% за декаду. Эти результаты противоречат выводам, полученным из наблюдений методом некогерентного рассеяния (НР), но они близки к результатам, полученным по торможению спутников. Получено, что рутинные наблюдения НР, основанные на неизменной модели ионного состава, могут быть неподходящими для анализа долговременных трендов ионосферных и термосферных параметров.

Публикации:

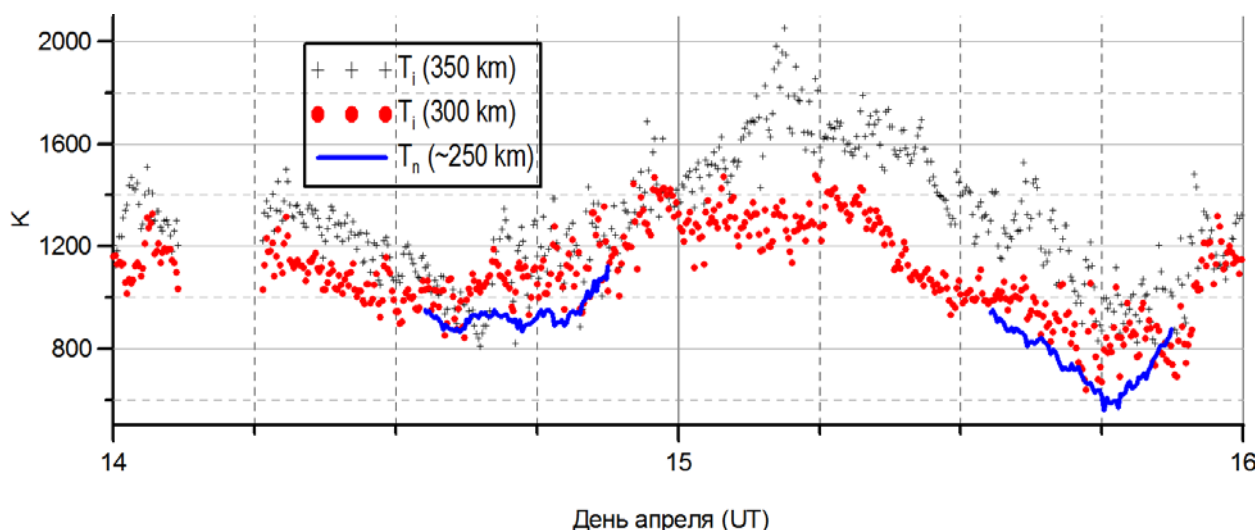
1. Perrone L., Mikhailov A.V. Long-term variations of exospheric temperature inferred from $foF1$ observations: A comparison to ISR T_i trend estimates // *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2017, 122, 8883-8892. doi: 10.1002/2017JA024193.

2. Perrone L., Mikhailov A. V. Reply to comments by Zhang et al. on the paper “Long-term variations of exospheric temperature inferred from $foF1$ observations: A comparison to ISR T_i

10. Математическая модель сигнала обратного рассеяния и методика решения обратной задачи рассеяния для определения температур ионосферной плазмы

ИСЗФ СО РАН

Разработана математическая модель сигнала обратного рассеяния и предложена методика решения обратной задачи рассеяния для определения температур ионосферной плазмы по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) с учетом конструктивной специфики ИРНР. Модель дает возможность поиска и методического устранения погрешностей, искажающих получаемые профили электронных и ионных температур. Апробация метода путем сравнения полученных на ИРНР ионных температур с температурами нейтралов по данным интерферометра Фабри-Перо показала хорошее согласие температур, полученных различными способами, что позволяет сделать заключение о хорошей работоспособности метода (рисунок).



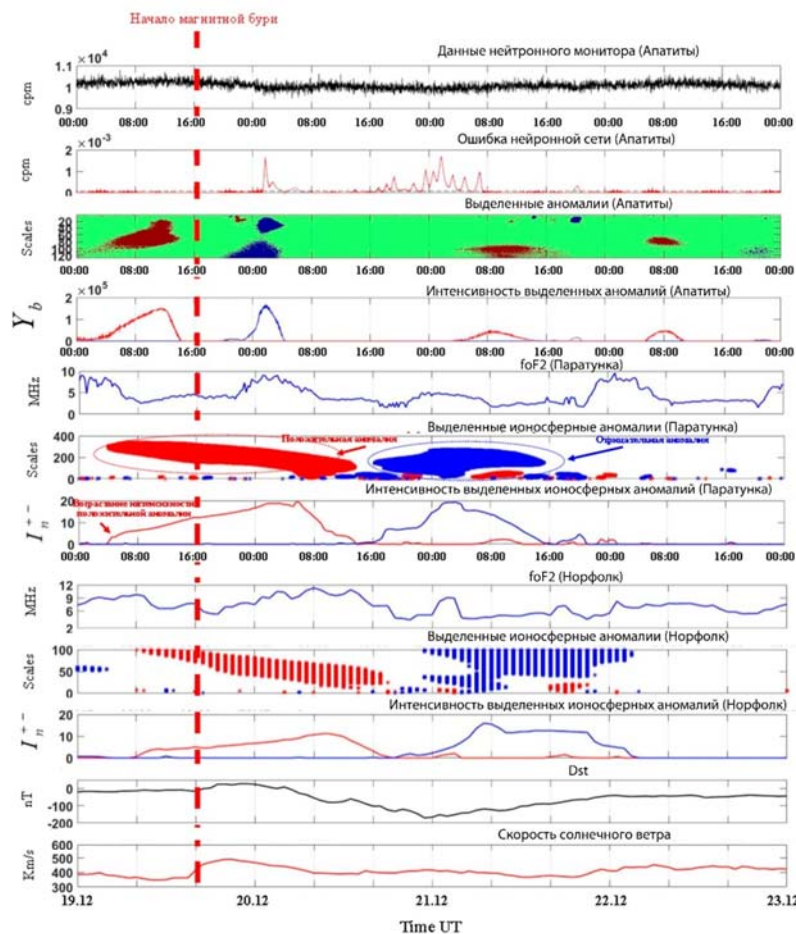
Публикация:

Tashlykov V.P., Medvedev A.V., Vasilyev R.V. Backscatter signal model for Irkutsk incoherent scatter radar // Solar Terrestrial Physics. – 2018. – V. 4, № 2. – P. 24-32. DOI: 10.12737/stp-42201805.

11. ИКИР ДВО РАН

Разработан метод анализа параметров ионосферы, основанный на обобщенной многокомпонентной модели. Метод позволяет по данным наземных станций выделять ионосферные неоднородности, предшествующие и сопутствующие периодам магнитных бурь. Обнаружена высокая частота эффекта предповышения в ионосфере, и выделены признаки, указывающие на его солнечную природу. Показано, в окрестностях максимумов Dst и на фазе восстановления характерно возникновение интенсивных и

длительных отрицательных ионосферных бурь. Метод реализован в оперативном режиме (<http://lsaoperanalysis.ikir.ru:9180/lsaoperanalysis.html>).



Результаты применения метода в период события 19 декабря 2015 г.

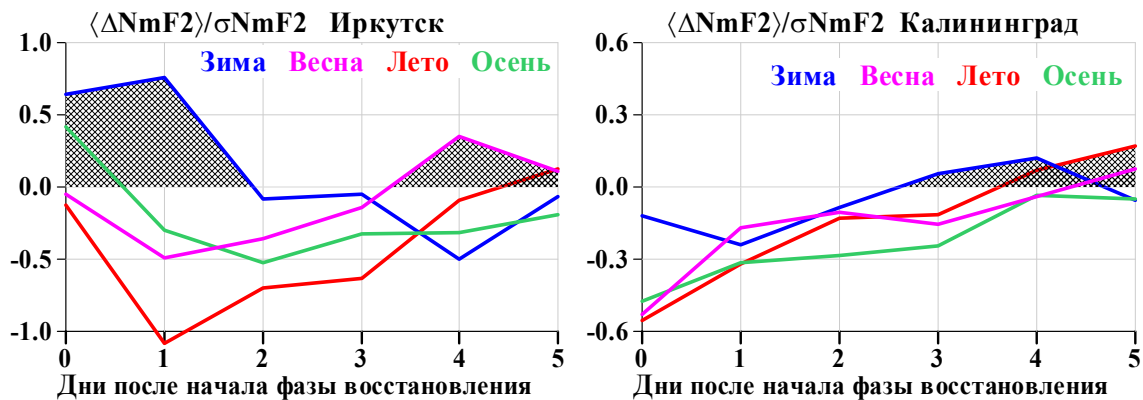
Публикация:

Mandrikova O., Polozov Yu., Fetisova N., Zalyaev T. Analysis of the dynamics of ionospheric parameters during periods of increased solar activity and magnetic storms // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2018.– Vol. 181. – Pp. 116-126. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.10.019>.

12. Метод статистического анализа ионосферных откликов на геомагнитные бури

ИСЗФ СО РАН

Разработан новый метод статистического анализа ионосферных откликов на геомагнитные бури. Метод основан на распределении откликов по группам в соответствии с типом бури, сезоном и днем после начала фазы восстановления бури с расчетом статистических характеристик ионосферного отклика. Апробация метода на длинных рядах (2003-2016 гг., около 300 геомагнитных бурь) максимума электронной концентрации NmF2, позволила воспроизвести ранее известные результаты вблизи после начала фазы восстановления и впервые получить статистику ионосферных откликов, наблюдаемых на 3-5-й день после начала фазы восстановления, т.е. статистику так называемых эффектов последствия геомагнитных бурь (рисунок).



Вариации отношения среднего отклика $\langle N m F 2 \rangle$ к среднеквадратичному разбросу $\sigma N m F 2$ для изолированных бурь.

Публикация:

Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Chirik N.V., Korenkova N.A., Kotova D.S. After-effects of geomagnetic storms: statistical analysis and theoretical explanation // Solar Terrestrial Physics. – 2018. – V. 4, № 4. DOI: 10.12737/stp-44201804.

13. Связь между параметрами ионосферы и солнечной активности

НИРФИ ННГУ

Показано, что характер и амплитуда нерегулярных отклонений критической частоты слоя F2 ионосферы существенным образом зависят от конкретных параметров солнечной активности: флуктуаций излучения Солнца в рентгеновском диапазоне с малыми энергиями (0.5-4.0 Å) и величины потока протонов с энергиями больше 10 МэВ на орбите Земли (по результатам совместного анализа массивов данных вертикального и наклонного зондирования ионосферы и характеристик процессов солнечной активности для одних и тех же временных интервалов за март и июнь 2015 г.).

Публикация:

Sheiner O.A. et al. (2016???), The 13th European Space Weather Week, 14-18 November 2016, Oostende, Belgium

5 ФИЗИКА ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

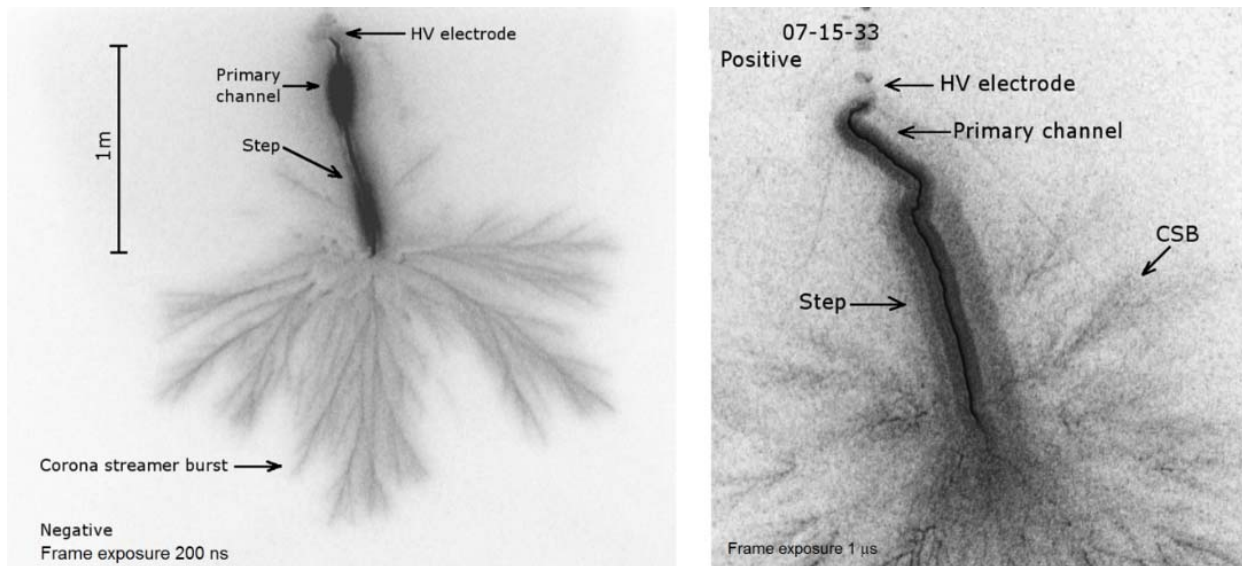
(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Скачки положительного и отрицательного лидеров длинной искры

ИПФ РАН

С помощью уникального высоковольтного оборудования (генератор импульсных напряжений мультимегавольтного уровня) и скоростной камеры с высоким пространственным разрешением и наносекундной экспозицией впервые получены детальные изображения стримерных вспышек скачков положительного и отрицательного лидеров длинной искры. Обнаружено сходство формы и структуры стримерных вспышек лидеров обеих полярностей (в противоположность существовавшему донныне представлению об их различии) и схожесть формы канала скачка положительного лидера с каналами длинных стримеров. Выдвинута гипотеза о формировании скачка положительного лидера в канале стримера, в отличие от скачка отрицательного лидера, формируемого в процессе роста пространственного лидера длинной искры и молнии.



Изображения стримерных вспышек скачков отрицательного (слева) и положительного (справа) лидеров длинной искры

Публикации:

1. N. A. Bogatov, A. Yu. Kostinskiy, V. S. Syssoev, M. G. Andreev, M. U. Bulatov, D. I. Sukharevsky, E. A. Mareev, and V. A. Rakov, Experimental investigation of streamer zone of

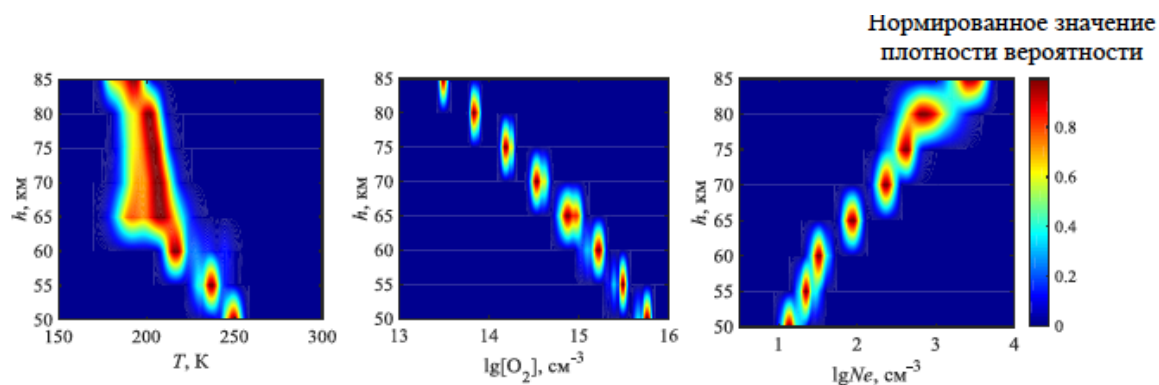
- positive leader, Proc. 16-th Int. Conf. On Atmospheric Electricity (ICAE 2018), June 17-22, 2018, Nara, Japan.
2. A.Yu. Kostinskiy, V. S. Syssoev, N. A. Bogatov, E. A. Mareev, M. G. Andreev, M. U. Bulatov, D. I. Sukharevsky, and V. A. Rakov, Abrupt Elongation (Stepping) of Negative and Positive Leaders Culminating in an Intense Corona Streamer Burst: Observations in Long Sparks and Implications for Lightning // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Volume 123, Issue 10, 27 May 2018, Pages 5360-5375. DOI: 10.1029/2017JD027997.
3. V.A. Rakov, E.A. Mareev, M.D. Tran, Y. Zhu, N.A. Bogatov, A.Yu. Kostinskiy, V.S. Syssoev, W. Lyu. High-Speed Optical Imaging of Lightning and Sparks: Some Recent Results // IEEJ Transactions on Power and Energy, 2018, vol. 138, Issue 5, Pages 321-326, <https://doi.org/10.1541/ieejpes.138.321>.

2. Вероятностно-статистический метод решения задач атмосферно-ионосферного взаимодействия

ИДГ РАН

Разработан принципиально новый метод моделирования вероятностных полей заряженных составляющих нижней ионосферы. Предложенная методология основана на ассимиляции эмпирических функций плотности вероятности параметров средней атмосферы в плазмохимической модели D -области, которая учитывает регулярную и стохастическую изменчивость среды и позволяет вычислять наиболее вероятные значения ее параметров в различных гелиогеофизических условиях. В качестве входных данных модели ионизационно-рекомбинационного цикла D -области ионосферы используются функции плотности вероятности параметров средней атмосферы (T , $[O_2]$, $[N_2]$, $[H_2O]$, $[O_3]$ и $[CO_2]$), полученных на ИСЗ AURA и TIMED в 2009-2012 годах. Вероятностная схема моделирования позволяет рассчитать функции плотности вероятности основных заряженных составляющих нижней ионосферы (Ne , NO^+ , O_2^- , положительные и отрицательные кластерные ионы XY^+ , XY^-) с заданным пространственно-временным шагом в выбранных гелиогеофизических условиях. Реализованная в ИДГ РАН методология вероятностно-статистического моделирования успешно верифицирована на данных непрерывного мониторинга сигналов средне- и высокоширотных СДВ-ДВ передатчиков радиофизического комплекса геофизической обсерватории «Михнево».

Разработанная методика позволяет решать такие задачи атмосферно-ионосферного взаимодействия, как оценка вклада различных физических процессов в поведение ионосферных составляющих, уточнение и оптимизация используемых вычислительных схем ионизационно-рекомбинационного цикла, исследование процессов распространения радиоволн в случайных средах.



Плотность вероятности T , $lg[O_2]$, $lgNe$ на высотах $h = 50-85$ км (осень, день, низкая солнечная активность, средние широты)

Публикация:

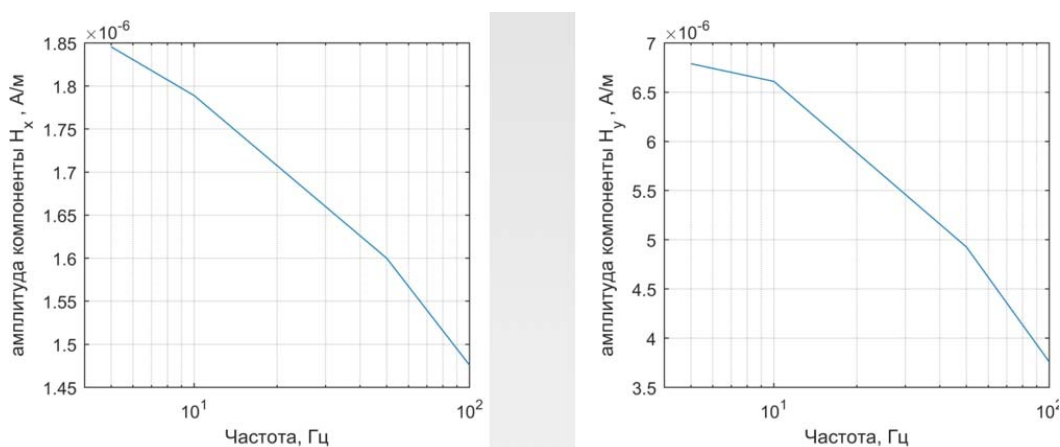
С.З. Беккер. Анализ результатов расчетов концентрации электронов по детерминированно-вероятностной модели среднеширотной невозмущенной D -области ионосферы // Солнечно-земная физика. – 2018. Т. 4, № 3. С. 84–94.

3. Численная модель распространения низкочастотных электромагнитных сигналов в волноводе Земля-ионосфера.

ПГИ РАН

Предложена новая явная схема численного интегрирования уравнений Максвелла. В предложенной схеме электрическое и магнитное поля вычисляются в одни и те же моменты времени в одних и тех же узлах пространственной сетки. Также используется расщепление по пространственным направлениям и по физическим процессам, причем затухание поля сигнала за счет проводимости и его вращение при наличии холловской проводимости среды учитываются на отдельных шагах расщепления по аналитическим формулам. В схеме используется противопотоковая аппроксимация пространственных производных (метод Годунова с коррекцией потоков). Схема является монотонной, имеет 2-й порядок точности по времени и 3-й по пространственным переменным, а также является консервативной.

Предложенная схема была использована авторами для моделирования прохождения низкочастотных сигналов в волноводе Земля-ионосфера. При этом удалось получить зависимость скорости сигнала от его частоты, очень близкую к зависимости, полученной в экспериментах. Разработанная схема позволяет использовать существенно больший шаг интегрирования по времени, чем широко используемый метод конечных разностей во временной области при одинаковой точности. Использование новой схемы позволило существенно сократить вычислительные затраты при математическом моделировании распространения низкочастотных сигналов в волноводе Земля-ионосфера.



Амплитуды горизонтальных компонент напряженности магнитного поля на поверхности Земли, рассчитанные с помощью модели для антенны длиной около 100 км на расстоянии 360 км от передатчика

И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, О.И. Ахметов, З.В. Суворова. Явная схема расщепления для уравнений Максвелла // Математическое моделирование. – 2018. Т. 30, № 12. С.17-38.

6 СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

(Секция, совместная с Советом «Исследования по теории климата Земли»)

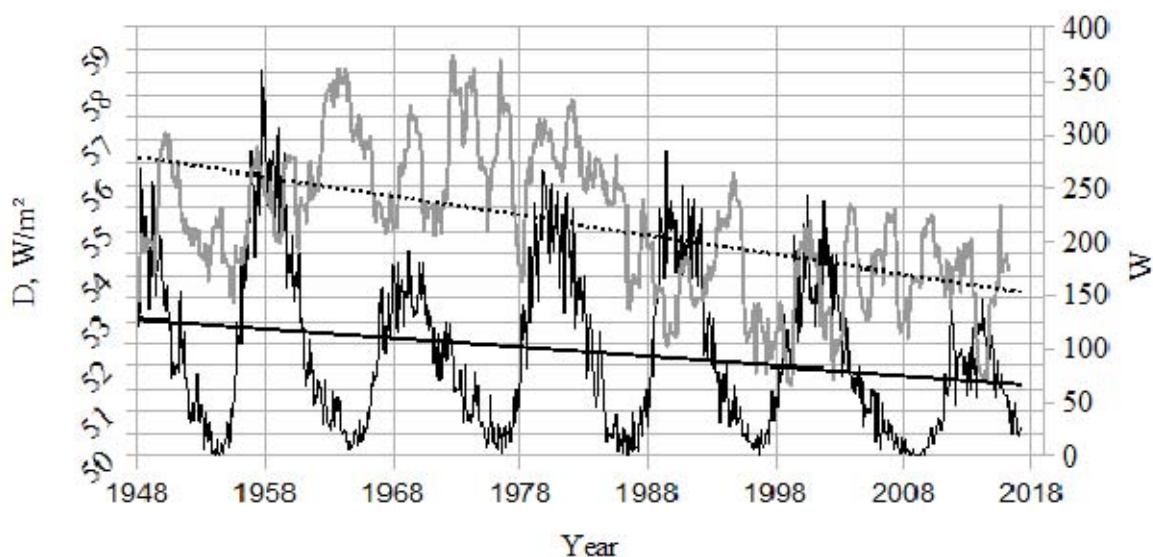
(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Динамика рассеянного света и солнечная активность

ИСЗФ СО РАН, ИОА СО РАН, ИГУ

Модуляция поступающей солнечной энергии может быть обусловлена изменениями оптических свойств земной атмосферы, включая ее прозрачность. На рисунке показаны изменения уровня рассеянного света, оцененного по данным архива Ncep/Ncar Reanalysis для южной части Восточной Сибири и солнечной активности за период с января 1948 г. по июнь 2017 г. В качестве характеристики солнечной активности использовались числа Вольфа W. По оси абсцисс отложены годы, по оси ординат — числа Вольфа W (справа) и уровень рассеянного света D (слева).



Изменения уровня рассеянного света, оцененного по данным архива Ncep/Ncar Reanalysis для южной части Восточной Сибири и солнечной активности за период с января 1948 г. по июнь 2017 г.

Публикация:

Kovadlo, Pavel; Shikhovtsev, Artem; Lukin, Vladimir; Kochugova, Elena. Solar activity variations inducing effects of light scattering and refraction in the Earth's atmosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2018. Volume 179, p. 468-471. 10.1016/j.jastp.2018.06.001.

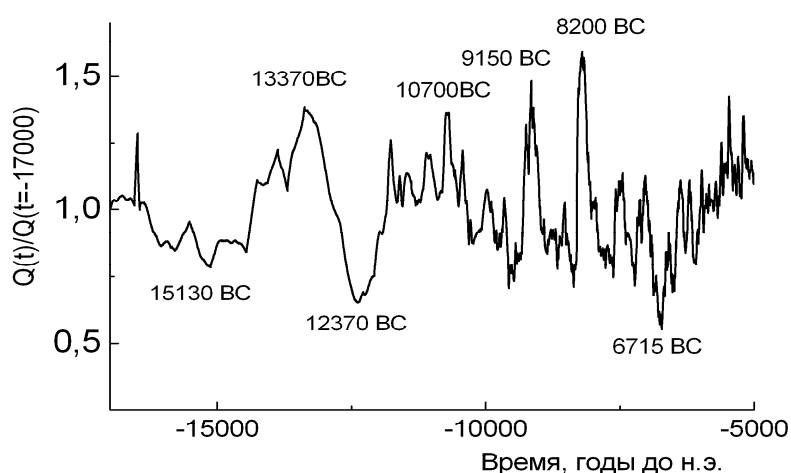
2. Реконструкция скорости генерации космогенного изотопа ^{14}C в атмосфере Земли за период 17000-5000 лет до нашей эры

ФТИ РАН, ГАО РАН, ГУАП

Ключевое значение для изучения солнечной активности в прошлом на основе радиоуглеродных данных имеет скорость образования в земной атмосфере космогенного изотопа ^{14}C . Этот изотоп образуется в атмосфере Земли под воздействием галактических космических лучей (ГКЛ), интенсивность которых модулируется в межпланетном пространстве солнечной активностью и геомагнитным полем. Наиболее надёжные данные по содержанию этого изотопа в кольцах деревьев, в земной атмосфере и других природных архивах известного возраста охватывают временной интервал от нескольких последних тысячелетий до десятков тысяч лет в прошлое. В течение этого периода происходили существенные климатические изменения, в том числе таяние льдов в результате отступления последнего оледенения и перехода от ледникового периода к тёплому Голоцену. Поскольку изменение климата должно приводить к перераспределению содержания радиоуглерода в природных резервуарах, необходимо учитывать климатическое влияние на радиоуглеродные данные в исследуемых образцах и выделение из них солнечного сигнала.

В начале рассматриваемого интервала времени глобальная температура, концентрация углекислого газа увеличивались и в последующие годы. Следует отметить синхронность повышения уровней изменения углекислого газа и глобальной температуры до начала Голоцена.

Для вычисления скорости генерации изотопа ^{14}C под действием ГКЛ $Q(t)$ мы использовали пятирезервуарную модель, которую модернизировали для учета изменения климата. Из рисунка можно сделать следующие выводы. Высокие значения Q свидетельствуют в пользу того, что приблизительно в 13370, 10700, 9150 и 8200 годах до нашей эры были глобальные минимумы солнечной активности (высокие значения скорости генерации изотопа ^{14}C). А 13-м веке до нашей эры был период высокой активности Солнца, который длился несколько сот лет и максимум которого приходился приблизительно на 12370 год нашей эры.



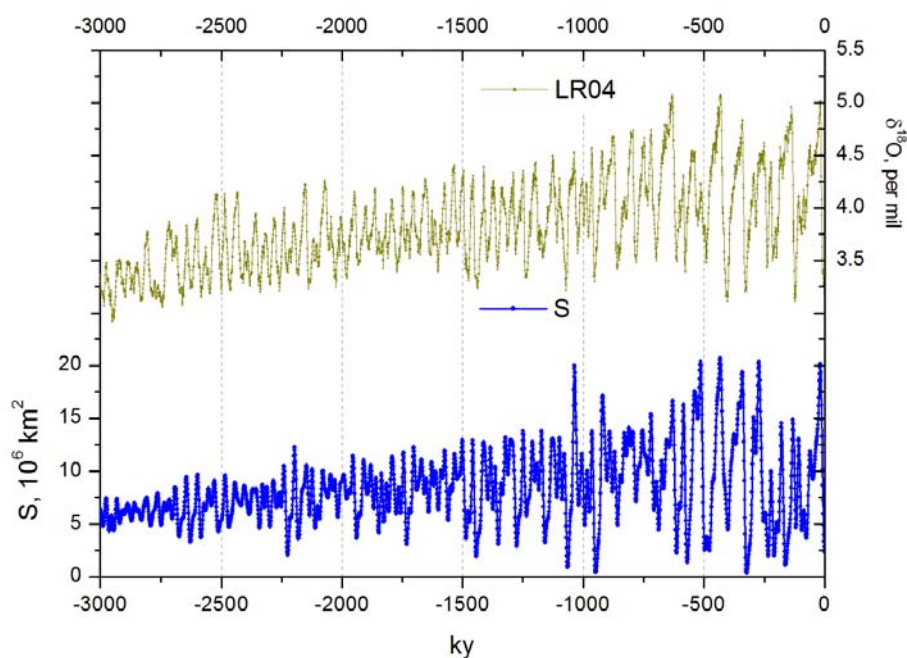
I. V. Kudryavtsev, D. M. Volobuev, V. A. Dergachev, Yu. A. Nagovitsyn, M. G. Ogurtsov, "Reconstruction of the Production Rate of Cosmogenic ^{14}C in the Earth's Atmosphere for 17000–5000 BC", *Geomagnetism and Aeronomy*, 2018, Vol. 58, No. 7, pp. 925–929.

3. Теория ритмичности Плейстоценовых оледенений

ГАО РАН с зарубежными коллегами

Загадки ледниковых периодов остаются одной из наиболее волнующих проблем геофизики в течение 200 лет и обычно формулируются в виде трех связанных между собой проблем: (1) В чем причина ледниковых периодов позднего Плейстоцена с периодом 100 тысяч лет? (2) Какова природа колебаний раннего Плейстоцена с периодом 40 тысяч лет? (3) Что вызвало переход в среднем Плейстоце от периодичности 40 тысяч лет к стотысячелетней ритмичности?

Несмотря на то, что множество моделей было создано для ответа на эти вопросы, все они основывались на *постулируемой* нелинейности климатической системы. В данной работе, впервые, модель глобальных оледенений была *редуцирована* естественным образом из уравнений сохранения вязкого, не-Ньютоновского, льда с минимальным количеством предположений и без привлечения свободных параметров. Новые ответы были получены на все три фундаментальных вопроса теории ледниковых периодов: (1) Ледниковые периоды позднего Плейстоцена с периодом 100 тысяч лет представляют собой бифуркацию удвоения периода наклона орбиты; (2) Колебания раннего Плейстоцена с периодом 40 тысяч лет представляют собой бифуркацию удвоения периода прецессии; (3) Переход среднего Плейстоцена обусловлен изменением характера нелинейности в связи с увеличением роли положительной обратной связи в глобальной климатической системе.



Колебания модельной площади льда S (10^6 km^2) по сравнению содержанием $\delta^{18}\text{O}$ в фораминиферах (Lisiecki and Raymo, 2005)

Публикация:

Verbitsky, M. Y., Crucifix, M., and Volobuev, D. M.: A theory of Pleistocene glacial rhythmicity, *Earth Syst. Dynam.*, 9, 1025-1043, <https://doi.org/10.5194/esd-9-1025-2018>, 2018.

3 ГЕЛИОБИОФИЗИКА

(раздел II «Физические науки», п. 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

1. Направленный поиск многофакторных условий внешней среды для обнаружения возможных сценариев возникновения взаимосвязи протекающих в ней процессов

ИКИ РАН, ИЗМИРАН, ФГБОУ ВО РНИМУ им.Н.И.Пирогова Минздрава России и МГУ им. М. Ломоносова

Исследуемые процессы могут носить нестационарный характер, при котором их взаимосвязь проявляется изредка. В этом случае традиционные методы, основанные на предположении о стационарности процессов, либо показывают характеристики связей на нижней грани достоверности, либо не выявляют связи вообще. Предложен основанный на дифференциальной эволюции метод направленного многопараметрического поиска совокупности условий, при которых искомая зависимость наиболее выражена (1). Предложен также метод выявления сценариев развития реакции системы на воздействующие факторы, при которых вероятность возникновения искомого эффекта превышает заданный порог (используется модифицированный алгоритм случайного леса (random forest) с параметрами, одна часть из которых является категориальной, а другая – количественной) (2). Сложные процессы часто порождают аперiodические временные ряды, характеризующиеся экстремально широкими спектральными пиками при традиционно применяемых к ним Фурье- или вейвлет-разложениям. Однако, такие ряды обычно порождаются суперпозицией процессов с сильно неодинаковыми скоростями протекания. Предложено разложение по базису, в котором различающимся по времени релаксации процессам (время релаксации — среднеквадратичная длина временного интервала, за который характерное изменение наблюдаемого параметра становится сравнимым с его вариацией за весь период наблюдений), соответствуют далеко разнесённые друг от друга спектральные компоненты, что позволяет использовать такой спектральный анализ для четкого выделения процессов разной природы (3).

Публикации:

(1) Ю.И. Гурфинкель, В.А. Ожередов, Т.К. Бреус, М.Л. Сасонко, Влияние космической и земной погоды на показатели жесткости артерий и функцию эндотелия человека, БИОФИЗИКА, 2018, том 63, вып. 2, с. 402–411.

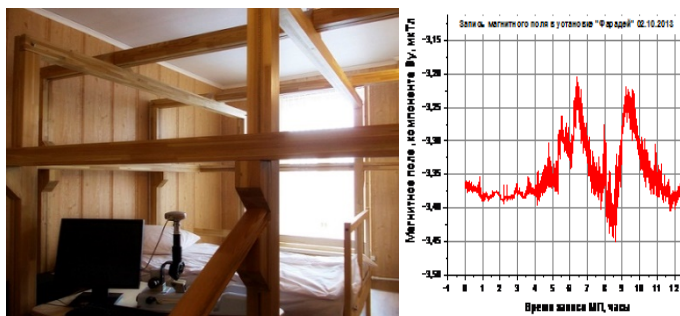
(2) Sasonko M.L., Ozheredov V.A., Breus T.K., Ishkov V.N., Klochikhina O.A., Gurfinkel Y.I., Combined influence of the local atmosphere conditions and space weather on three parameters of 24-hours electrocardiogram monitoring, International journal of biometeorology, IJBM-D-18-00249R1, (DOI: 10.1007/s00484-018-1639-7)

(3) В. А. Ozheredov, and T. K. Breus, Application of a New Method of Spectral Analysis for Detecting Synchronous Processes in Heliobiology, ISSN 0001-4338, Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2018, Vol. 54, No. 7, pp. 85–96. Pleiades Publishing, Ltd., 2018.

2. Оценка комбинированного эффекта смоделированных воздействий лунной гравитации и переменного магнитного поля на сердечнососудистую систему здоровых волонтеров.

ИКИ РАН (1) совместно с НИИ космической медицины ФМБА (2) и Институтом общей физики им.А.М.Прохорова РАН(3)

Исследовался комбинированный эффект воздействия на сердечно-сосудистую систему здоровых людей лунной гравитации, смоделированной путем оттока крови из головы испытуемого при постельном режиме с наклоном ложа на 9,6 градусов, и предварительно записанной сильной ($K_p=7$) магнитной бури, воспроизведенной в специальной установке «Фарадей». В эксперименте участвовали 8 волонтеров в возрасте $26,1 \pm 5,5$ лет, которых располагали в установке и не информировали о смене двух режимов (с экспозицией в магнитном поле и без нее). Проводилось 24-часовое мониторирование ЭКГ по Холтеру, измерялась вариабельность сердечного ритма, микроциркуляция в капиллярах и сопоставлялась работоспособность испытуемых с помощью велоэргометрических тестов до и после экспозиции в магнитном поле. При воздействии магнитной бури по сравнению с условиями спокойного магнитного состояния выявилось значительное снижение продолжительности сердечных интервалов и происходило снижение работоспособности, а также у двух испытуемых выявлены эпизоды сердечных аритмий. Результаты представляют интерес для планирования лунных экспедиций.



Магнитная буря 2 октября 2013 г. (слева), зарегистрированная и воспроизведенная в установке Фарадей

Публикация:

Gurfinkel Yury I.(1), Baranov M. (2), Pischalnikov R.(3), Evaluation of combined effects of lunar gravity simulation and the altered magnetic field on cardiovascular system of healthy volunteers// International society for gravitational physiology and European space agency life sciences meeting, 18-22 June 2018. ESA –ESTEC, The Netherlands (Принято в печать в Материалы конференции)

3. Реакция биоэлектрической активности мозга на вариации геомагнитного поля.

ИКИ РАН в сотрудничестве с Институтом физиологии природных адаптаций ФГБУН Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия

Впервые в условиях низкой электромагнитной загрязненности экспериментально показана синхронизация биоэлектрической активности мозга человека в различных частотных диапазонах с вариациями вектора геомагнитного поля. Выполнено 52 записи

(4 волонтера по 13 записей каждого) электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в восьми отведениях. Изучаемые показатели - средняя за минуту интенсивность колебаний в четырех частотных диапазонах: дельта (0.5-4 Гц), тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц) и бета (14-35 Гц). Метод - корреляционный анализ временных рядов после применения к ним низкочастотной фильтрации для исключения трендов. Более чем в половине экспериментов, у всех четырех волонтеров наблюдается синхронность колебаний бета- и дельта-диапазонов с синхронными вариациями вектора ГМП. В диапазоне тета синхронизация практически не наблюдалась.

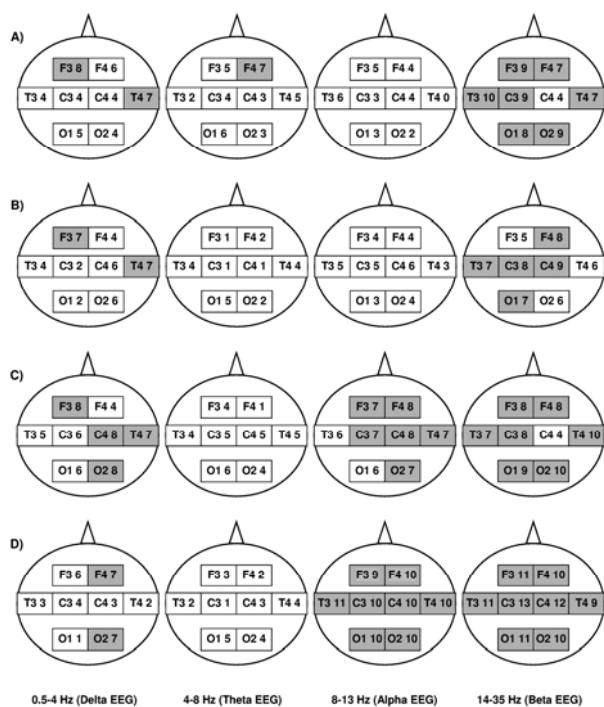


Рис.1 Число 30-минутных серий ЭЭГ у четверых волонтеров, когда регистрировались значимые корреляции спектральной мощности в различных диапазонах ЭЭГ с компонентами вектора ГМП ($p < 0,05$). Штриховкой указано число 7 и более из 13 серий ЭЭГ.

Публикация:

Л.В. Поскотинова, Т.А. Зенченко, Е.В. Кривоногова, Д.Б. Дёмин. // Методологические аспекты мониторинга индивидуальных реакций биоэлектрической активности головного мозга в условиях вариаций геомагнитного поля в Арктике. Вестник уральской медицинской академической науки, 2018, Том 15, № 2, С. 316-323. DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-2-316-323

4. Влияние города (техносферы) на вариации электрофизических и радиационных величин

ИКИ РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

Во многих гелиобиофизических исследованиях измерения биологических показателей производится в помещении, а показателей атмосферы, с которыми происходит сопоставление (геомагнитных, электрофизических, метео и радиационных величин) - на открытом воздухе. С целью определения степени искажения спектральных характеристик этих показателей в помещении по сравнению с открытым пространством был проведен длительный мониторинг вариаций основных атмосферных факторов. Получено, что измеряемые величины можно условно разделить на три группы, для которых: 1) наличие здания не изменяет спектрально-временную картину вариаций

(СВКВ) (магнитное поле, атмосферное давление); 2) наличие здания частично изменяет СВКВ (γ -фон, температура); 3) наличие здания полностью изменяет СВКВ (относительная влажность воздуха, турбулентные и ветровые характеристики воздуха, напряженность электрического поля, количество легких ионов обоих полярностей, α - и β -фон). Полученные результаты необходимо учитывать при исследовании влияния гелиогеофизических факторов и радиоактивности на биологические объекты и системы.

Публикация:

П.М. Нагорский, Т.А. Зенченко, К.Н. Пустовалов, М.С. Черепнев, Г.А. Яковлев, В.С. Яковлева. Влияние города (техносферы) на вариации электрофизических и радиационных величин. // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2017. № 4(20). С. 64-75. ISSN 2079-6641. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-64-75

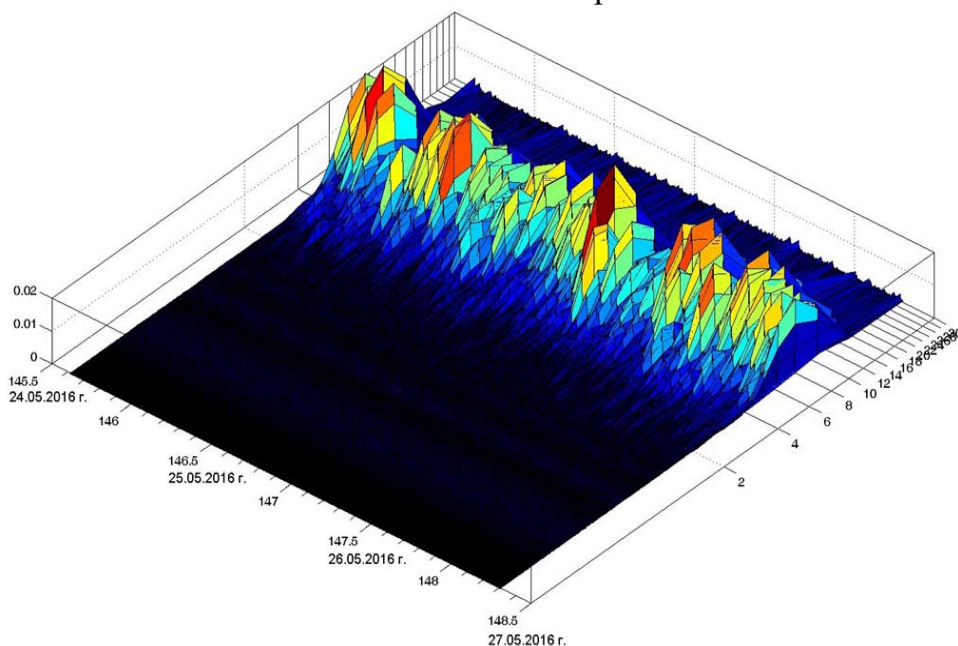
5. Сравнительный анализ динамики физическо-химических свойств воды и сейсмогравитационных колебаний Земли

Институт аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург)

Обнаружено сходство динамики синхронных вариаций сил поверхностного натяжения воды и сейсмогравитационных колебаний Земли.

При получении в течение трех суток измерений двух временных рядов с частотой 1 Гц показано, что в спектре функции кросс-корреляции присутствуют устойчивые периоды в 12 мин (рис 1) и 60 минут.

Выявленные периоды колебаний физических свойств воды и колебаний Земли (~12 мин.) хорошо согласуются с ритмами, характерными для живой природы (см. Зенченко и др., Геоф. процессы и биосфера, 2013, т.12, №4). Полученные результаты позволяют сделать предположение, что в основе биоритмов может лежать периодичность физико-химических процессов, определяемых химическими свойствами растворителя (т.е. воды). Это также может быть аргументом в пользу существующей в гелио-биофизике гипотезы, что космофизические факторы могут быть причиной синхронизации работы живых клеток любого биологического организма.



Спектр кросс-корреляционной функции между последовательными синхронными отрезками значений временных рядов величины силы поверхностного натяжения воды и сейсмогравитационных колебаний Земли в диапазоне 0-30 минут.

Публикация:

Дроздов А.В., Нагорский П.М. Сравнение динамики физическо-химических свойств воды и сейсмогравитационные колебаний земли // Тезисы VIII Международного Конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине» (10 – 15 сентября 2018, Санкт-Петербург), стр. 32. <http://cong-2018.biophys.ru/index.php/archive-cong/cong-2018/2-uncategorised/337-conf-a>

6. Влияние излучения мобильных телефонов на психофизиологические параметры слухового анализатора (время простой слухо-моторной реакции - ПСМР) детей и подростков.

Работа выполнена совместно с МАОУ «Лицей 17», городской округ Химки, Московская области, Кафедрой общей и социальной психологии Института психологии и педагогики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»

Работа в области изучения влияния излучения мобильных телефонов на психофизиологические параметры слухового анализатора (время простой слухо-моторной реакции - ПСМР) детей и подростков показали, что режим пользования МТ существенным образом отражается на изменении показателей ПСМР с учетом латеральных предпочтений как при анализе данных, полученных в эксперименте мониторингового типа (многократное измерение ПСМР в течение нескольких месяцев), так и при исследовании групповых эффектов для разных возрастных групп. Были проанализированы показатели 518 детей и подростков 7-12 лет, 27 старшеклассников 16-17 лет и 28 студентов 17-22 лет. Для контроля проанализированы данные 67 учащихся 7-12 лет, а также показатели 370 учащихся 7-12 лет, 52 старшеклассников 15-17 лет и 69 студентов 17-23 лет, не использовавших мобильный телефон. Показано, что особенности проявления эффекта для каждой возрастной группы зависят как от ежедневного времени пользования, так и от длительности пользования мобильным телефоном. Изменение режима показателей ПСМР при пользовании мобильной связью получено с достоверностью.

Публикация:

Хорсева Н.И., Скиданова А.А., Григорьев П.Е., Шульженко Н.Ю. Режим пользования мобильным телефоном и индивидуальные особенности проявления ипсилатеральных и контралатеральных эффектов простой слухо-моторной реакции у детей. Мониторинговое исследование// Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины 2018.-Т.8.-№1.- С. 93-99 (ВАК, Россия)