

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

(Совет "Солнце – Земля")

119334, Москва, Ленинский проспект, 38, корп.1
Институт динамики геосфер РАН

Тел.: (499) 137 07 11
Факс: (499) 137 65 11
e-mail: kotova@iki.rssi.ru

29 декабря 2016 г. № 003-16

Академику – секретарю
Отделения физических наук
академику И.А. Щербакову

Глубокоуважаемый Иван Александрович!

Направляем Вам отчет о результатах научных исследований, выполненных по направлениям науки, соответствующих тематике Научного совета «Солнце - Земля». Представляемые результаты были рассмотрены и отобраны на заседании Совета 21 декабря 2016 г.

С уважением,

Председатель научного совета
по солнечно-земной физике,
академик



Г.А. Жеребцов

Ученый секретарь Совета
к.ф.-м.н.



Г.А. Котова

Приложение:

Отчет о важнейших научных достижениях, полученных Институтами, объединяемыми Научным советом по физике солнечно-земных связей (Совет "Солнце – Земля"), в 2016 г. в рамках государственного задания на проведение фундаментальных научных исследований, предусмотренного Программой – стр. 50 стр.

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2016 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. Новый метод ранней диагностики геоэффективности солнечных эрупций по магнитному потоку диммингов и постэруптивных аркад

ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН

Разработана пригодная для практического использования методика ранней диагностики геоэффективности солнечных эрупций. По магнитным потокам наблюдаемых в крайнем ультрафиолете аркад и диммингов, образующихся в процессе эрупции корональных выбросов, с заблаговременностью от 1 до 4 суток оцениваются времена начала, пика и интенсивность нерекуррентных геомагнитных бурь (индексы Dst и Ap), а также форбуш-понижений потока галактических космических лучей.

Диагностика основана на том, что наблюдаемые в крайнем ультрафиолетовом диапазоне яркие аркады и депрессии (тёмные димминги) выявляют крупномасштабные магнитные структуры, вовлеченные в процесс эрупции корональных выбросов (Coronal Mass Ejections, CMEs). Последние, распространяясь от Солнца к Земле, становятся межпланетными магнитными облаками, которые вызывают наиболее интенсивные нерекуррентные геомагнитные бури и Форбуш-понижения.

Первоначально метод был разработан с использованием данных телескопа крайнего ультрафиолетового диапазона Extreme-ultraviolet Imaging Telescope (EIT) и магнитографа Michelson Doppler Imager (MDI) на борту космической обсерватории Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) на основе анализа солнечных эрупций и вызванных ими интенсивных геомагнитных бурь и форбуш-понижений, произошедших в 23-м солнечном цикле (1997–2006 гг.). В результате выполненного исследования диагностическая методика адаптирована к ведущимся в настоящее время патрульным солнечным наблюдениям на телескопе Atmospheric Imaging Assembly (AIA) и магнитографе Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту космической обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO).

Димминги или транзиентные корональные дыры представляют собой области пониженной интенсивности мягкого рентгеновского и крайнего ультрафиолетового (УФ) излучения со временем жизни от нескольких часов до полутора суток, которые формируются вслед за CME в окрестности эруптивного центра и могут охватывать значительную часть солнечного диска. Анализ гелиограмм, полученных при помощи телескопов Yohkoh/SXT и SOHO/EIT, дает основания интерпретировать димминги как результат полного или частичного открытия корональных магнитных полей внутри этих структур, что приводит к эвакуации вещества и соответствующему уменьшению интенсивности излучения. Прямые свидетельства истечения

вещества из диммингов, расположенных вблизи эруптивного центра, получены по доплеровскому сдвигу нескольких линий, регистрируемых на спектрометре SOHO/CDS

Публикации:

Chertok I.M., Abunin A.A., Grechnev, V.V. An Early Diagnostics of the Geoeffectiveness of Solar Eruptions from Photospheric Magnetic Flux Observations: Transition from SOHO to SDO. *Solar Phys.*, 2016 (in press).

Chertok I.M., V.V. Grechnev, A.V. Belov, A.A. Abunin. Magnetic Flux of EUV Arcade and Dimming Regions as a Relevant Parameter for Early Diagnostics of Solar Eruptions – Sources of Non-Recurrent Geomagnetic Storms and Forbush Decreases. *Solar Phys.*, **282**, 175–199, 2013.

(<http://arxiv.org/pdf/1209.2208v1.pdf>)

Chertok I.M., A.A. Abunin, A.V. Belov, V.V. Grechnev. Dependence of Forbush-decrease characteristics on parameters of solar eruptions. *Journal of Physics: Conference Series*, **409**, 012150, 2013. (<http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012150>)

Чертюк И. М., А. А. Абуни, А. В. Белов, В. В. Гречнев. Зависимость характеристик Форбуш-понижений от параметров солнечных эрупций. *Известия РАН. Серия физическая*, **77**, №5, 615–617, 2013.

Chertok I.M., Abunina M.A., Abunin A.A., Belov A.V., Grechnev, V.V. Relationship between the Magnetic Flux of Solar Eruptions and the Ap index of Geomagnetic Storms. *Solar Phys.*, **290**, Issue 2, pp.627-633, 2015. (<http://arxiv.org/pdf/1410.1646v2.pdf>)

2 Неустойчивость Рэлея-Тейлора и генерация сверх-драйсеровского электрического поля в хромосфере Солнца

ИПФ РАН, ГАО РАН

Впервые обращено внимание на существование мощного ускорительного механизма, возникающего в хромосферных основаниях корональных магнитных петель в результате развития магнитной неустойчивости Рэлея-Тэйлора. Показано, что в случае достаточно больших электрических токов, возникающих в результате развития неустойчивости, в хромосфере генерируются электрические поля, превышающие поле Драйсера, что приводит к появлению эффективного ускорения и решает существующую проблему дефицита энергичных электронов при генерации наблюдаемого рентгеновского излучения солнечных вспышек.

Публикации:

1. V.V. Zaitsev, A.V. Stepanov and P.V. Kronshtadnov, Generation of Super Dreicer Electric Fields in the Solar Chromosphere, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 56, No.7, pp903-907, 2016.

2. A.V. Stepanov, V.V. Zaitsev, The Challenges of the Models of Solar Flares, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 56, No.8, pp952-971, 2016.

3. Zaitsev, V.V., Kronshtadnov, P.V. & Stepanov, A.V., Rayleigh–Taylor Instability and Excitation of Super-Dreicer Electric Fields in the Solar Chromosphere, *Solar Physics*, **291**, No 11, pp.3451-3459, 2016.

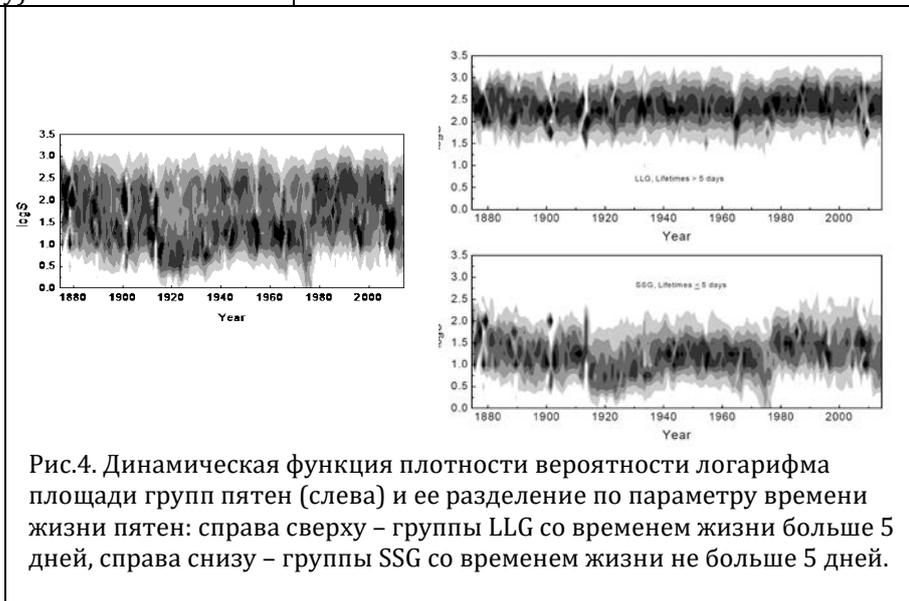
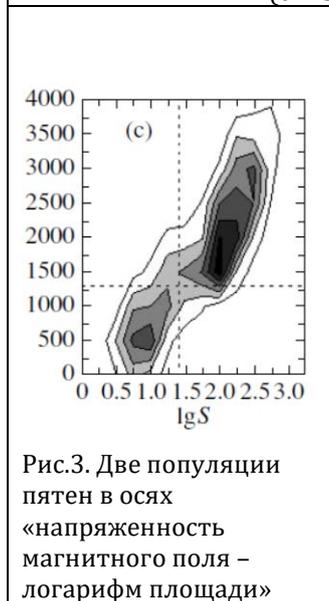
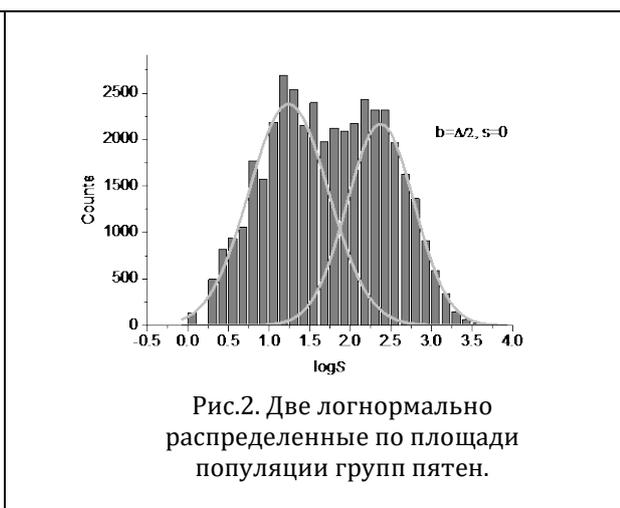
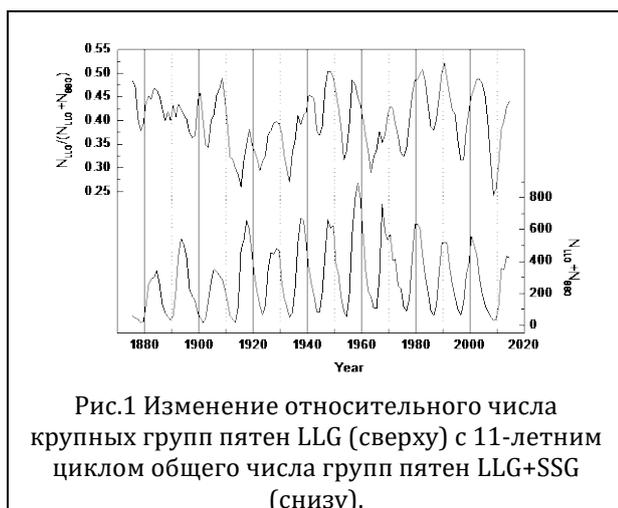
3. Физические характеристики пятен в изменениях солнечной активности

ГАО РАН, NSO USA и др.

Группы солнечных пятен образуют две физически разные популяции, различающиеся по свойствам: площади, времени жизни, магнитным полям основных пятен и магнитному потоку. Это свидетельствует в пользу действия на Солнце пространственно-распределенного динамо, так что двум популяциям соответствуют две области генерации: глубинная – тахоклин и приповерхностная – лептоклин.

В работах [1, 3, 4] было показано, что *средние* магнитные поля пятен изменяются с 11-летним циклом, что поставило под сомнение результат Ливингстона и Пена о вековом падении этой характеристики. В [2, 5, 6-8] – с другой стороны – было показано, что пятна образуют две отдельные популяции: крупные с сильными магнитными полями и мелкие – со слабыми, так что результаты [1, 3, 4] можно объяснить относительным изменением вклада крупных пятен с циклом [9] – рис.1. Крупным и мелким пятнам (и их группам LLG и SSG) соответствуют два различных логнормальных распределения площадей и два различных нормальных распределения напряженностей магнитных полей [7,8] – см. двумерную гистограмму на рис.3. Группы пятен разделяются по параметру времени жизни (короче и дольше 5 дней) [9] – рис.4. Все это свидетельствует в пользу действия на Солнце пространственно-распределенного динамо, так что двум популяциям соответствуют две области генерации: глубинная – тахоклин и приповерхностная – лептоклин.

Работы цикла вызвали определенный интерес: на них более 90 цитирований по WoS.



Публикации:

1. Pevtsov A.A., Nagovitsyn Y.A., Tlatov A.G., and Rybak A.L., Long-term trends in sunspot magnetic fields. //The Astrophysical Journal Letters, 742:L36, 2011.
2. Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; Livingston, William C. On a Possible Explanation of the Long-term Decrease in Sunspot Field Strength // The Astrophysical Journal Letters, Volume 758: L20, 5 pp. (2012).
3. Georgieva, K.; Kirov, B.; Nagovitsyn, Yu. A. Long-term variations of solar magnetic fields derived from geomagnetic data // Geomagnetism and Aeronomy, Volume 53, Issue 7, pp.852-856, 2013.

4. Pevtsov Alexei A., Bertello Luca, Tlatov Andrey G., Kilcik Ali, Nagovitsyn Yury A., Cliver Edward W. Cyclic and Long-term Variation of Sunspot Magnetic Fields // Solar Physics, Volume 289, Issue 2, pp.593-602, 2014.
5. Tlatov, Andrey G.; Pevtsov, Alexei A. Bimodal Distribution of Magnetic Fields and Areas of Sunspots // Solar Physics, Volume 289, Issue 4, pp.1143-1152, 2014
6. Muñoz-Jaramillo, Andrés; Senkpeil, Ryan R.; Windmueller, John C.; Amouzou, Ernest C.; Longcope, Dana W.; Tlatov, Andrey G.; Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; et al. Sunspot Groups, and Sunspots: A Multi-database Study // The Astrophysical Journal, Volume 800, Issue 1, article id. 48, 19 pp. (2015).
7. Наговицын Ю. А., Певцов А. А., Осипова А. А., Тлатов А. Г., Милецкий Е. В., Наговицына Е. Ю. Две популяции солнечных пятен и вековые изменения их характеристик // Письма в Астрон. журн. том 42, №10, с. 773–782, 2016.
8. Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; Osipova, Aleksandra A. Long-term variations in sunspot magnetic field - area relation // accepted for publication in Astron. Nachrichten, 2016 (arXiv:1608.01132).
9. Nagovitsyn, Yury A.; Pevtsov, Alexei A.; On the presence of two populations of sunspots // accepted for publication in The Astrophysical Journal. (in press)/

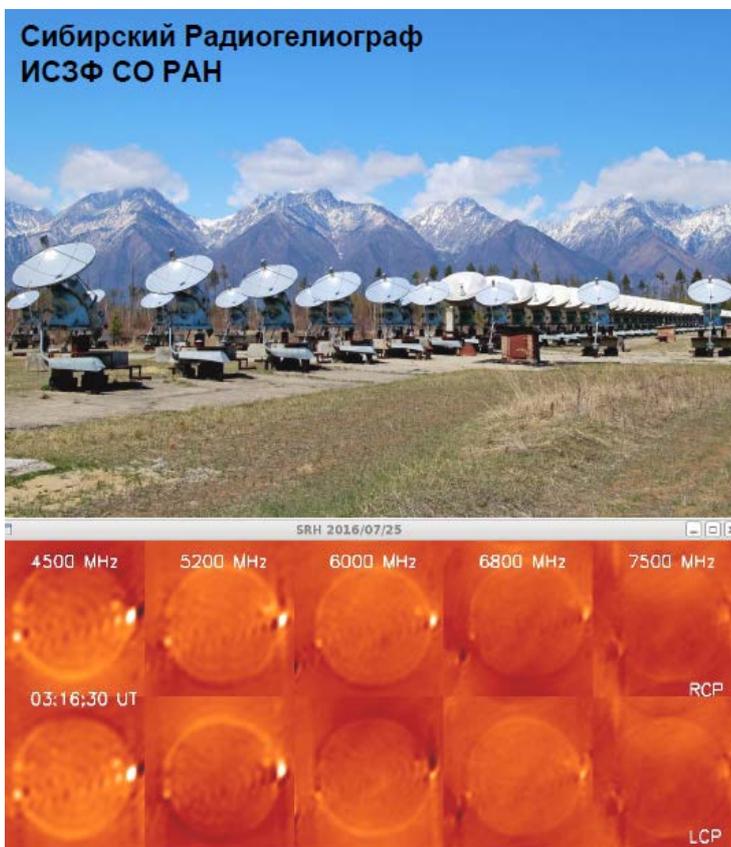
Важные результаты:

4. Результаты первых наблюдений на новом инструменте ИСЗФ СО РАН – Сибирском Радиогелиографе (Конфигурация из 48 антенн, рабочий диапазон 4-8 ГГц)

ИСЗФ СО РАН

Исследован ряд солнечных вспышек. Для вспышки 10 марта 2002 г. численным моделированием создан сценарий её развития, определена конфигурация магнитного поля и параметры ускоренных электронов. Показано, что в основе вспышечного процесса лежит взаимодействие двух корональных магнитных петель, а ускоренные электроны имели анизотропное распределение.

Проведено численное моделирование радиоизлучения магнитных жгутов в солнечных активных областях. Показано, что для жгутов характерно интенсивное гирорезонансное излучение с яркостной температурой до нескольких миллионов градусов. Таким образом, магнитные жгуты - наиболее вероятная причина формирования наблюдаемых микроволновых источников над нейтральной линией фотосферного магнитного поля в предвспышечных активных областях.



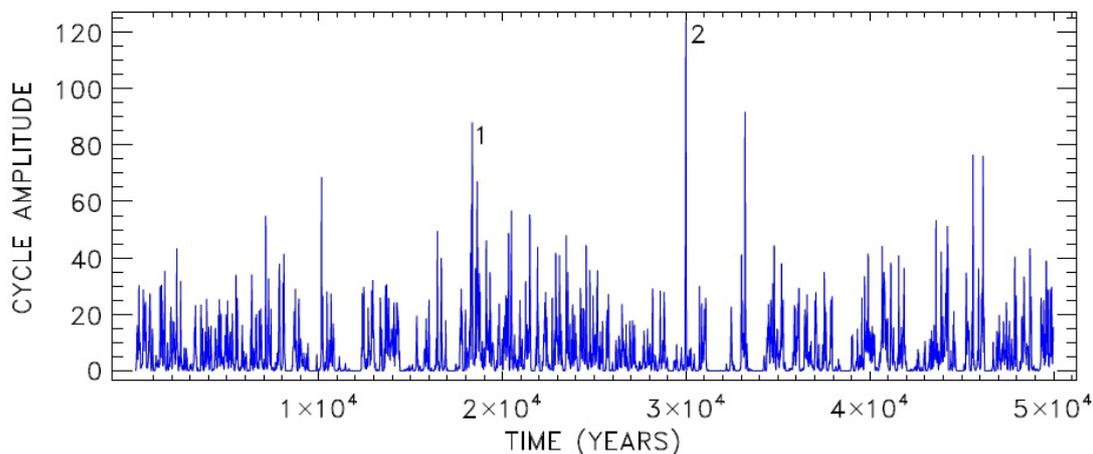
Публикации:

1. Altyntsev, Meshalkina, Mészárosová et al.: Solar Phys. 2016, 291, 445.
2. Fleishman, Pal'shin, Meshalkina et al.: ApJ, 2016, 822. ID. 71.
3. Kuznetsov, Keppens, Xia: Solar Phys. 2016, 291, 823.
4. Zhdanov, Lesovoi, Tokhchukova: Solar-Terrestrial Physics. 2016, 2, 15.

5. Модель динамо глобальных максимумов солнечной активности

ИСЗФ СО РАН

Данные телескопа «Кеплер» о супервспышках на подобных Солнцу звездах, и данные о солнечной активности, указывают на эпохи необычайно высокой активности. Цикличность активности в моделях солнечного динамо обеспечивается положительная величина (параметра α) альфа-эффекта. Обращение знака альфа-эффекта приводит к стационарному динамо и стократному возрастанию магнитной энергии. Положительный альфа-эффект для Солнца связан с правилом Джоя для углов наклона биполярных групп солнечных пятен. Продолжительные нарушения правила Джоя на фазе роста активности могут приводить к временным переходам динамо к стационарному режиму со значительным возрастанием магнитной энергии. Предварительные оценки дают крайне малую вероятность солнечных супервспышек.



Амплитуды магнитной энергии для 4000 циклов активности по модели динамо. Цифрами 1 и 2 помечены случаи наиболее значимых превышений «среднего» цикла по магнитной энергии

Публикация:

Kitchatinov L.L., Olemskoy S.V. Dynamo model for grand maxima of solar activity: can superflares occur on the Sun? // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS) – V. 459, P. 4353 (2016).

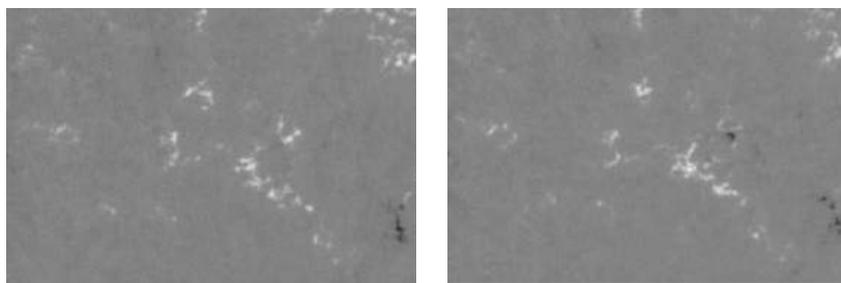
6. Зарождение биполярной магнитной области и модель всплывающей трубки

НИИЯФ МГУ

По данным орбитальной обсерватории Хиноде и Helioseismic and Magnetic Imager (HMI/SDO) изучена эволюция активных областей с целью поиска физического механизма пятнообразования.

Проанализированы наблюдения молодой группы пятен в АО 11313 и развитие АО 12548 20–26 мая 2016 г. В обоих случаях пространственные распределения вертикальной, B_v , и горизонтальной, B_h , компоненты магнитного поля пространственно коррелированы, и поля обладают особенностью, которую мы назвали эффектом окаймления: некоторые локальные экстремумы B_v окаймлены областями локально усиленного B_h . Это указывает на

фонтанообразную структуру магнитного поля вблизи экстремумов B_v . Возникновение биполярности произошло посредством обращения полярности одного из двух магнитных элементов, которые оказались зародышами группы (рисунок). В обеих АО поля пятен развивались как изолированные компактные образования, и между ними не прослеживалось присутствия сильного горизонтального поля. Подобная картина эволюции АО находится в противоречии со следствиями всплывания магнитной трубки.



Зарождение биполярной группы пятен в АО 12548. Показаны фрагменты магнитограммы, представляющей вертикальную компоненту магнитного поля, на моменты 20:24 TAI (слева) и 22:00 TAI (справа) 23 мая 2016 г. Стрелкой отмечен зародыш магнитного поля «головной» полярности.

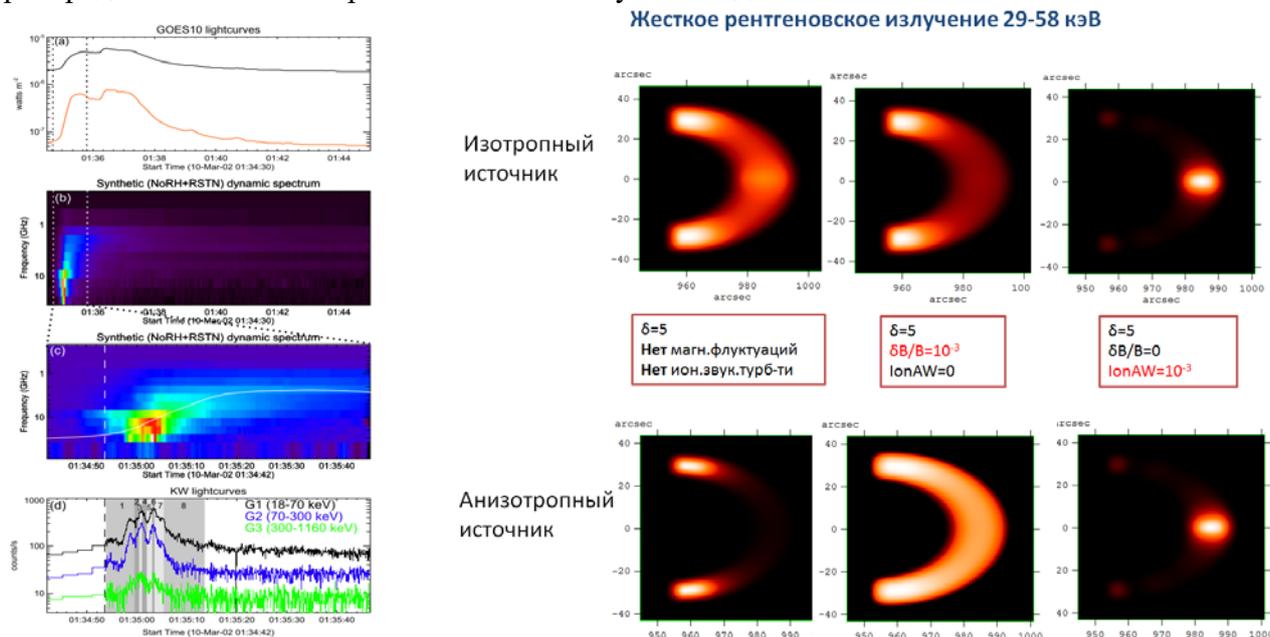
Публикация:

A.V. Getling, R. Ishikawa, A.A. Buchnev, Development of active regions: flows, magnetic-field patterns and bordering effect, Solar Physics, v. 291, no. 2. pp. 371–382, 2016, DOI: 10.1007/s11207-015-0844-3.

7. Ускорение ионов и электронов в солнечных вспышках по измерениям рентгеновского и гамма-излучения в экспериментах КОНУС-ВИНД, ГЕЛИКОН и ИРИС на солнечной обсерватории КОРОНАС-Ф

ФТИ им. Иоффе, ИСЗФ СО РАН

По данным «Конус-Винд» в жестком рентгене установлено, что «холодные» вспышки (низкий поток в мягком рентгене), связаны с конфигурацией магнитного поля – наличием соседних малой и большой вспышечных петель. Исследовано влияние рассеяния ускоренных электронов на магнитных неоднородностях и ионном звуке во вспышечных петлях. Для магнитных флуктуаций $\delta B/B=10^{-3}$ и ионного звука показано, что при инжекции в петлю изотропного распределения электронов оба типа турбулентности приводят к качественному изменению распределения жесткого рентгеновского излучения вдоль петли.



Признаки «холодных» вспышек. На первой панели низкий поток мягкого рентгена, а на нижней - большой поток в жестком рентгене.

Публикации:

Fleishman, Pal'shin, Meshalkina et al. *ApJ*, **822** (2) 2016

Altyn'tsev, Meshalkina et al. *Solar Phys.* **291**, 445, 2016

Charikov, Shabalin: *Geomagnetism & Aeronomy*, **56** (8) 2016

8. Вклад естественных и антропогенных факторов в изменения климата Земли. Оценка климатических последствий солнечных явлений и сценарии возможной эволюции климата Земли в XXI веке на основе анализа инструментальных, исторических и палеоданных

ФТИ им. Иоффе

Выявлен вклад солнечной активности в вариации температуры высокоширотной ($\varphi > 50^\circ$) части Северного полушария Земли на вековой временной шкале. Исследованы пять реконструкций температуры, полученных с помощью данных по кольцам деревьев и ленточным глинам за последние 3-5 веков. Результаты указывают на региональный характер отклика климата на активность Солнца. Проведена реконструкция гелиосферного модуляционного потенциала с конца 14-го по середину 19-го века. Интервал содержит как минимумы солнечной активности Шперера, Маундера, Дальтона, так и малый ледниковый период. Показано, что игнорирование влияния температуры на скорость перехода радиоуглерода из поверхностного слоя океана в атмосферу Земли искажает результаты реконструкции. Выявлены квазигармонические компоненты с периодами, близкими к современным солнечным циклам, то есть Швабе и Хейл циклы (~11 и 22 года) и цикл Брикнера (~30 лет). 7-и 8-летние периоды выявлены по изменению ширины колец окаменевших деревьев с возрастом 100-150 млн. лет, произраставших в пустыне Гоби. Полный цикл инверсии полярности магнитного поля Солнца (~22 года) проявляется в настоящее время и 100-150 миллионов лет назад.

Публикации:

Ogurtsov, Veretenenko, Lindholm, [Jalkanen](#). *Advances in Space Research*. 2016. **57**, 1280-1283.

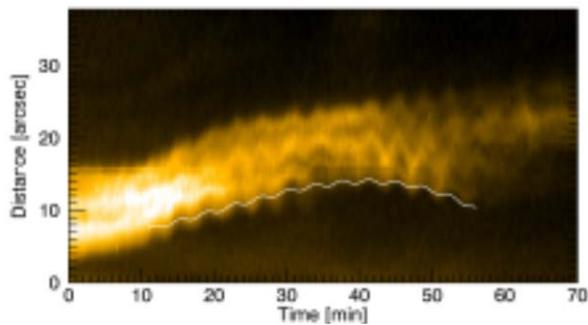
Kudryavtsev, Dergachev, Kuleshova, Nagovitsyn, Ogurtsov, *Geomagnetism and Aeronomy*. 2016. **56**(8).

Dergachev, Tyasto M, Dmitriev: *Advances in Space Research*. 2016. **57**. 1118–1126.

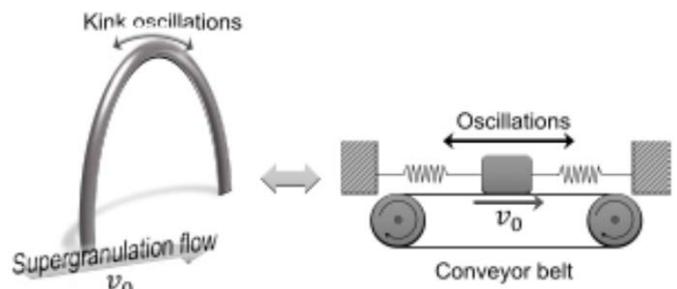
9. Незатухающие поперечные колебания корональных арок как генератор с самовозбуждением

ГАО РАН, ИСЗФ СО РАН

Незатухающие колебания солнечных корональных петель объяснены автоколебательным процессом, вызванным действием отрицательного трения. Источником энергии является внешние квазистационарные потоки вещества, например, супергрануляция у оснований петель. Процесс описывается уравнением осциллятора Рэлея.



Пример колебаний корональной арки в виде диаграммы «амплитуда-время» для солнечной вспышки 8.03.2011 (SDO/AIA).



Аналогия между колеблющейся корональной аркой, взаимодействующей с потоками вещества в супергранулах, и груза на пружинах, трущегося о ленту конвейера.

Публикация:

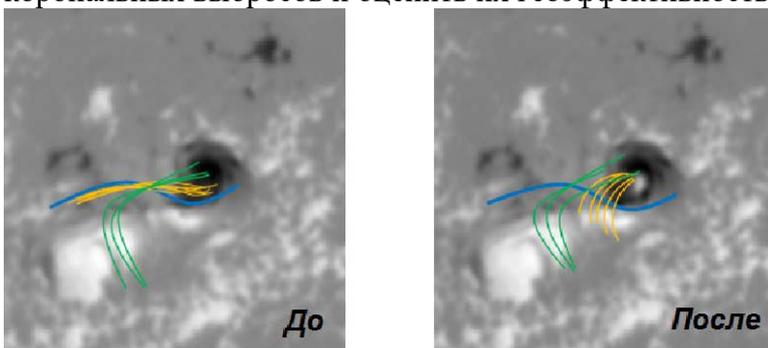
Nakariakov, Anfinogentov et al. A&A **591**, id.L5, 4 pp (2016)

10. Эруптивные явления на Солнце и их роль в формировании космической погоды

ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН, ГАО РАН

При анализе полного вектора магнитного поля и многоволновых наблюдений обнаружена перестройка системы силовых линий и бессиловых токов в области вспышечного энерговыделения. Подтверждена связь нестационарного процесса с выбросом магнитных жгутов в мощных сигмоидных вспышках. Это свидетельствует о том, что сильные токи на низких высотах над линией раздела полярностей трансформируются в токи вдоль системы петель.

Из наблюдений наземными и околоземными телескопами (STEREO и др.) определено положение протуберанцев в различные моменты времени во время эрупции. Сопоставление траекторий эруптивных протуберанцев с формой нейтральных поверхностей $Br = 0$ в короне, показало, что эруптивные протуберанцы на начальных участках траектории движутся вдоль нейтральных поверхностей. Это позволяет определить направление движения последующих корональных выбросов и оценить их геоэффективность.



Изображение низких (жёлтые) и высоких (зелёные) силовых линий над нейтральной линией (синяя) на фоне продольного магнитного поля до и после вспышки.

Публикации:

Лившиц, Григорьева, Мышьяков, Руденко, АЖ, **93**, 907 (2016)

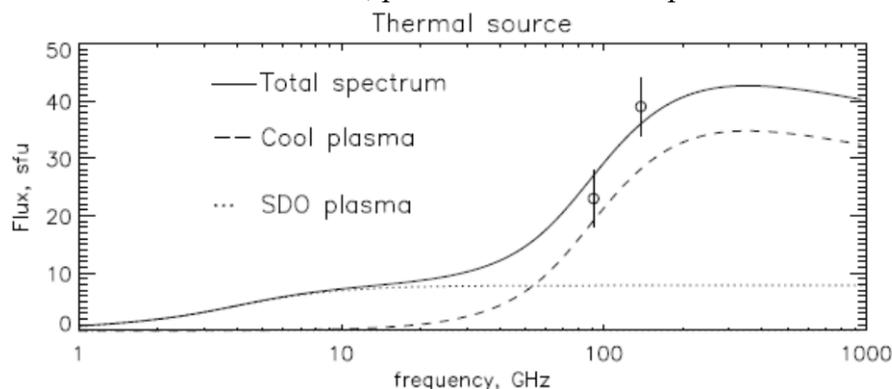
Филиппов, АЖ, **93**, 321 (2016)

11. Физические процессы в атмосфере Солнца. МГД-волны, нагрев плазмы и электромагнитное излучение

КрАО РАН, ГАО РАН, НГТУ им.Баумана

Показано, что волноводами для передачи энергии волн из фотосферы в корону являются магнитные трубки с поперечным размером ~ 100 км. Наиболее перспективными для нагрева - торсионные альфвеновские и изгибные колебания трубок. Исследованы фазовые соотношения между возмущениями эванесцентных звуковых и медленных магнито-звуковых колебаний с периодами ≥ 1 мин, возбуждаемых в фотосфере. Разность фаз $\pm\pi/2$ между скоростью и возмущёнными величинами: давлением, плотностью, магнитным полем, температурой, зависит от частоты волн. Эванесцентные волны не могут передавать энергию в верхние слои солнечной атмосферы, но с их помощью можно проводить диагностику плазмы фотосферы. Найденные фазовые соотношения хорошо согласуются с наблюдениями SOT/Hinode.

Из наземных (РТ-7.5 НГТУ им.Баумана) и космических (SDO, RHESSI, GOES) наблюдений в суб- терагерцовом (93-140 ГГц), ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, показано, что растущий с частотой поток миллиметрового излучения вспышки 4 июля 2012 г. связан с оптически толстым тепловым источником, расположенным в переходной области.



Публикации:

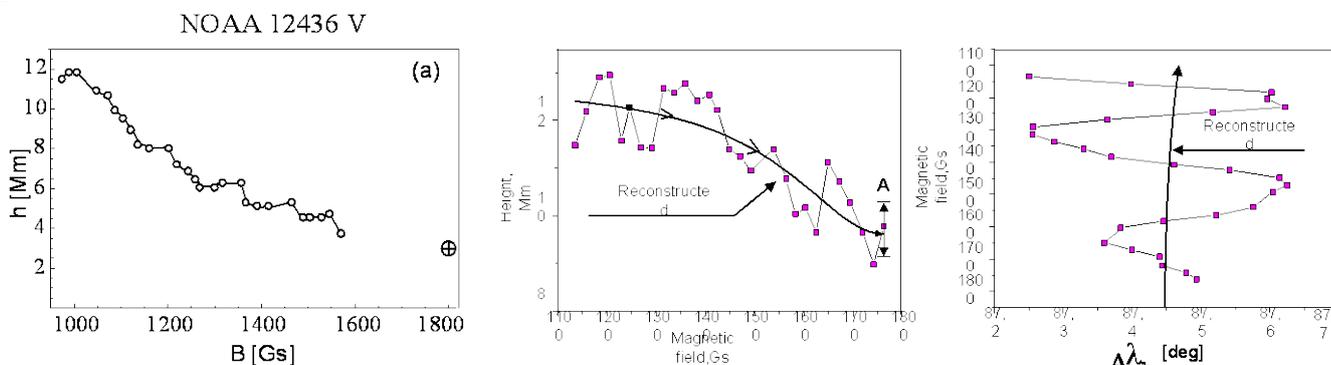
Tsap, Stepanov, Kopylova: Solar Physics, **291**, 3349 (2016)

Tsap, Smirnova, Morgachev, et al. Adv.Space Res. **57**, 1449 (2016)

12. Физика магнитосфер активных областей в переходной области и нижней короны Солнца по микроволновым наблюдениям

САО РАН, СПбГУ

На основе наблюдений на РАТАН-600 с высоким (1%) спектральным разрешением в диапазоне 3- 18 ГГц получены данные о тонкой высотной структуре корональных магнитных полей в активной области над пятнами с разрешением по долготе 0.02 градуса и по высоте 0.3-1.0 Мм. Высокие значения магнитных полей на этих высотах указывают на относительно слабую расходимость силовых линий магнитных трубок, ответственных за основной вклад в радиоизлучение активных областей.



Зависимость параметров коронального магнитного поля B от высоты h для активной области NOAA 12436 (22 октября 2015г.)

Пример высотного (слева) и долготного распределения магнитного поля (справа) в АО NOAA 10933 и сопоставление с расчетным распределением (сплошные линии).

Публикации:

Bogod, Yasnov: *Solar Physics*, 2016, DOI: 10.1007/s11207-016-0936-8

Yasnov, Gofman, Stupishin: *Solar Physics*, 2016, **291**, 1819

13. Физические условия во всплесках с зебра-структурой

СПбГУ

На основе метода, разработанного в (Karlický, M., Yasnov L. V., 2015. *Astron. Astrophys.*, 581, A115) и реконструкции магнитного поля по фотосферным данным в рамках нелинейного бессилового приближения для узкой области атмосферы, в которой наблюдалась вспышка, определена высотная зависимость магнитного поля, температура и высотная зависимость электронной плотности в области генерации всплеска с зебра-структурой.

Магнитные поля в области генерации всплеска находятся в диапазоне 14 – 21 Гс. Высоты таких полей находятся в пределах 2.5 – 3.3 Мм. В рамках барометрической зависимости электронной плотности от высоты было также получено, что температура в области генерации всплеска около 20000 К.

Сравнение полученных значений температуры и электронной плотности с соответствующими распределениями для активных областей в работе (Selhorst, Silva-Valio, Costa, 2008. *Astron. Astrophys.* 488, 1079) показало, что такие поля имеют место в основании переходной области солнечной атмосферы.

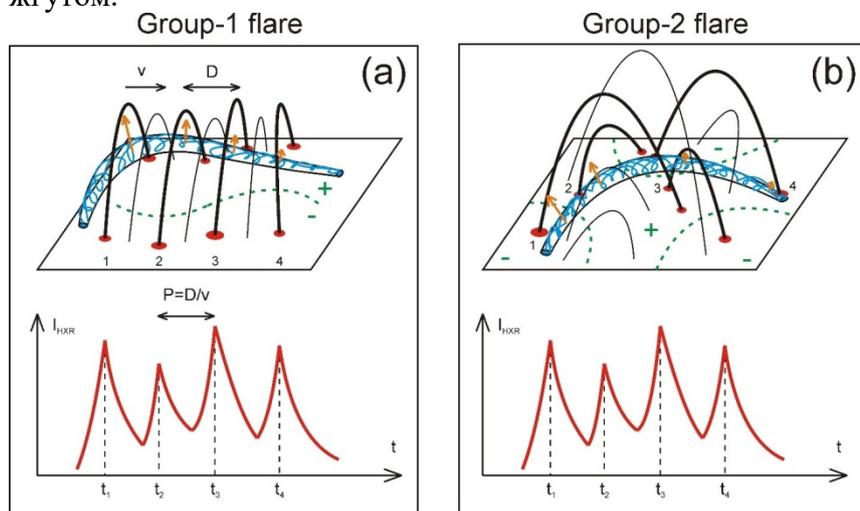
Публикации:

L.V. Yasnov, M. Karlicky, A.G. Stupishin. Physical conditions in the source region of zebra structure. *Solar Physics*, 2016, 291(7), 2037.

14. Пространственно-временная эволюция источников пульсаций жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек

НИРФИ, ГАО РАН, ИКИ РАН

Выполнен анализ пространственной динамики источников пульсаций жесткого рентгеновского (> 25 кэВ) излучения 29 солнечных вспышек, наблюдавшихся рентгеновским спектрометром RHESSI в 2002-2015 гг. Установлено, что во всех вспышках источники пульсаций не являются стационарными, их пространственное положение меняется от пульсации к пульсации. Сделан вывод о том, что причиной возникновения пульсаций жесткого рентгеновского излучения является последовательное вовлечение новых магнитных петель в процесс вспышечного энерговыделения в результате комплексного взаимодействия с эруптирующим магнитным жгутом.



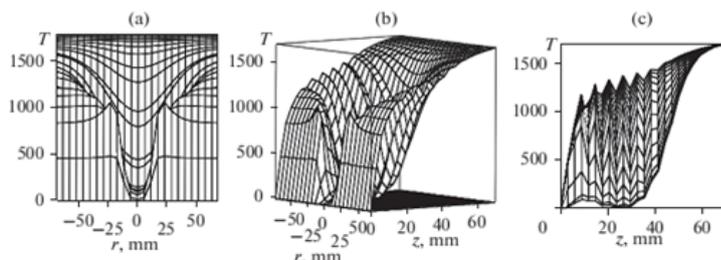
Публикация:

Kuznetsov, Zimovets, Morgachev, Struminsky. Solar Physics, P.1-42, 2016, DOI:[10.1007/s11207-016-0981-3](https://doi.org/10.1007/s11207-016-0981-3)

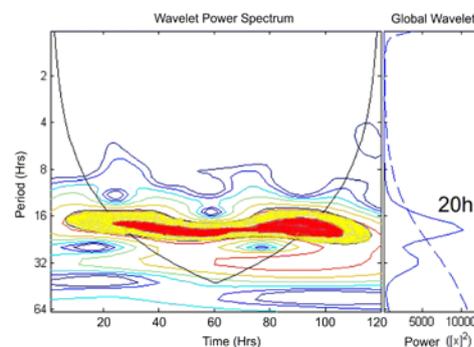
15. Новые физические модели солнечных активных образований, ГАО РАН

ГАО РАН

Разработаны качественно новые модели солнечных протуберанцев с винтовой структурой магнитного поля и 3D-корональных петель. Представлено точное аналитическое решение магнито-гидростатической задачи, описывающее равновесное удержание уединенного волокна в поле тяжести магнитными силами в короне на высотах до 40 Мм. Данные наземной сети телескопов Global Oscillation Network Group (GONG), полученные в линии H α , дали возможность выявить долгопериодические колебания хромосферных волокон. Впервые на Основе временного ряда длительностью 5 дней по данным трех обсерваторий сети GONG, в длинном и долгоживущем хромосферном волокне выявлены низкочастотные моды колебаний с периодами 20 и 30 часов.



Профиль температуры протуберанца в тыс. Кельвин. Все размеры в тысячах км (Мм). Видна тонкая структура протуберанца. Мин. температуры (4000К) достигается на высоте 20-30 Мм.



Вайвлет-анализ одной из трех частей волокна. Доминирует колебание с периодом 20 часов.

Публикации:

Solov'ev, Korol'kova, Kirichek: Geomagnetism & Aeronomy, 2016, **56**, 45

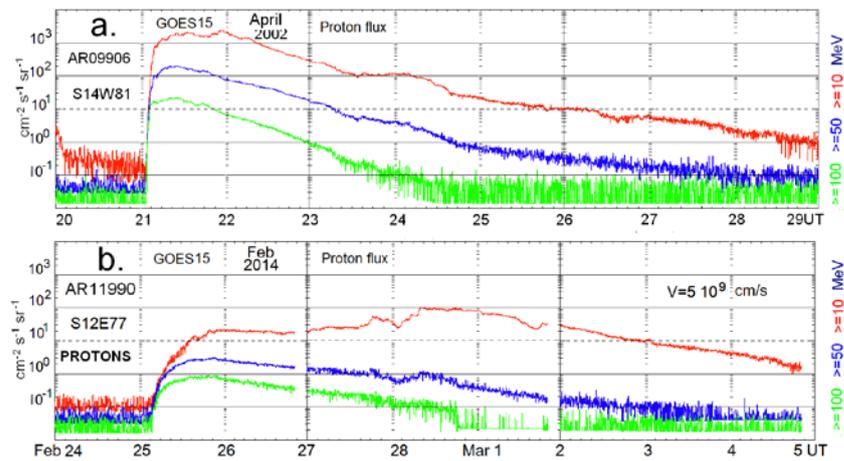
Efremov, Parfinenko, Solov'ev: Solar Phys. 2016, DOI: [10.1007/S11207-016-1021-2](https://doi.org/10.1007/S11207-016-1021-2).

16. О механизме ускорения космических лучей

ИНАСАН, ФИАН

Показано, что ускорение протонов происходит при распаде вспышечного токового слоя. Ускоренные "быстрые (prompt)" протоны приходят к Земле от вспышки, распространяясь вдоль линий ММП без столкновений. Ускоряемые частицы обладают экспоненциальным спектром, который затем трансформируется при развитии плазменных неустойчивостей. На формирование спектров частиц на орбите Земли влияют как механизм ускорения, так и эффекты распространения частиц в межпланетной среде.

Разработанная система графического вывода результатов МГД моделирования процессов в солнечной короне демонстрирует накопление магнитной энергии солнечной вспышки в токовом слое (ТС). ТС формируется в окрестности особой X-линии. Система демонстрирует и конфигурацию магнитного поля в источниках теплового и «пучкового» рентгеновского излучения вспышки.



Поток протонов от вспышки на Западе Солнца с крутым фронтом длительностью 10 – 15 мин (а). Поток приходит к Земле с задержкой ~ 30 мин, которая определяется временем пролета частицы от Солнца вдоль линии Архимеда. Протоны от восточных вспышек (б) регистрируются с запаздыванием в несколько часов. Фронт потока не бывает крутым. Частицы переносятся к Земле солнечным ветром и диффузией поперек магнитного поля.

Публикации:

Podgorny I, Podgorny A.: Sun and Geosphere **11**, 85, 2016

Подгорный И., Подгорный А.: Изв. КРАО **112**, 86, 2016

2 ФИЗИКА МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

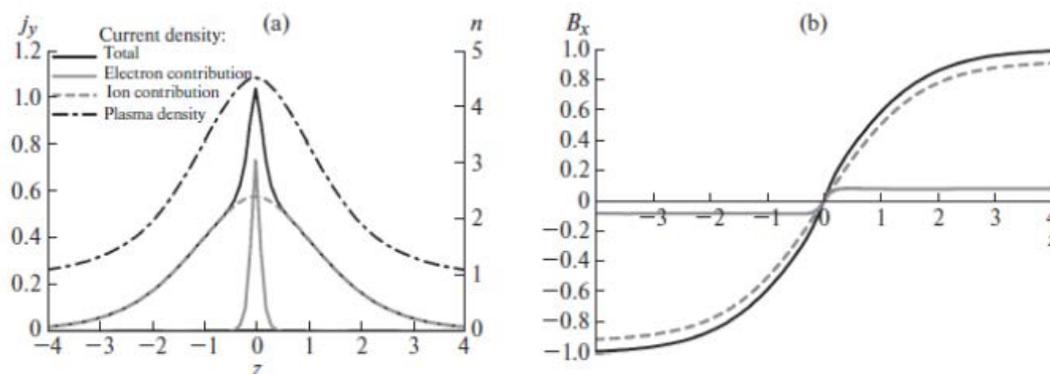
(раздел II «Физические науки», п. 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Развитие теории токовых слоев в гелиосфере и магнитосферах планет

ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ, ПГИ РАН, ИЗМИРАН при участии зарубежных партнеров

- Исследование взаимодействия гелиосферного токового слоя с плазмой солнечного ветра в рамках кинетического и МГД – подходов позволило предсказать эффект утолщения токового слоя в присутствии солнечных космических лучей в солнечном ветре. Показано, что в этом случае токовый слой формирует тонкую многомасштабную конфигурацию, вложенную в плазменный слой. На рисунке представлена плотность плазмы и вклады плазменных компонент в плотность тока (а) и магнитного поля (б) поперек токового слоя.



- На основе численной модели исследовано изменение толщины одномерного токового слоя в хвосте магнитосферы при уменьшении нормальной компоненты магнитного поля. При малом значении нормальной компоненты (0,12 относительно величины тангенциальной компоненты на границе), в системе образуется тонкий токовый слой, тогда как при большем значении этого параметра (0,2) – токовая конфигурация шире, так как захваченные вблизи нейтрального слоя частицы создают диамагнитные токи и формируется немонотонная зависимость магнитного поля от координаты.

- Построена точная аналитическая модель кинетического токового слоя в поле сил тяжести. Гравитация приводит к разделению зарядов и появлению амбиполярного электрического поля Паннекука - Росселанда, вызывающего дрейф ионов и электронов. В конечном счете, формируется асимметричное распределение магнитного поля, плотности плазмы и тока. Оценки показывают, что результаты модели могут быть применены к описанию токовых слоев в магнитосфере Меркурия, экзопланет и плазменного тора Ио.

- Сохранение магнитного момента частицы, дало возможность получить фазовые соотношения, описывающие бунчировку частиц по фазам при взаимодействии с токовым слоем. Получено масштабное соотношение связывающее толщину слоя и отношение тепловой и направленной скорости пучка.

Публикации:

- 1) Малова Х.В., Попов В.Ю., Григоренко Е.Е., Дунько А.В., Петрукович А.А., Гелиосферный токовый слой и эффекты его взаимодействия с солнечными космическими лучами, Физика Плазмы, Т. 42, N 8, С. 722-734, 2016
- 2) В.Ю. Попов, Х.В. Малова, Моделирование взаимодействия гелиосферного токового слоя с энергичными частицами солнечного ветра, Ученые Записки Физ. Ф-та МГУ, N3, 163116-1 –

163116-5, 2016.

3) Veselovsky I.S., R.A. Kislov, H.V. Malova, O. Khabarova, The model of a collisionless current sheet in a homogeneous gravity field, Phys. Plas., 2016, N10, 102902-1 – 102902-6, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4964774>.

4) Зеленый Л.М., Х.В. Малова, Е.Е. Григоренко, В.Ю. Попов, Тонкие токовые слои: От работ Гинзбурга - Сыроватского до наших дней, Успехи Физических наук, т.186, No11, с.1153-1188, 2016.

5) Домрин В. И., Малова Х. В., Артемьев А. В., Кропоткин А. П. Особенности формирования тонкого токового слоя в хвосте земной магнитосферы, Космические исследования, Т. 54, №6, 463-478, 2016.

6) Malova H. V., V. Yu. Popov, E. E. Grigorenko, A.A. Petrukovich, D. Delcourt, A. S. Sharma, O. V. Khabarova, and L. M. Zelenyi, Evidence for the quasi-adiabatic motion of charged particles in strong current sheets in the solar wind, Astrophys. J., 2016. – принято к печати

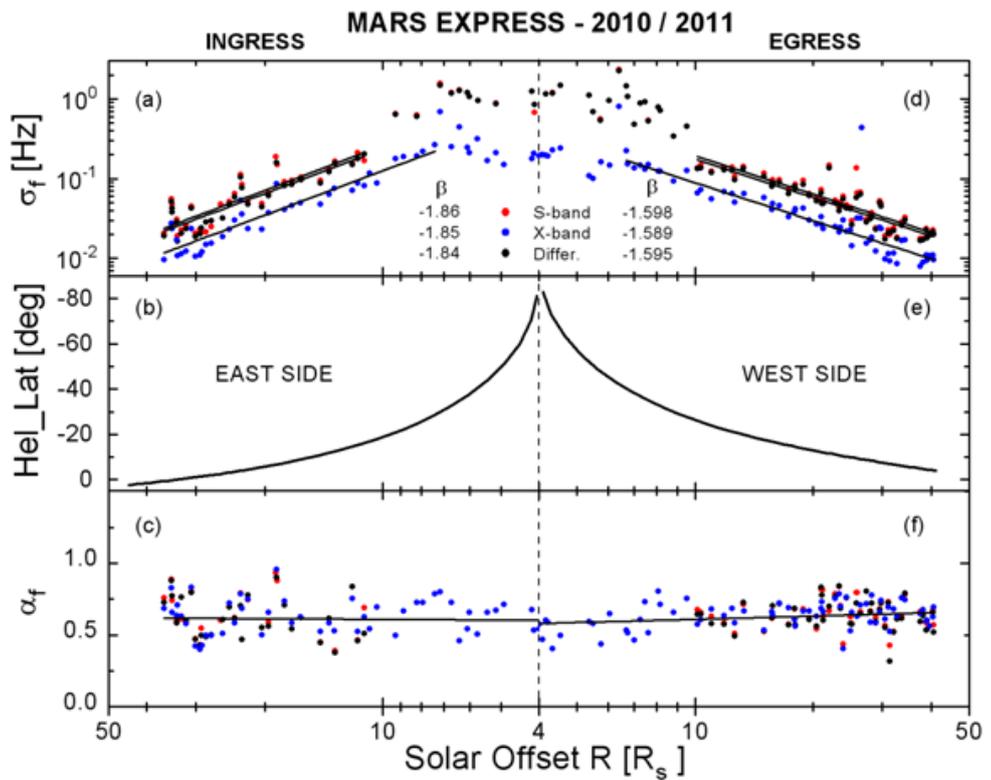
7) Sasunov Yu L., Khodachenko M.L., Alexeev I.I., Belenkaya E.S., Mingalev O.V., Melnik M.N., The influence of kinetic effect on the MHD scalings of a thin current sheet, Journal of Geophysical Research, 121, 12, 2016, DOI: 10.1002/2016JA023162, принята в печать.

Важные результаты:

2. Резкое уменьшение уровня флуктуаций частоты сигналов космических аппаратов ROSETTA в 2010 и MARS EXPRESS в 2010/2011 при переходе к гелиоширотам более 60°

ПРАО АКЦ ФИАН, ИРЭ РАН

Проведен анализ результатов экспериментов двухчастотного радиопросвечивания внутреннего солнечного ветра когерентными сигналами космических аппаратов ROSETTA в 2010 и MARS EXPRESS в 2010/2011. Исследовались временные флуктуации частоты радиосигналов S-диапазона и X-диапазона, а также дифференциальной частоты. Показано, что радиальные зависимости среднеквадратичных флуктуаций для всех трех измеряемых величин могут быть аппроксимированы степенными функциями вида $\sigma_i = A_i(R/R_\odot)^{-\beta_i}$, где $i = s, x, sx$. Оказалось, что отношение коэффициентов A_s и A_x отличается от ожидаемой теоретической величины $A_s/A_x = f_s/f_x$. Это объясняется тем, что в экспериментах сигналы X-диапазона проходили радиотрассы Земля – КА – Земля, тогда как для S-диапазона флуктуации обусловлены однократным прохождением трассы КА-Земля. Найдено, что уровень флуктуаций частоты резко уменьшается при переходе к гелиоширотам более 60°.



Публикация:

1. A.I. Efimov, L.A. Lukanina, L.N. Samoznaev, I.V. Chashei, M.K. Bird, M. Pätzold. Frequency fluctuations in the solar corona investigated with radio sounding experiments on the spacecraft ROSETTA and MARS EXPRESS in 2010/2011// Adv. Space Res. , принята в печать, 2016.

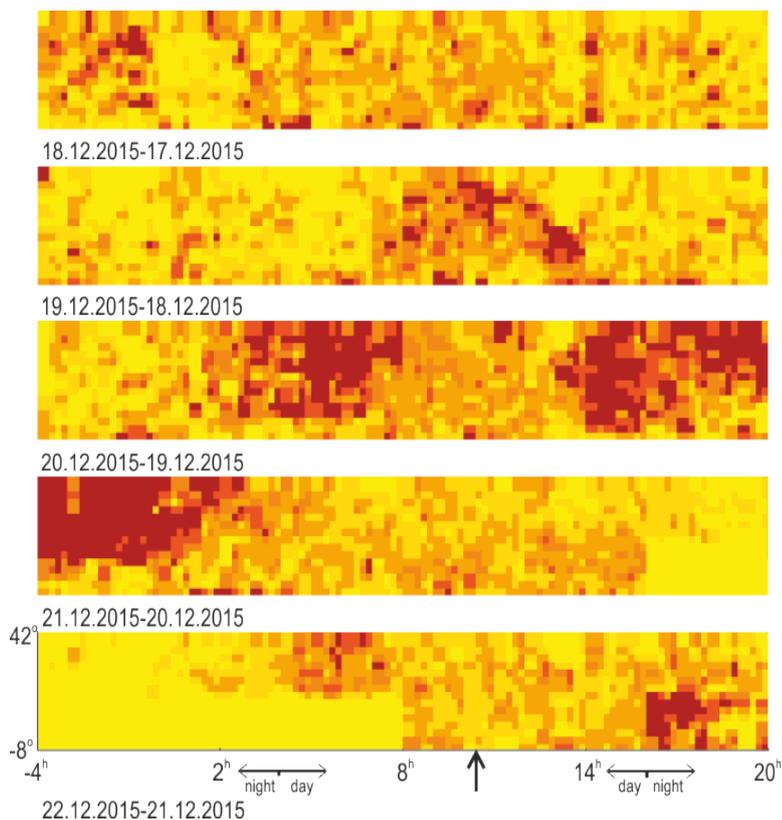
3. Пространственно-временная структура усиления межпланетных и ионосферных мерцаний при прохождении выброса корональной массы 20 декабря 2015 г.

ПРАО АКЦ ФИАН, ИРЭ РАН

Показано, что время запаздывания начала усиления межпланетных мерцаний по отношению к рентгеновской вспышке в короне Солнца примерно равно времени распространения возмущения от области начального усиления межпланетных мерцаний до орбиты Земли. Показано, что приход возмущения к Земле сопровождается значительным усилением ночных ионосферных мерцаний, характерное время которых уменьшается до величины порядка 1 с, сравнимой с характерным временем межпланетных мерцаний.

Около 8 часов московского времени 18 декабря 2015 г. на Солнце была зарегистрирована не очень сильная уединенная рентгеновская вспышка класса C 4.6, которая примерно через 60 часов привела к сильной геомагнитной буре. Послевспышечное возмущение не было зарегистрировано коронографами, но было до прихода к Земле четко зафиксировано в измерениях межпланетных мерцаний. Распространяющееся к Земле возмущение, примерно симметричное относительно линии Земля-Солнце, проявилось в данных мониторинга солнечного ветра на радиотелескопе БСА ФИАН как заметное усиление уровня межпланетных мерцаний с началом около 13 часов московского времени, фронтальная часть возмущения при этом находилась примерно на середине расстояния между Солнцем и Землей. Приближающееся к Земле возмущение привело к усилению мерцаний в послеполуденные и вечерние часы 19 декабря и в течение суток 20 декабря. По нашим оценкам средняя скорость распространения возмущения между вспышкой на Солнце и началом усиления мерцаний составили около 700 км/с. Средняя скорость распространения между Солнцем и Землей оказалась близкой к этой величине. В ночные часы с 20 на 21 декабря нами зафиксировано резкое усиление уровня ионосферных мерцаний, причем характерное время флуктуаций ионосферного происхождения

уменьшилось примерно на порядок по сравнению со спокойными условиями.



Рисунок, полученный по измерениям флуктуаций интенсивности (мерцаний) радиоисточников (около 5000 за сутки), демонстрирует динамику возмущения. Оттенки цветов от светло-желтого до темно-красного соответствуют повышению разности относительных уровней мерцаний от < 0.1 до > 0.5 в одних и тех же областях между данным и предыдущим днями. Пиксели соответствуют квадратным площадкам неба размером $3^\circ \times 3^\circ$, каждый содержит до 10 мерцающих источников. По оси ординат склонение зондируемой области от -8° до $+42^\circ$, по оси абсцисс всемирное время от -4 час до 20 час, стрелкой обозначено положение Солнца. Сильно возмущенные области в правой части третьей сверху панели и левой части четвертой панели соответствуют приходу возмущения к Земле.

Публикация:

Chashei I.V., Tyul'bashev, Shishov V.I., Subaev I.A. Interplanetary and ionosphere scintillation produced by ICME 20.12.2015 // Space Weather DOI: 10.1002/2016SW001455, 2016.

4. Анализ годичного (апрель 2013 г. – апрель 2014г.) цикла наблюдений межпланетных мерцаний радиоисточников, выполненных на модернизированном радиотелескопе БСА ФИАН

ПРАО АКЦ ФИАН, ИРЭ РАН

Проведен анализ годичного (апрель 2013 г. – апрель 2014г.) цикла наблюдений межпланетных мерцаний радиоисточников, выполненных на модернизированном радиотелескопе БСА ФИАН с новой 96 лучевой диаграммой направленности. В течение суток наблюдались около 5 000 радиоисточников, показывающих обусловленные межпланетными мерцаниями секундные флуктуации потока излучения. В массовых измерениях в качестве параметра, характеризующего уровень мерцаний, использовалось количество регистрируемых в квадратных площадках неба $3^\circ \times 3^\circ$ источников с дисперсией флуктуаций потока больше 0,2 ян. Полученные наблюдательные данные, относящиеся к периоду максимума 24 цикла солнечной активности, могут быть интерпретированы в рамках трехкомпонентной модели пространственной структуры солнечного ветра, состоящей из стабильной глобальной компоненты, распространяющихся возмущений и коротящих структур. Глобальная компонента соответствует сферически симметричному распределению абсолютного уровня мелкомасштабной турбулентности межпланетной плазмы. На фоне глобальной структуры наблюдаются распространяющиеся от Солнца возмущения. Распространяющиеся возмущения, регистрируемые в области гелиоцентрических расстояний 0,4-1 а.е. и на всех гелиоширотах, достигают орбиты Земли через 1-2 суток после усиления мерцаний. При этом в ночное время наблюдаются усиления ионосферных мерцаний. Коротящие возмущения имеют период повторения 27 суток. При приближении коронального основания коротящей структуры к

западному краю солнечного лимба наблюдаются возмущения ионосферы.

Публикация:

В.И. Шишов, И.В. Чашей, В.В. Орешко, С.В. Логвиненко, С.А. Тюльбашев, И.А. Субаев, П.М. Свидский, В.Б. Лапшин, Р.Д. Дагкесаманский. Мониторинг турбулентного солнечного ветра на модернизированном радиотелескопе БСА ФИАН: первые результаты // Астрон. Журн. Т.93. №12. С.1045-1060. 2016 (Ast. Rep. V.60. No.12. P.1067-1082. 2016).

5. Формирование согласованных спектров ускоренных ионов и альвеновских волн в событии 5 апреля 1979 г.

ИКФИА СО РАН

На основе разработанной в ИКФИА СО РАН квазилинейной теории регулярного (диффузионного) ускорения заряженных частиц ударными волнами исследовано формирование согласованных спектров ускоренных ионов и альвеновских волн в событии 5 апреля 1979 г. Впервые были сопоставлены результаты расчетов и экспериментальные данные по измерениям космических лучей и турбулентности альвеновских волн. Полученные результаты расчетов воспроизводят основные особенности поведения спектров ускоренных частиц и порождаемых ими альвеновских волн. Результаты исследования могут быть применены в решении задач «космической погоды».

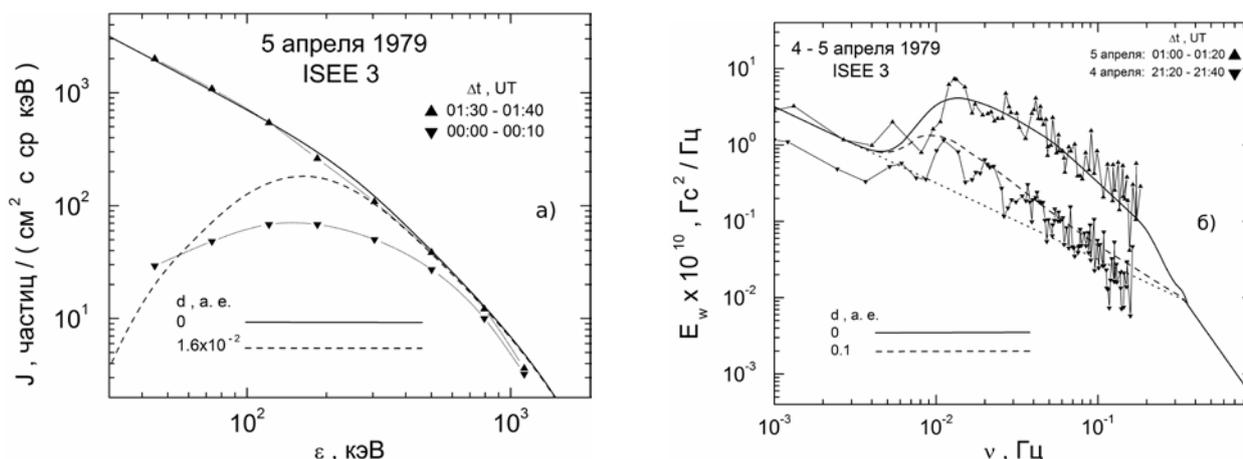


Рис. а) Зависимость интенсивности протонов от их энергии. Сплошная кривая - расчет на ударном фронте ($d=0$), штриховая - для расстояния $d=0.016$ а.е.; б) Частотный спектр альвеновских волн. Сплошная кривая - расчет на ударном фронте ($d=0$), штриховая - для расстояния $d=0.1$ а.е. Точечной линией отмечен выбранный авторами фоновый уровень альвеновских волн.

Публикация:

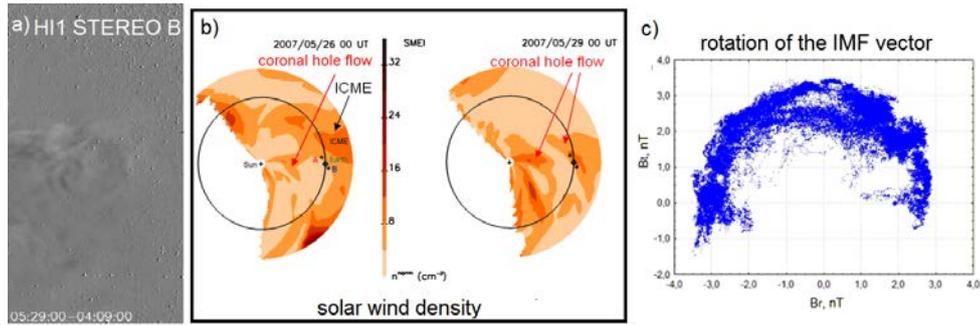
Бережко Е.Г., Танеев С.Н., Ускорение частиц и генерация альвеновских волн межпланетной ударной волной. // Письма в АЖ, 2016, Т. 42, №2, С.148-158.

6. Природа увеличения потоков заряженных частиц

ИЗМИРАН

Данные наблюдений магнитных полей и солнечного ветра на 1 а.е показывают, что магнитные острова размерами 0.01 а.е. рядом с гелиосферным токовым слоем, ассоциируются с нетипичным увеличением потоков заряженных частиц с энергиями до нескольких МэВ. Ранее считалось, что частицы ускоряются до таких энергий либо во время вспышек, либо на ударной волне выброса корональных масс, либо на 2-3 а.е. на фронтах ударных волн, сформированных потоками из корональных дыр. В то же время магнитные ловушки, заполненные ускоренными частицами, перемещаются вместе с окружающим солнечным ветром. Показано, что частицы

приобретают дополнительную энергию благодаря комбинации классического механизма ускорения (ударные волны, магнитное пересоединение) со стохастическим ускорением в магнитных островах, испытывающих слияние или сжатие.



- (a) Разностное изображение вихреобразного образования в межпланетной среде (данные HI1-STEREO B)
- (b) Восстановленный профиль плотности солнечного ветра между Солнцем и земной орбитой по данным SMEI, иллюстрирующий образование магнитной полости;
- (c) Годограф магнитного поля на ~ 1 а.е., соответствующий вращению магнитного поля при пересечении магнитной полости, заполненной магнитными островами.

Публикации:

Khabarova, Zank, Malandraki, Le Roux et al. ApJ, 2016, 827, 122.

Le Roux, Zank, Webb, Khabarova ApJ, 2016, 827, 47

3 ФИЗИКА МАГНИТОСФЕРЫ

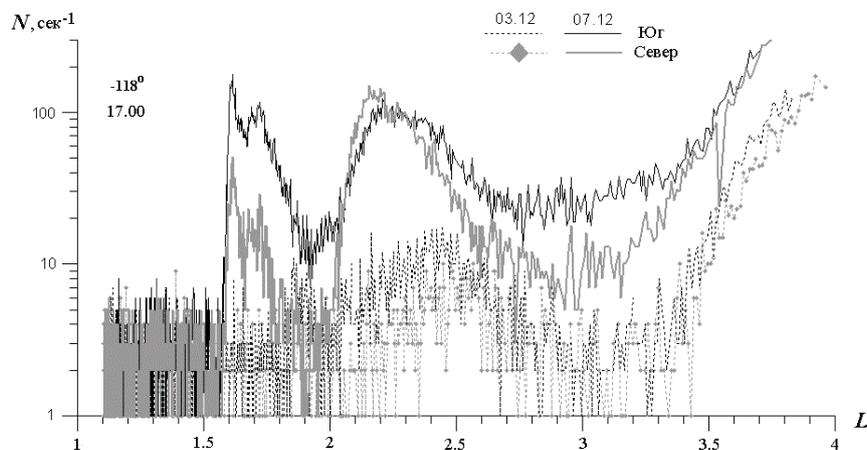
(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

Важнейшие результаты:

1. Обнаружение регулярных возрастаний потоков электронов субрелятивистских энергий в области зазора по данным наблюдений на спутнике «Вернов»

НИИЯФ МГУ, Физический факультет МГУ

В эксперименте с аппаратурой РЭЛЕК на спутнике «Вернов» обнаружены регулярные возрастания потоков электронов субрелятивистских энергий. В частности, для потоков электронов с энергиями в диапазоне 235-300 кэВ на $L < 4$ в период с 3 по 8 декабря 2014 г. 6 декабря были зарегистрированы резкие скачки в параметрах солнечного ветра и ММП, которые не привели к магнитной буре. Вместе с тем, после события 6 декабря потоки субрелятивистских электронов во внутреннем поясе и в зазоре усиливались и структурировались. В результате анализа динамики потоков электронов в локальных транзиентных всплесках на $L \sim 1.5-1.7$ показано, что эти всплески связаны с развитием циклотронной неустойчивости в вершинах магнитных трубок вблизи максимума внутреннего пояса. Оценки показателя анизотропии электронов в этих всплесках показывают, что вначале эти всплески анизотропны, а по мере затухания они изотропизируются.



Публикация:

Ковтюх А.С., Мягкова И.Н., Богомолов В.В., Богомолов А.В., Панасюк М.И., Свертилов С.И. «Локальные структуры электронов с энергией в сотни кэВ в области внутреннего пояса и зазора, наблюдавшиеся на ИСЗ «Вернов»», Геомагнетизм и аэрономия, 2016, 56(6), 700-712, doi: 10.7868/S0016794016060109.

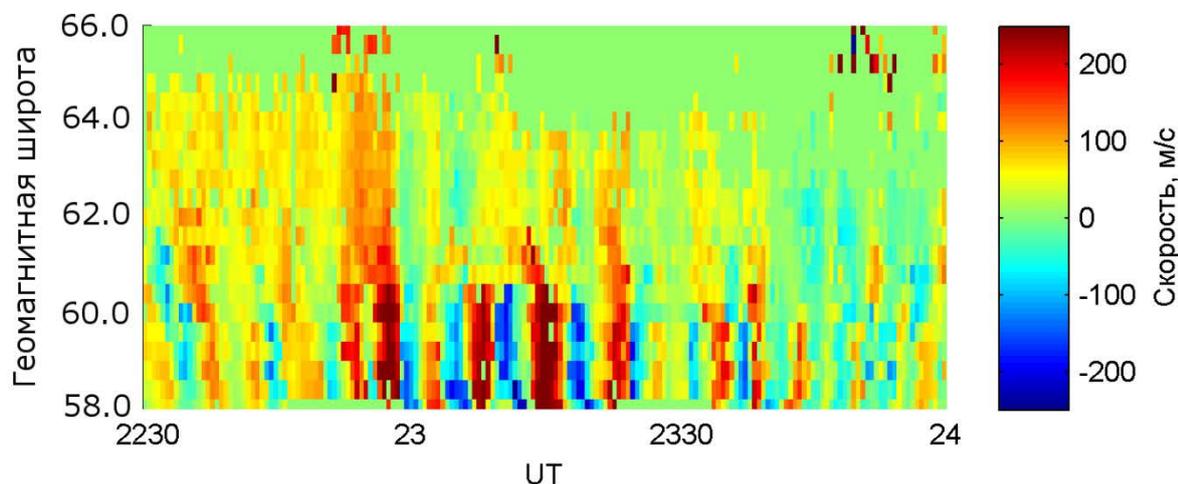
2. Установлено существование в магнитосфере дрейфово-компрессионной моды на примере волн, наблюдавшихся с помощью среднеширотного декаметрового когерентного радара

ИСЗФ СО РАН

В работе впервые представлены убедительные доказательства существования в магнитосфере дрейфово-компрессионных волн.

Природа компрессионных волн типа Pc5 до сих пор неясна. Одно из предположений заключается в том, что они являются проявлением дрейфовой компрессионной моды колебаний неоднородной плазмы. Однако ясных подтверждений этого до сих пор не было предоставлено. Это связано с трудностью изучения этих волн: они не могут наблюдаться с помощью наземных магнитометров, а наблюдения на спутниках достаточно редки.

Исследовано УНЧ волновое событие, зарегистрированное с помощью Екатеринбургского когерентного декаметрового радара (радар ЕКВ — единственный на территории России подобный инструмент). Наблюдение магнитосферных УНЧ волн с помощью радара базировалось на анализе рассеяния на неоднородностях F слоя ионосферы: по доплеровскому смещению определяются скорости этих неоднородностей, мелкомасштабные вариации которых ассоциируются с электрическим полем магнитосферных УНЧ волн. При анализе события показано, что направление распространения волны совпадает с направлением дрейфа энергичных протонов в магнитосфере. При этом найдена положительная корреляция (около 0.9) между частотой волны f и модулем азимутального волнового числа m , что означает зависимость частоты волны f от азимутального волнового числа m . Из известных видов волн в магнитосфере, соответствующих Pc5 диапазону, только дрейфово-компрессионная мода имеет такую азимутальную дисперсию.



Колебания в скорости ионосферной плазмы вдоль луча 0 радара 26 декабря 2014 г.

Публикации:

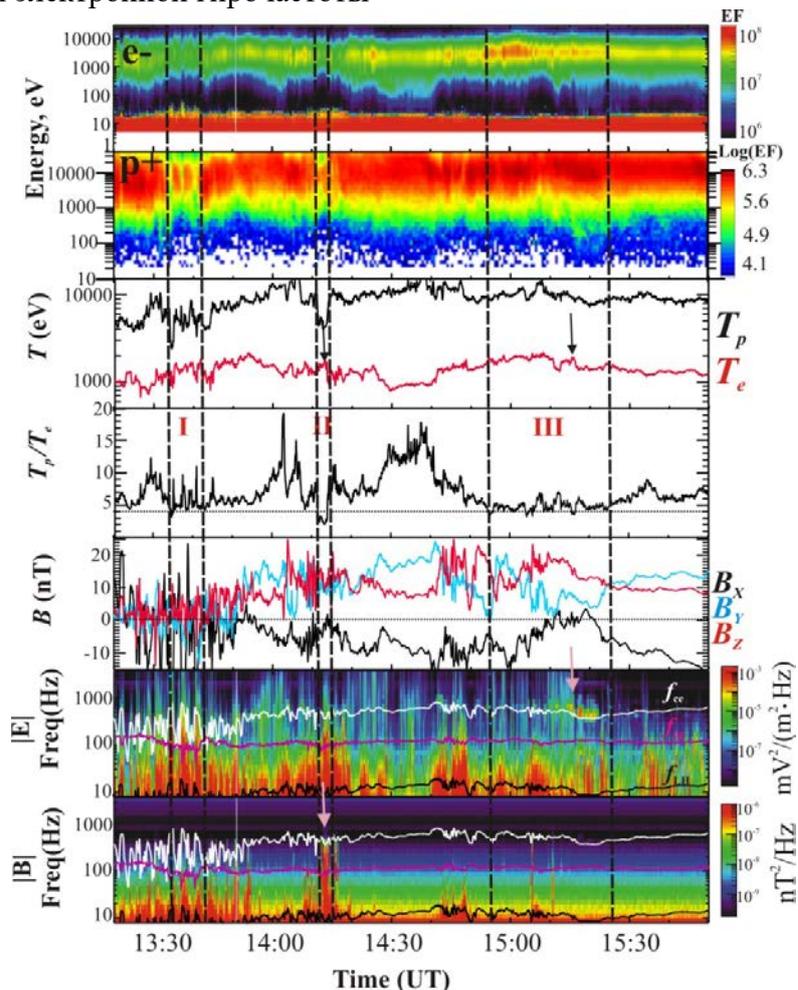
Chelpanov M.A., P.N. Mager, D.Y. Klimushkin, O.I. Berngardt, and O.V. Mager Experimental evidence of drift compressional waves in the magnetosphere: An Ekaterinburg coherent decameter radar case study // *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 2016, V. 121, P. 1315-1326, doi: 10.1002/2015JA022155.

3. Установление связи между нагревом электронов и уменьшением T_p/T_e до 2.0 и всплесками волновой активности вблизи электронной гирочастоты в плазменном слое геомагнитного хвоста во время магнитных диполизаций

ИКИ РАН с иностранными коллегами

На основе статистического анализа 5-летних наблюдений Cluster в плазменном слое (ПС) хвоста магнитосферы установлено, что в нагрев электронов и спонтанном уменьшении T_p/T_e до 2.0 существенную роль играют электростатические и электромагнитные колебания вблизи электронной гирочастоты, возбуждаемые в ПС после начала магнитной диполизации, в период ослабления тока в ТС и поддержания значительной Vz-компоненты магнитного поля. Метод наложения эпох показал, что: нагрев электронов и

уменьшение T_p/T_e наблюдаются после начала диполизации при больших значениях B_z , уменьшение T_p/T_e наблюдается во время роста мощности электрических и магнитных флуктуаций вблизи электронной гирочастоты



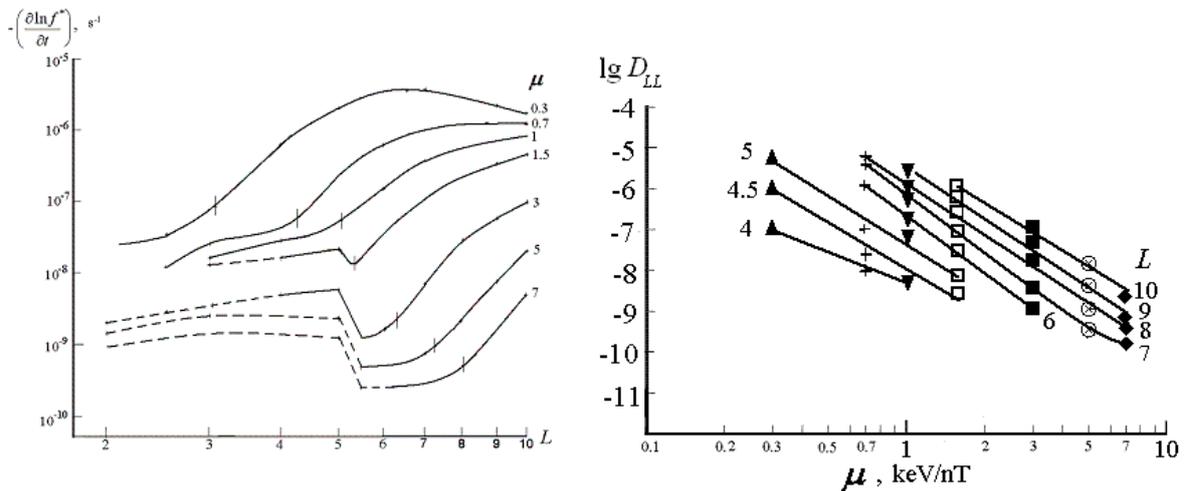
Публикация:

Grigorenko et al., Origin of low proton-to-electron temperature ratio in the Earth's plasma sheet, J. Geophys. Res., 121, 9985–10,004, DOI: 10.1002/2016JA022874, 2016.

4. Времена ионизационных потерь и скорости радиальной диффузии протонов во внешнем поясе в спокойные и слабо-возмущенные периоды

НИИЯФ МГУ

На основе современных моделей плазмосферы и экзосферы построены радиальные профили скоростей ионизационных потерь протонов с $\mu = 0.3\text{--}10$ кэВ/нТл РПЗ вблизи экваториальной плоскости. Показано, что с уменьшением L скорость ионизационных потерь протонов РПЗ уменьшается и для протонов с $\mu > 1.2$ кэВ/нТл в районе плазмопаузы в этой зависимости формируется локальный минимум. Показано, что на $L > 3$ при $E < 300$ кэВ доминирует перезарядка протонов с атомами водорода, а при $E > 300$ кэВ – кулоновские потери протонов. Обнаружен эффект вычитания кулоновских потерь из перезарядки захваченных протонов при малых μ и L , который может имитировать локальный источник частиц.



Величины, определяющие скорости радиального переноса частиц РПЗ, вычислены по данным о потоках и спектрах протонов путем последовательного решения цепочки интегро-дифференциальных уравнений, описывающих баланс переноса/ускорения и ионизационных потерь протонов стационарных РПЗ. Результаты хорошо согласуются с экспериментальными спектрами пульсаций электрического поля в диапазоне Pc6, и их можно отнести также к электронам с $E \sim 0.2\text{--}1.2$ МэВ на $L \sim 4.5\text{--}7.5$. Электронам с $E > 1.2$ на $L > 4.5$ отвечает более пологий участок спектра пульсаций электрического поля в более высоком диапазоне (Pc5), и для них зависимости от E (μ) и L должны быть более слабыми.

Публикации:

1. Kovtyukh A.S. (2016), Radial dependence of ionization losses of protons of the Earth's radiation belts, Ann. Geophys., 34(1), 17-28, doi:10.5194/angeo-34-17-2016.
2. Kovtyukh A.S. (2016), Deduction of the rates of radial diffusion of protons from the structure of the Earth's radiation belts, Ann. Geophys., 34(11), 1085-1098, doi:10.5194/angeo-34-1085-2016.
3. Ковтюх А.С. (2016) Ионизационные потери протонов радиационных поясов Земли в теории радиальной диффузии, Космич. исслед., 54(4), 286–294. doi: 10.7868/S0023420616040038.

Важные результаты:

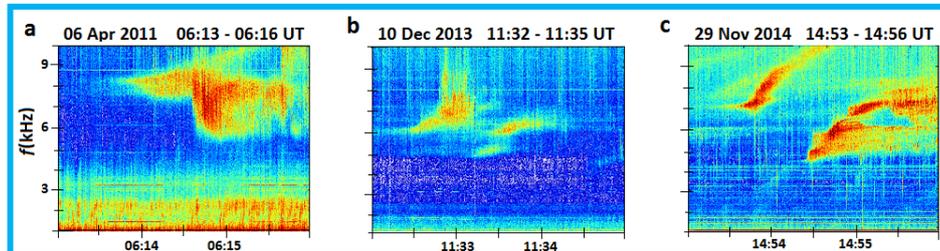
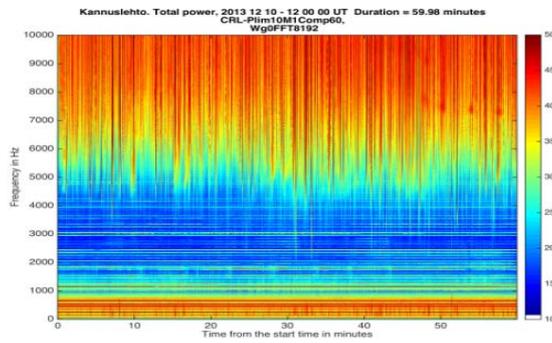
5. В результате подавления импульсных помех (сфериков) выявлен новый, неизвестный ранее вид высокочастотных (выше 4 кГц) ОНЧ излучений по данным финских наблюдений во время зимних кампаний на выносном пункте Каннуслехто (Kannuslehto, $L \sim 5.5$)

ИФЗ РАН с иностранными коллегами

Излучения наблюдаются в виде серий отдельных коротких всплесков на частотах 4 -10 кГц и более, на слух напоминают щебет птиц, поэтому были названы «bird-emissions» («птички»). «Птички» обычно регистрируются днем в магнитно-спокойных условиях, их генерация, вероятно, происходит внутри плазмосферы. Однако окончательный механизм возбуждения и распространения этих волн еще не установлен.

Публикация:

Manninen J., Turunen T., Kleimenova N., Rycroft M., Gromova L., Sirvio I., Unusually high frequency natural VLF radio emissions observed during daytime in Northern Finland // Environmental Research Lett., Article reference: ERL-102680.R1, 2016.

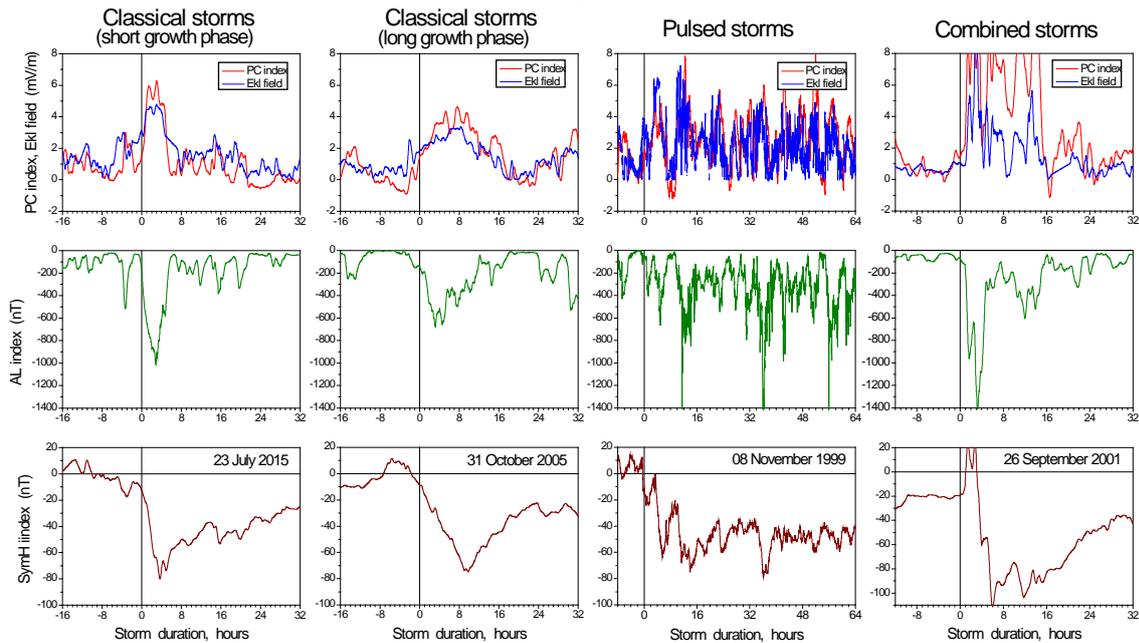


6. Показано, что солнечный источник магнитной бури (CMEs, CIRs/SIRs, или их суперпозиция) определяет поведение магнитной активности в полярной шапке (PC индекс) и характер развития бури.

ААНИИ

Соответственно, магнитные бури могут быть разделены на классические, пульсирующие и комбинированные. «Классические» магнитные бури, генерируемые CMEs, демонстрируют, в полном соответствии с описанием Чепмена [1963], чётко определяемую «фазу роста», связанную с ростом PC индекса, «главную фазу», следующую за PC максимумом, и «фазу восстановления», связанную с падением PC индекса ниже порогового значения $PC=1.5$ мВ/м. «Пульсирующие» бури, вызываемые CIRs/SIRs, представляют последовательность повторяющихся PC пульсаций с различными амплитудами и периодами, и соответствующую последовательность колебаний в ходе депрессии геомагнитного поля. В случае «комбинированных» бурь повторяющиеся PC пульсации происходят на фоне «порога» – высокого уровня PC , при этом отношение амплитуды пульсаций к высоте «порога» может быть различным в ходе разных бурь. Во всех случаях ход Dst вариации следует, в целом, за изменениями PC индекса с временной задержкой $\sim 1 \pm 0.5$ час. «Классическая» магнитная буря достигает максимальной интенсивности (Dst_{MIN}) примерно через час после максимума PC , при этом величины PC_{MAX} и Dst_{MIN} связаны линейным соотношением.

Different types of magnetic storm development



Публикации:

O.A.Troshichev, N. A. Podorozhkina, D.A.Sormakov, A. S. Janzhura, PC index as a proxy of the solar wind energy that entered into the magnetosphere: 3. Development of magnetic storms, *J. Geophys. Res.*, 119, 6521–6540, 2014.

O.A.Troshichev, D.A.Sormakov, PC index as a proxy of the solar wind energy that entered into the magnetosphere: 2. Relation to the interplanetary electric field E_{KL} before substorm onset, *Earth, Planets and Space*, 67, 170, DOI: 10.1186/s40623-015-0338-4, 2015.

7. Радиальная диффузия высокоэнергичных электронов в средней магнитосфере Юпитера.

ИПФ РАН

Показано, что эффективность радиальной диффузии тесно связана с десятичасовой динамикой плазменного магнитосферного мазера в зоне кольцевого тока. Полученная в результате расчетов величина и функциональная зависимость коэффициента радиальной диффузии поперек магнитных оболочек близка к известной из наблюдений.

Временная модуляция потоков энергичных электронов при глобальном резонансе модулирует кольцевой ток вне плазменного тора спутника Ио и обеспечивает импульсы азимутальной компоненты электрического поля в средней магнитосфере. Определены величины связанных с электрическими импульсами случайных переносов энергичных электронов поперек магнитных оболочек и получено выражение для модельного коэффициента радиальной диффузии. Функциональный вид и величина модельного коэффициента радиальной диффузии находятся в хорошем соответствии с известными для магнитосферы Юпитера экспериментальными данными, согласно которым в средней магнитосфере

$$D_{LL} \propto L^4.$$

Для сравнения отметим, что в условиях магнитосферы Земли основным драйвером радиальной диффузии частиц в радиационных поясах служат электромагнитные импульсы, обусловленные колебаниями давления солнечного ветра. В этом случае коэффициент радиальной диффузии характеризуется намного более резкой зависимостью от магнитной оболочки:

$$D_{LL} \propto L^{10}.$$

Публикация:

Беспалов П.А., Савина О.Н., Особенности радиальной диффузии энергичных электронов в средней магнитосфере Юпитера // Космические исследования. 2016. Т. 54. № 3. С. 204-208.

8. Некоторые соотношения между параметрами квазимонохроматических свистовых волн, генерируемых на линейной и нелинейной стадиях циклотронной неустойчивости в режиме лампы обратной волны, с помощью численных расчётов обобщены на случай неоднородной среды.

ИПФ РАН

Проанализировано соотношение между амплитудой волны на нелинейной стадии и линейным инкрементом циклотронной неустойчивости, полученное ранее аналитически В. Ю. Трахтенгерцем для однородной среды в предположении постоянной частоты и амплитуды генерируемой волны. На основе уточнённого выражения для линейного инкремента абсолютной циклотронной неустойчивости в неоднородной среде показано, что аналогичное соотношение имеет место и для сигналов, генерируемых в неоднородном магнитном поле и обладающих дискретной структурой в виде коротких волновых пакетов (элементов) с быстрым дрейфом частоты внутри каждого элемента. Проанализировано соотношение между скоростью изменения частоты в дискретных элементах и амплитудами волн. Данные соотношения важны для анализа связи между параметрами хоровых излучений в магнитосферах Земли и планет и характеристиками генерирующих эти сигналы энергичных частиц.

Публикация:

Демехов А. Г. Связь между параметрами линейной и нелинейной стадий генерации волн в магнитосферном циклотронном мазере в режиме лампы обратной волны // Изв. вузов. Радиофизика. 2016. Т. 59, №10. С. 863-872.

9. Возможная роль нелинейного дрейфа частоты в квазипериодических экваториальных магнитозвуковых волнах

ИПФ РАН

Проанализированы данные, полученные на спутниках Cluster в экваториальной области магнитосферы. Механизм частотного дрейфа связан с нелинейным захватом частиц в поле волны и развитием сателлитной неустойчивости за счет модификации функции распределения заряженных частиц (надтепловых протонов с энергиями от 100 эВ до 10 кэВ). Сделан вывод о том, что нелинейный механизм дрейфа частоты не может быть ответственным за наблюдаемый на спутниках Cluster частотный дрейф квазипериодических экваториальных магнитозвуковых волн.

Публикация:

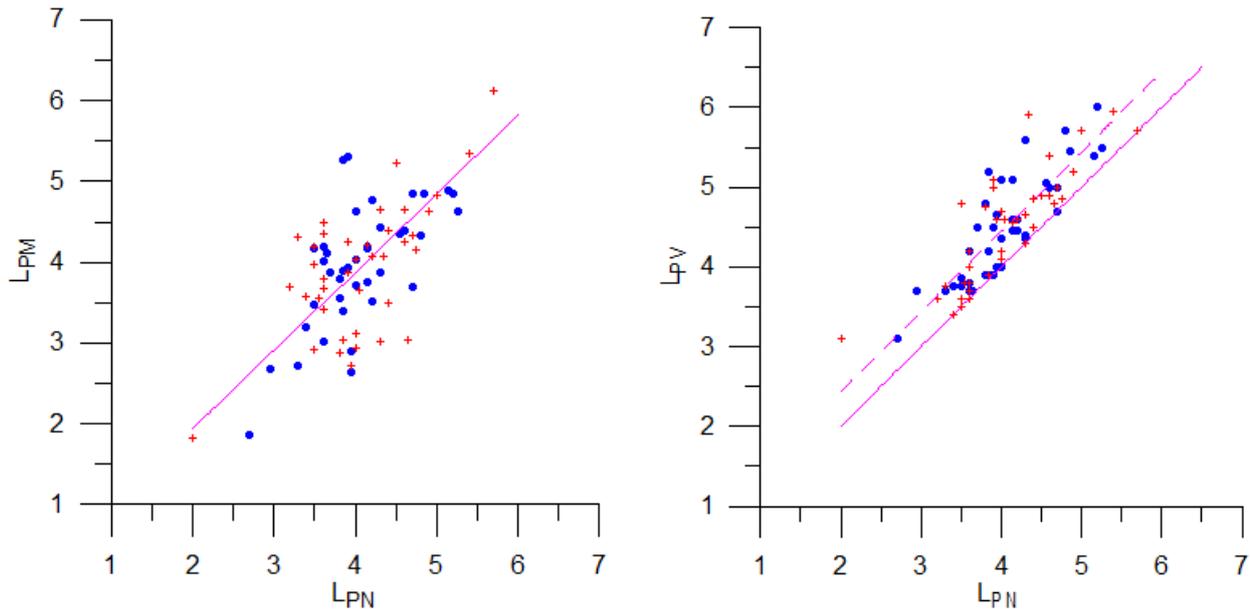
Walker S.N., Demekhov A.G., Boardsen S.A., Ganushkina N.Y., Sibeck D.G., Balikhin M.A. Cluster observations of non-time continuous magnetosonic waves // J. Geophys. Res. Space Physics. 2016. V.121, No.10. P.9701–9716. doi:10.1002/2016JA023287.

10. Использование физического моделирования для выбора адекватного метода определения положения плазмопаузы

ИКИ РАН

За плазмопаузу часто принимается внутренняя граница, после которой плотность плазмы падает в 5 или более раз при увеличении L – оболочки на 0,5. Данные измерений холодной

плазмы на космическом аппарате ИНТЕРБОЛ-1 (1995-2000 гг.) позволяют также определить плазмопаузу визуально по временной последовательности энергетических спектров ионов. Внутри этой границы спектры холодной плазмы регулярные и плотность более $5-10 \text{ см}^{-3}$. На основании анализа данных ИНТЕРБОЛа-1 показано, что граница, определенная по падению плотности приблизительно совпадает с плазмопаузой, определенной как последняя замкнутая линия потока плазмы при физическом моделировании распределения плазмы в плазмосфере (рис. слева). Различие в положении границ, определенных по двум эмпирическим методикам позволяет оценить толщину пограничного слоя плазмосферы, который в среднем составляет $0.4 - 0.5 R_e$ в экваториальной плоскости, но может достигать $1.4 R_e$ (рис. справа).



Публикация:

Котова Г.А., Веригин М.И., Безруких В.В., Использование физического моделирования для выбора адекватного метода определения положения плазмопаузы, *Геомагнетизм и Аэронавигация*, 2016 (принята в печать).

11. Северо-южная асимметрия магнитной активности

ИКФИА СО РАН

По данным геомагнитных субавроральных индексов a_n и a_s обнаружено, что: а) северо-южная асимметрия магнитной активности проявляется в 6-18-часовой компоненте суточной вариации магнитной активности, а в 0-12-часовой компоненте отсутствует полностью, б) северо-южная асимметрия тем больше, чем выше уровень магнитной активности (рис. 1). Предполагается, что непосредственной причиной северо-южной асимметрии являются меридиональные токи Педерсена, текущие между высокими и средними широтами в ионосфере.

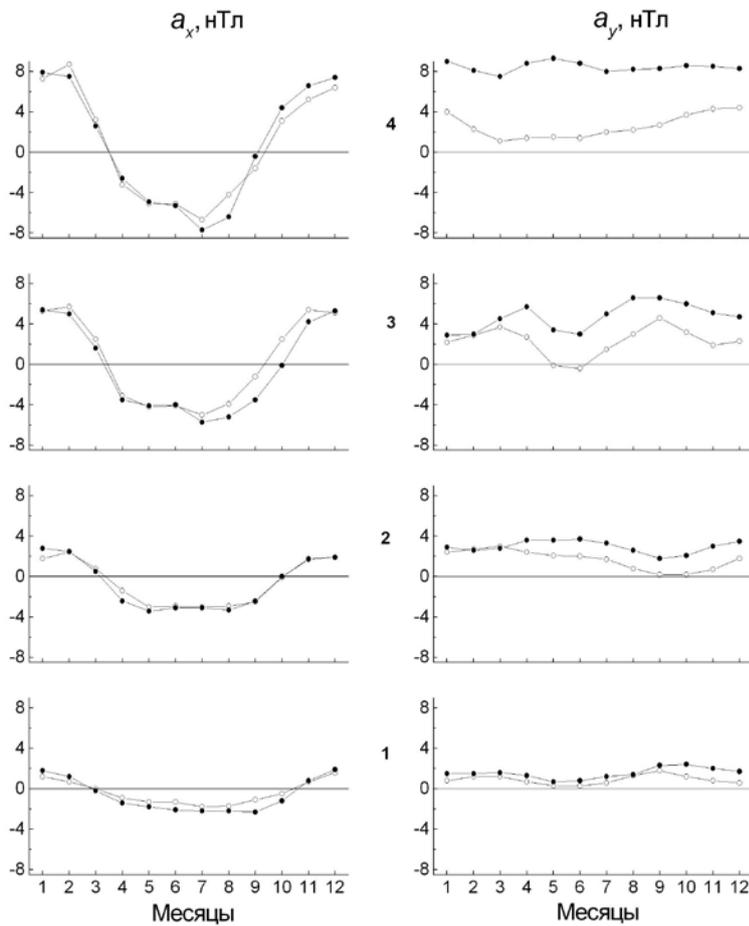


Рис.1. Годовой ход 0-12-ти (a_x) и 6-18-ти (a_y) часовых компонент суточной вариации магнитной активности в активном (●—●) и контрольном (○—○) вариантах; активный вариант отражает превышение магнитной активности в положительном (отрицательном) секторе межпланетного магнитного поля (ММП) в северном п (южном s) полушарии Земли и получается в виде суммы ($a_n^+ + a_s^-$), где знаки «+» и «-» относятся к положительному и отрицательному секторам ММП, контрольный вариант ($a_n^- + a_s^+$) образуется для сравнения. Цифрами 1-4 обозначены уровни магнитной активности: 1 - $\Sigma K_p = 0-12$; 2 - 13-18; 3 - 19-23; 4 - 24-33

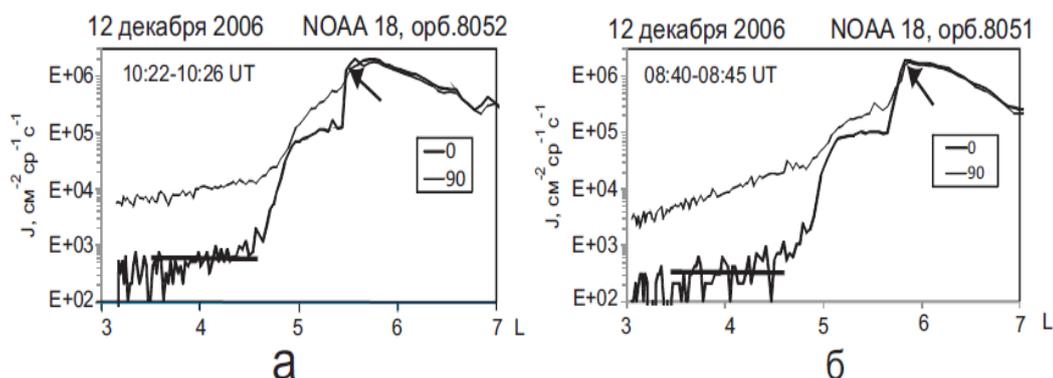
Публикация:

Макаров Г.А. Северо-южная асимметрия геомагнитной активности и электрическое поле солнечного ветра // Солнечно-земная физика. Том 2, № 1, с. 32-35 (2016). DOI:10.12737/13403

12. Показано, что широкополосные квазиэлектростатические свистовые волны большой амплитуды, наблюдавшиеся в приэкваториальной области на $L \sim 3 - 4$, могут вносить вклад в рассеяние протонов в конус потерь и их высыпание в ионосферу.

ИКИ РАН, ПГИ РАН

Изучено взаимодействие энергичных протонов радиационных поясов Земли с квазиэлектростатическими свистовыми волнами большой амплитуды, наблюдавшимися на спутнике STEREO-B (Cattell et al., 2008). Вдали от экватора, где гирочастота и поперечная скорость протонов возрастают, становится возможным нелинейное взаимодействие энергичных протонов с указанными волнами. Показано, что неоднородность плазмы может разрушать циклотронный резонанс между волной и протоном уже на временах, порядка циклотронного периода частицы. В этом случае динамика частиц в фазовом пространстве имеет диффузионный характер, однако коэффициенты диффузии определяются не резонансными гармониками волнового поля, как в классической квазилинейной теории, а его усредненной амплитудой. Для реальных параметров волн и магнитосферной плазмы существенной оказывается питч-угловая диффузия протонов в конус потерь, приводящая к их высыпанию из магнитосферы.



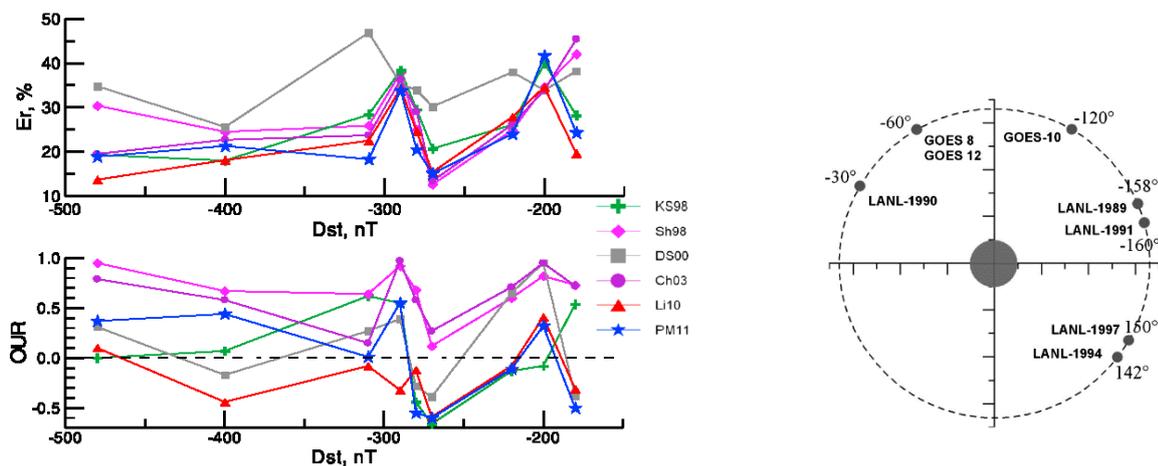
Публикация:

Шкляр, Д. Р., Е. Е. Титова (2017) *Геомагнетизм и Аэрномия*. Том 57, вып. 1, с. 1—8.

13. Модельные предсказания геосинхронных пересечений магнитопаузы

НИИЯФ МГУ

Проведен сравнительный анализ нескольких моделей магнитопаузы и наблюдений, в котором оценивались способности моделей прогнозировать положение магнитопаузы внутри геосинхронной орбиты. Для анализа отобраны 9 мощных магнитных бурь в период с 2000 по 2005 гг., во время которых наблюдались пересечения магнитопаузы геосинхронными спутниками. Положение спутников показано на Рис. 1. Верификация таких эффектов как насыщение влияния V_z компоненты межпланетного магнитного поля и асимметрия утро-вечер показала, что они особенно важны на главных фазах магнитных бурь. По результатам сравнения, представленным на Рис. 2, получено, что половина из рассмотренных 6 моделей, а именно модель *Kuznetsov and Suvorova* [1998], *Lin et al.* [2010] и *Dmitriev et al.* [2011], способны дать более-менее точный прогноз геосинхронного пересечения магнитопаузы. Точность прогноза уменьшается с мощностью бури. Наилучшие прогностические показатели в широком диапазоне геомагнитных возмущений продемонстрировала модель *Lin et al.* [2010].



Публикация:

Dmitriev A. V., R. L. Lin, S. Q. Liu, and A. V. Suvorova (2016), Model prediction of geosynchronous magnetopause crossings, *Space Weather*, 14(8), 530 – 543, doi:10.1002/2016SW001385.

14. Определение зависимости толщины низкоширотного погранслоя магнитосферы Земли от параметров магнитного поля в солнечном ветре

НИИЯФ МГУ

Определена зависимость толщины низкоширотного погранслоя (LLBL) в зависимости от параметров межпланетного магнитного поля (ММП). Использовались данные миссии THEMIS. Проанализированы данные спутников Themis-A и -C. Параметры солнечного ветра определялись на спутнике Themis-B перед ударной волной. Создана база данных, включающая 109 пересечений LLBL, в которых удалось определить толщину слоя. Учтена задержка времени распространения солнечного ветра от спутника, измеряющего параметры магнитного поля перед ударной волной, до LLBL. Использовались данные с трехсекундным разрешением при усреднении в 180 с. Продемонстрирован большой разброс измеренных толщин LLBL и их слабая зависимость от параметров ММП. Не наблюдалась асимметрия вечер-утро толщины LLBL. Проанализирована зависимость толщины слоя от часового угла $\theta_{\text{Вн}} = \tan^{-1}(B_y/B_z)$ ММП. Обнаружена тенденция увеличения толщины LLBL за квазипараллельной ударной волне в дневной части магнитосферы.

Публикация:

Znatkova S. S., E. E. Antonova, M. S. Pulinetz, I. P. Kirpichev, M. O. Riazantseva, The dependence of the LLBL thickness on IMF Bz and By components, *Advances in Space Research*, V. 58, p. 268–275, doi:10.1016/j.asr.2016.01.0086, 2016.

15. Динамика тангенциальных разрывов в космической плазме

ИСЗФ СО РАН

В описании динамики тангенциальных разрывов (ТР) в плазме солнечной короны, солнечном ветре и на границе магнитосферы Земли удалось объяснить наблюдения проявлений неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (НКГ) в тех областях, где развитие этой неустойчивости считалось невозможным.

а) В короне Солнца его магнитное поле оказывает сильное стабилизирующее влияние на развитие НКГ. Обнаруженная на КА генерация длинноволновых поверхностных колебаний на одном из двух флангов коронального выброса массы объяснена дополнительной дестабилизацией этого фланга неустойчивостью Рэлея-Тейлора вследствие асимметрии обтекания выброса.

б) В солнечном ветре (СВ) и на границе геомагнитного хвоста развитие НКГ стабилизируется не магнитным полем, а сильной сжимаемостью среды. Здесь из-за сверхзвукового перепада скорости на ТР обычно учитываемые поверхностные возмущения вдоль скорости течения затухают. Показано, что наблюдаемые здесь магнитозвуковые волны и размытая структура ТР обусловлены эффективной раскачкой возмущений под углом к вектору скорости. Генерация таких слабо спадающих в пространстве возмущений на границе геомагнитосферы обеспечивают ее эффективный энергообмен с СВ.

Публикация:

V.V. Mishin, V.M. Tomozov. Kelvin–Helmholtz Instability in the Solar Atmosphere, Solar Wind and Geomagnetosphere. *Solar Physics*. 2016, V. 291 №11. P.3165-3184. ISBN 0038-0938. DOI 10.1007/s11207-016-0891-4

16. Явление насыщения магнитосферы

ИСЗФ СО РАН

На основе данных наблюдений более 110 наземных геомагнитных обсерваторий методом техники инверсии магнитограмм, разработанным в ИСЗФ, получены новые закономерности процесса насыщения магнитосферы – остановки роста потока электромагнитной энергии через ее границу и полярную шапку из солнечного ветра (СВ) при его необычном усилении во время супербури. Показано, что насыщение вызывает не только рост южной компоненты межпланетного магнитного поля, но и рост динамического давления СВ. Явление насыщения

магнитосферы мы объясняем ее конечной сжимаемостью - при усилении СВ сжатие границы быстро останавливается нарастающим геомагнитным полем, что вызывает остановку роста полярной шапки и потока энергии через нее. Результаты подтверждены китайскими соавторами глобальным МГД моделированием обтекания магнитосферы.

Публикация:

V.V. Mishin, V.M. Mishin, Yu. Karavaev, J.P. Han, C. Wang. Saturation of the Poynting flux and the finite compressibility of the magnetosphere during superstorms: Results of the magnetogram inversion technique and global PPMLR-MHD model. *Geophysical Research Letters*. 2016. V. 43, P. 6734–6741, doi: 0.1002/2016GL069649

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. Экспериментальное исследование проявления внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере Земли

ИСЗФ СО РАН

С использованием представительной статистики трехмерных характеристик распространения внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере (ВГВ), полученной на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР), показано, что наблюдаемая анизотропия направлений распространения ВГВ в каждый момент времени может быть объяснена интегральным действием нейтрального ветра в толще атмосферы на пути распространения волн.

Поэтому относительная частота наблюдения ВГВ минимальна в направлении, совпадающим с сильным нейтральным ветром (больше 50 м/с).

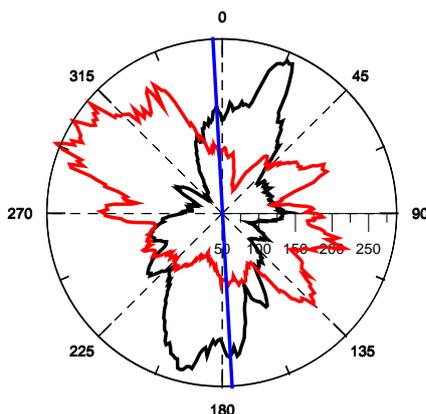


Рис. 1. Распределения по азимутам распространения. Черная кривая – относительная частота наблюдения ВГВ, красная – средняя горизонтальная скорость наблюдаемых ВГВ, на шкале показаны ее значения в м/сек. Синяя линия – направление геомагнитного поля над ИРНР.

Публикации:

A.V. Medvedev, K.G. Ratovsky, M.V. Tolstikov, S.S. Alsatkin, A.A. Scherbakov A statistical study of internal gravity wave characteristics using the combined Irkutsk Incoherent Scatter Radar and Digisonde data // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2015, 132, 13-21, doi: 10.1016/j.jastp.2015.06.012

Медведев А.В., Толстикова М.В., Ратовский К.Г., Алсаткин С.С., Кушнарев Д.С. Исследование взаимодействия внутренних гравитационных волн с нейтральным ветром по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния и ионозонда DPS-4. // Сборник трудов XXV Всероссийской открытой конференции «Распространение Радиоволн», Томск 2016.

2. Новая глобальная модель высоты максимума F2-слоя

ИЗМИРАН

Создана новая глобальная модель медианы высоты максимума F2-слоя, которая основана на наземных и спутниковых данных и позволяет получать значения этой

высоты над любым пунктом земного шара для всего возможного диапазона изменения уровня солнечной активности в любые мировые времена и дни года. Она включена в международную модель ионосферы IRI как составная часть, что подтверждает высокий уровень созданной модели.

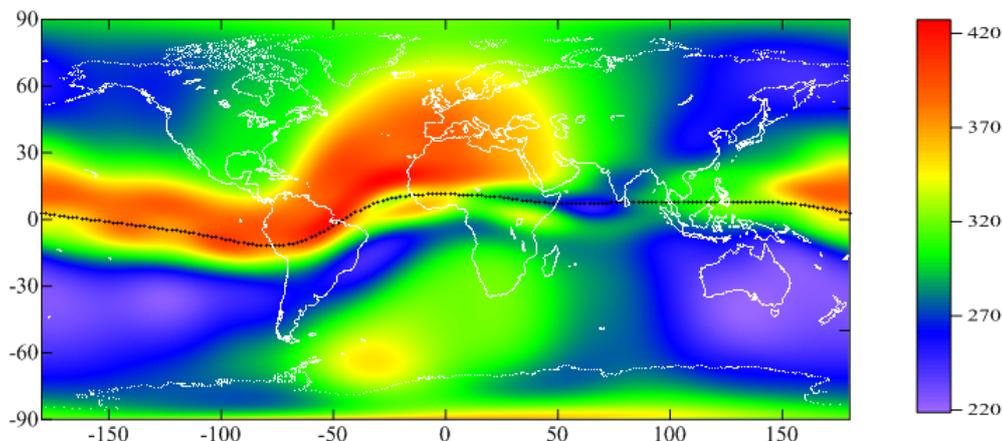


Рис. 1. Высота максимума F2-слоя (в км) в географических координатах по созданной модели для 15 июня в 00 UT при низкой солнечной активности ($F_{10.7} = 94$).

Публикации:

1. Shubin V.N. Global median model of the F2-layer peak height based on ionospheric radio-occultation and ground-based Digisonde observations // *Advances in Space Research* 2015. V. 56. P. 916-928.
2. Bilitza D., Altadill D., Reinisch B, Galkin I., Shubin V., Truhlik V. The International Reference Ionosphere: Model Update 2016 // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 18, EGU2016-9671, 2016. (EGU General Assembly 2016).

3. Вертикальные дрейфы плазмы в полосе поляризационного дрейфа

ИКИ, ИКФИА СО РАН, ИЗМИРАН

По данным доплеровских измерений на Якутской меридиональной сети субавторальных ионосферных станций исследованы вертикальные дрейфы плазмы. Впервые показано, что в полосе поляризационного джета (ПД), быстрого западного дрейфа плазмы в слое F2 ионосферы, происходит также перенос плазмы вдоль магнитного поля из ионосферы в плазмосферу и этот процесс является определяющим в потерях ионизации в F-слое на фазе развития ПД. Доплеровские измерения на ионозондах DPS-4 согласуются с синхронными измерениями дрейфа плазмы на спутниках DMSP при их пролете вблизи якутского меридиана.

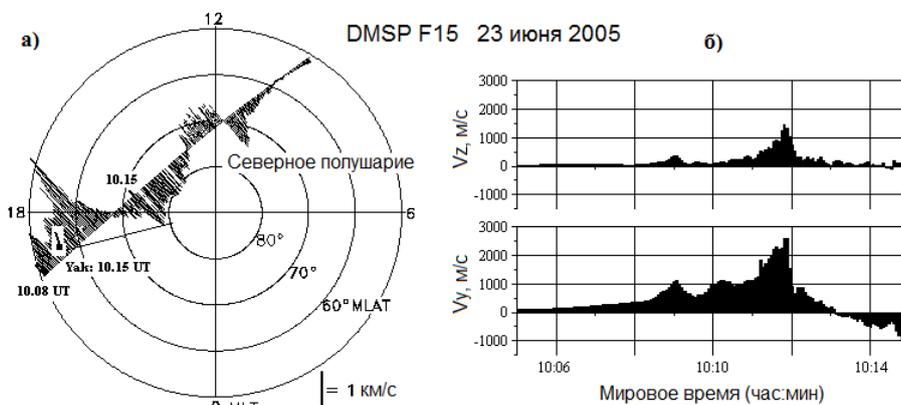


Рис.1. Одновременные измерения дрейфа плазмы на спутнике DMSP F15 и дигизондом DPS-4 на станции Якутск.

- а) вариации горизонтальной скорости вдоль пролета спутника DMSP F15 и одно значение горизонтальной скорости на станции Якутск в виде отрезка в момент 10.15 UT (см. вставку) в координатах местное магнитное время (MLT) – геомагнитная широта;
- б) вариации вертикальной V_z (верхняя панель) и горизонтальной V_z (нижняя панель) скоростей дрейфа плазмы по данным спутника DMSP F15 в интервале 10.04-10.16 UT.

Публикация:

Халипов В.Л., Степанов А.Е., Котова Г.А., Кобякова С.Е., Богданов В.В., Кайсин А.В., Панченко В.А. Вертикальные скорости дрейфа плазмы при наблюдении поляризационного джета по наземным доплеровским измерениям и данным дрейфометров на спутниках DMSP // Геомагнетизм и аэрономия, 56, 568-578, 2016.

4. Регистрация реакции ионосферы на первый запуск ракеты с космодрома Восточный

ИСЗФ СО РАН

По данным наземных приемников GPS/ГЛОНАСС впервые зарегистрированы возмущения в ионосфере, вызванные первым запуском ракеты с космодрома Восточный 28 апреля 2016 г. Показано, что несмотря на небольшое количество станций GPS/ГЛОНАСС в районе космодрома Восточный, эти станции могут обеспечить регистрацию отклика ионосферы на запуск космического аппарата в любом направлении от космодрома.

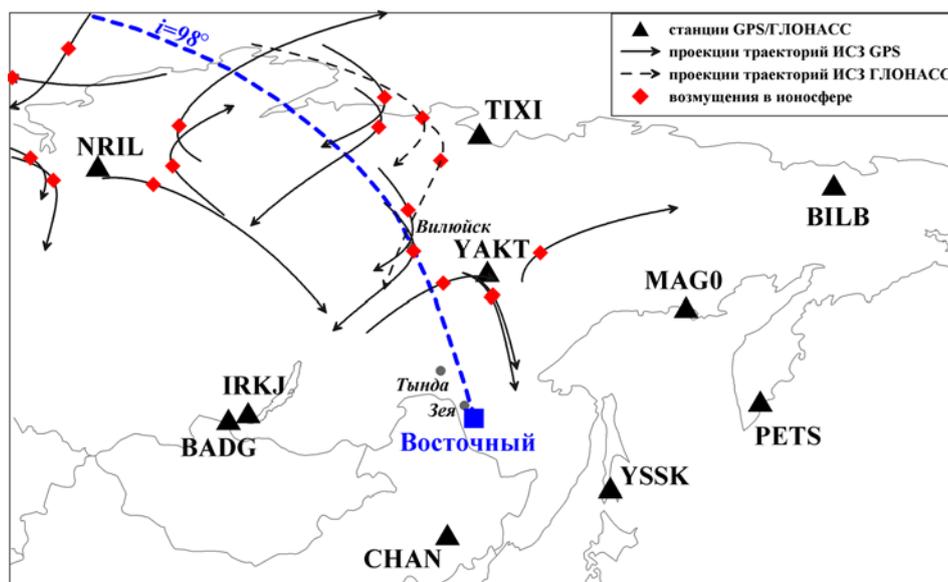


Рис. 1. Геометрия измерений во время первого запуска с космодрома Восточный 28 апреля 2016 г. Показаны проекции траекторий спутников GPS/ГЛОНАСС в период 01:00-04:00 UT, на которых зарегистрированы возмущения в ионосфере. Толстой пунктирной линией отмечена трасса выведения космического аппарата с космодрома Восточный на орбиту с наклоном $i=98^\circ$ по данным [Комаров и др., Космическая техника и технологии. 2015. №3(10). С. 3-14].

Публикация:

Жеребцов Г.А., Перевалова Н.П. Реакция ионосферы на запуск ракеты с космодрома Восточный // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. №5 (в печати).

5. Модуляция сигналов спутниковых навигационных систем МГД волнами

ИФЗ РАН

Сигналы глобальных спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС можно использовать для изучения пространственно-временной картины воздействия магнитосферных МГД возмущений на полное электронное содержание (ПЭС) ионосферы. Впервые обнаружены эффекты модуляции ПЭС УНЧ магнитосферными волнами (диапазон Pc5) как на высоких, так и на низких широтах. Разработана теоретическая модель взаимодействия различных типов МГД волн - альвеновской и быстрой магнитозвуковой, с системой ионосфера - атмосфера - земля. Опираясь на эту модель, количественно проинтерпретированы эффекты одновременных периодических вариаций геомагнитного поля и ПЭС ионосферы.

Публикации:

Belakhovsky, V., V. Pilipenko, D. Murr, E. Fedorov, and A. Kozlovsky, Modulation of the ionosphere by Pc5 waves observed simultaneously by GPS/TEC and EISCAT, Earth Planets Space, 68:102, doi: 10.1186/s40623-016-0480-7, 2016.

Vorontsova, E., V. Pilipenko, E. Fedorov, A.K. Sinha, and G. Vichare, Modulation of total electron content by global Pc5 waves at low latitudes, Advances in Space Research, 57, 309-319, 2016.

Важные результаты:

6. Скалярное радиолокационное уравнение для зондирования ионосферы радаром типа SuperDARN

ИСЗФ СО РАН

В рамках приближения геометрической (гамильтоновой) оптики в общем виде получено скалярное радиолокационное уравнение для импульсных декаметровых когерентных радаров (типа радаров сети SuperDARN), удобное для численного и качественного анализа. Для случая изучения рассеяния радиоволн на вытянутых ионосферных неоднородностях при существенной рефракции радиосигнала в фоновой ионосфере, характерного для радаров сети SuperDARN, уравнение подобного типа получено впервые.

Публикации:

1. O.I. Berngardt, K.A. Kutelev, A.P. Potekhin, SuperDARN scalar radar equations// Radio Science, 51(10), pp.1703-1724, (2016), DOI: 10.1002/2016RS006081

2. O.I. Berngardt, K.A. Kutelev, A.P. Potekhin, SuperDARN scalar radar equations// arXiv:1605.01906, (2016)

7. Воздействие мощной КВ-волны на сверхмелкомасштабные ионосферные неоднородности

ПГИ РАН

Методами численного моделирования (методом крупных частиц для системы Власова-Пуассона) исследован эффект воздействия мощной КВ-волны, излучаемой наземным нагревным стендом, на неоднородности концентрации плазмы в F-слое ионосферы с поперечными размерами несколько дебаевских радиусов. Показано, что величина гидродинамической скорости электронов может достигать нескольких км/сек и существенно превышает величину гидродинамической скорости положительных ионов. Обосновано, что обнаруженный эффект, наряду с другими известными механизмами, может приводить к локальному нагреву плазмы в области воздействия мощной КВ-волны.

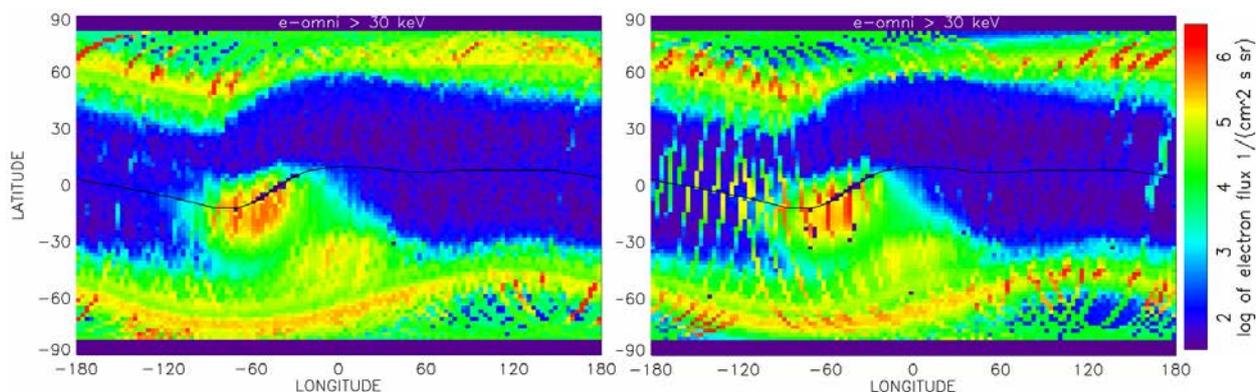
Публикация:

Mingalev O.V., Melnik M.N., Mingalev V.S. A simulation study of the effect of powerful high-frequency radio waves on the behavior of super-small-scale irregularities in the F-layer ionospheric plasma // World Journal of Research and Review. V.3. No.5. P.01-09. – 2016.

8. Роль высокоэнергичных квазизахваченных частиц в положительных возмущениях полного электронного содержания

НИИЯФ МГУ, Физический факультет МГУ, Калининградский филиал ИЗМИРАН

На основе исследования эффектов геомагнитных бурь по экспериментальным данным и с использованием модели термосфера-ионосфера показано, что положительные возмущения полного электронного содержания в ионосфере (ТЭС) на средних и низких широтах могут быть связаны с изменением состава нейтральной атмосферы, действием горизонтального термосферного ветра и появлением высокоэнергичных квазизахваченных частиц.



Географические карты потока электронов >30 кэВ в спокойных условиях 2-4 декабря 2006 года (слева) и во время геомагнитной бури 14 декабря 2006 года (справа) по данным спутников NOAA/POES на высоте ~850 км. Отчетливо видно усиление потока частиц в низкоширотной области, который связан с появлением квазизахваченных частиц.

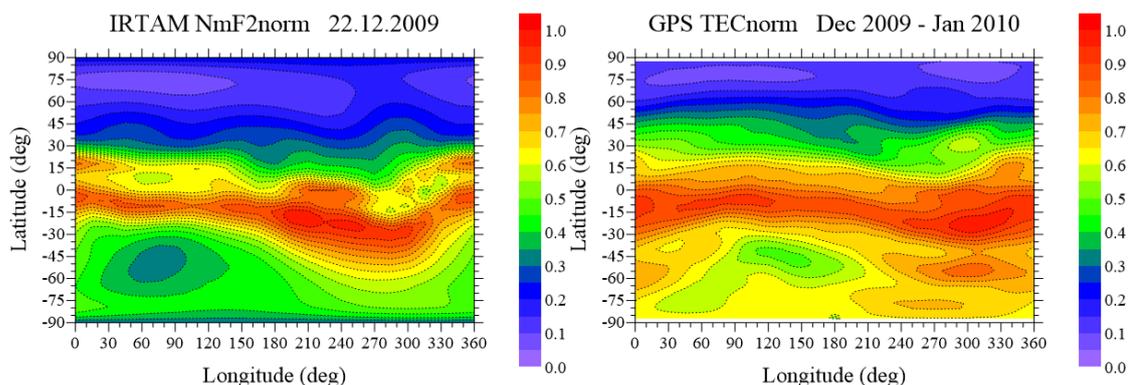
Публикация:

Suvorova A.V., Huang C.-M., Dmitriev A.V., Kunitsyn V.E., Andreeva E.S., Nesterov I.A., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Tumanova Y.S. Effects of ionizing energetic electrons and plasma transport in the ionosphere during the initial phase of the December 2006 magnetic storm // J. Geophys. Res. Space Physics, 2016, 121, 5880–5896, doi:10.1002/2016JA022622.

9. Долготные вариации параметров системы ионосфера-плазмосфера

ИСЗФ СО РАН, Калининградский филиал ИЗМИРАН

На основе Глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и протоносферы (ГСМ ТИП), ассимиляционной модели ионосферы IRI Real-Time Assimilation Mapping (IRTAM) и данных спутниковых и наземных наблюдений исследованы долготные вариации параметров системы ионосфера-плазмосфера для декабрьского солнцестояния в условиях глубокого минимума солнечной и геомагнитной активности 2009 г. Наиболее важные из результатов этих исследований: (1) долготные вариации ионосферных параметров сопоставимы по порядку величины с суточными вариациями за исключением области экваториальной аномалии; (2) впервые получена оценка вклада в долготную вариацию различных секторов местного времени на разных широтах; (3) выявлены основные максимумы в долготно-широтном распределении ионосферных параметров для различных моментов местного времени; (4) выявлены основные механизмы формирования долготных вариаций на различных широтах.



Широтно-долготные вариации нормированных на максимум значений NmF2 (по ассимиляционной модели IRTAM) и TEC (по данным глобальной сети наземных приемников GPS), усредненные по времени за сутки. Все данные приведены для зимних условий в минимуме солнечной активности (центрированы на 22 декабря 2009 г.).

Публикации:

1. Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф.С., Захаренкова И.Е., Веснин А.М., Ратовский К.Г., Галкин И.А., Черняк Ю.В., Ясюкевич Ю.В., Коренькова Н.А., Котова Д.С. Суточные и долготные вариации в ионосфере земли в период солнцестояния в условиях глубокого минимума солнечной активности // *Космические исследования*. 2016, Т. 54, № 1, с. 10-22.
2. Klimenko, M. V., V.V. Klimenko, I.E. Zakharenkova, A.M. Vesnin, I.V. Cherniak, and I.A. Galkin, Longitudinal Variation in the Ionosphere-Plasmasphere System at the Minimum of Solar and Geomagnetic Activity: Investigation of Temporal and Latitudinal Dependences // *Radio Sci.* 2016. 51, doi:10.1002/2015RS005900.
3. Клименко В.В., Карпачев А.Т., Клименко М.В., Ратовский К.Г., Коренькова Н.А. Широтная структура долготного эффекта в ночной ионосфере в период летнего и зимнего солнцестояния // *Химическая физика*. 2016. Т. 35. № 1, 21–30.

10. Взаимодействие УНЧ-КНЧ электромагнитных возмущений с ионосферой: наблюдения на низко-орбитальных спутниках и на земной поверхности

ИФЗ РАН, ИКИ РАН, ИСЗФ СО РАН

Разработана численная теоретическая модель электромагнитного отклика атмосферы и ионосферы на молниевый разряд. Построена численная модель импульсного возбуждения ИАР грозным разрядом. Проведен анализ синхронных спутниковых и наземных электромагнитных наблюдений с использованием данных мировой сети высокочувствительных магнитометров и низко-орбитальных спутников CHAMP и SWARM. Для интерпретации экспериментальных результатов выполнено численное моделирование прохождения электромагнитных и МГД волн разных поляризаций через ионосферу с использованием моделей IRI и MSIS.

Публикации:

- Balasis G., C. Papadimitriou, E. Zesta, and V. Pilipenko, Monitoring ULF waves from low Earth orbit satellites, 148-169, in: "Waves, Particles, and Storms in Geospace", Oxford University Press, 2016.
- Fedorov, E.N., N.G. Mazur, V.A. Pilipenko, and E.N. Ermakova, [Acta Geodaetica et Geophysica](#), 51(4), 597-617, doi:10.1007/s40328-015-0158-9, 2016.
- Fedorov, E., N. Mazur, V. Pilipenko, and L. Baddeley, Modeling the high-latitude ground response to the excitation of the ionospheric MHD modes by atmospheric electric discharge, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2016JA023354, 2016.
- Fedorov, E., N. Mazur, V. Pilipenko, and M. Engebretson, Interaction of magnetospheric Alfvén waves with the ionosphere in the Pc1 frequency band, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 321–337, 2016.
- Pilipenko V., and Heilig B., ULF waves and transients in the topside ionosphere, in: "Low-frequency

Waves in Space Plasmas", Geophysical Monograph 216, ed. by A. Keiling, D.H. Lee, and V. Nakariakov, Wiley/AGU, 15-29, 2016.

Surkov, V.V., and V.A. Pilipenko, Spectral signatures of the ionospheric Alfvén resonator to be observed by low-Earth orbit satellite, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 2783–2794, 2016.

11. Флуктуации критической частоты слоя F2 как проявления солнечного излучения

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 10МэВ 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 2015г.).

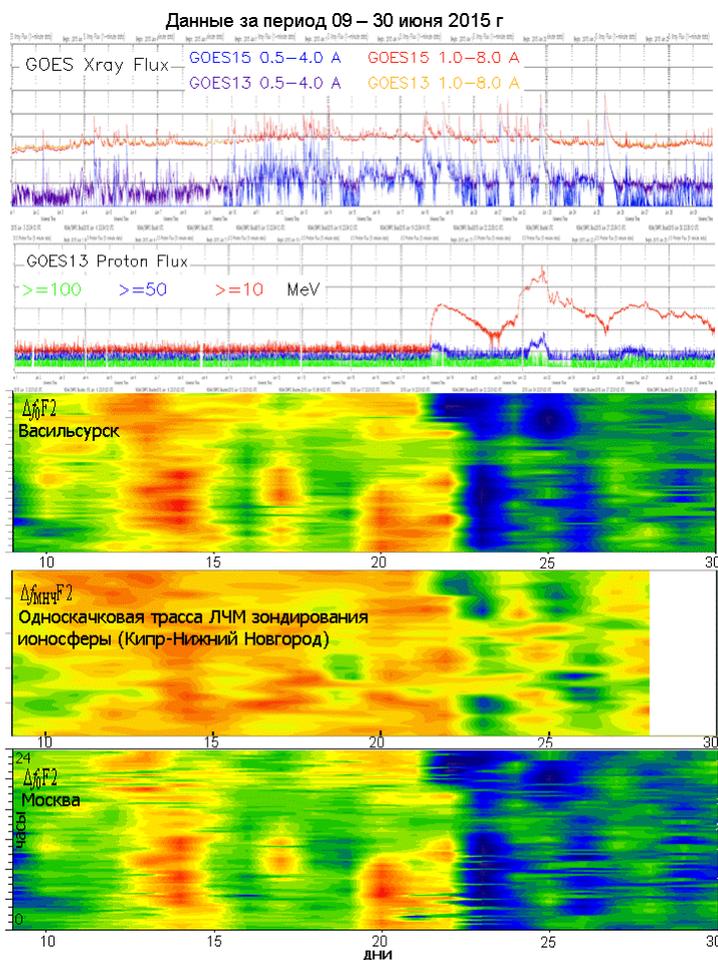


Рис. 1. Флуктуации излучения Солнца в рентгеновском диапазоне с малыми энергиями (0.5-4.0 Å) и потока протонов с энергиями больше 10МэВ на орбите Земли 09-30 июня 2015 г (две верхние панели), соответствующие флуктуации критической частоты F2-слоя $\Delta foF2$ относительно фона по данным ионосферной станции Васильсурск, флуктуации максимально наблюдаемой частоты $\Delta f_{min} F2$ на трассе ЛЧМ зондирования Кипр-Нижний Новгород и флуктуации $\Delta foF2$ по данным ионосферной станции Москва

Публикация:

1. Sheiner O., Rakhlin A., Vybornov F., Pershin A. About sporadic deviations of F2 region crucial frequency (on the examples of the events on March 15 and June 21, 2015) // 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. Ионосферное возмущение, вызванное излучением челябинского болида

ИДГ РАН

Результаты расчетов показали, что излучение Челябинского болида в первые 10 секунд его пролета от 60 до 30 км высоты вызвало образование в нижней ионосфере Земли (80-120 км) обширной ионизированной области с размерами порядка 400 км, с плазменной частотой 3.5 МГц (см. Рис. 1), что количественно согласуется с данными радара ЕКВ системы SuperDARN. Превышение полного электронного содержания над фоновым составило 0.1 TECU, что согласуется с результатами наблюдений на пунктах регистрации сигналов системы GPS в уральском регионе. За это время потери энергии метеороида на излучение составили величину порядка 40% от его полной энергии (из них 15% приходится на диапазон энергий фотонов 1.1-3.1 эВ).

Численные модели геофизических эффектов пролета метеороидов в верхней и средней атмосфере Земли должны учитывать радиационные эффекты. Пренебрежение этими процессами может привести к занижению энергии метеороида, которая обычно оценивается с помощью сравнения результатов наблюдений сейсмических эффектов с результатами численного 3D моделирования газодинамических процессов в атмосфере, вызванных пролетом и падением метеороидов.

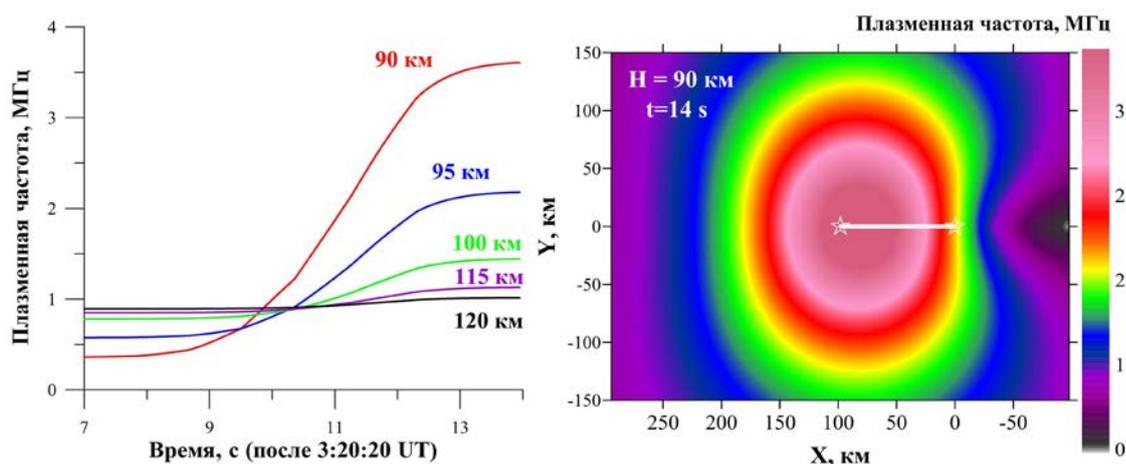


Рис. 1 Зависимости плазменной частоты от времени на высотах $h = 90 \div 120$ км по вертикали от точки, соответствующей нахождению метеороида на высоте 30 км (слева), и ее пространственное распределение в горизонтальной плоскости на высоте 90 км в момент времени 14 с (3:20:34 UT)

Публикация:

Лосева Т.В., Голубь А.П., Ляхов А.Н. Косарев И.Б. Радиационный эффект Челябинского болида // Письма в ЖЭТФ, 2016, том 103, вып. 4. С. 773-779. DOI: 10.1134/S0021364016110084

2. Обнаружение вспышек УФ и красного излучения из атмосферы Земли в ходе эксперимента РЭЛЕК на спутнике «Вернов»

НИИЯФ МГУ

В ходе эксперимента РЭЛЕК на спутнике «Вернов» (солнечно-синхронная орбита с наклоном 98° высотой 640-830 км) из атмосферы Земли было зарегистрировано несколько тысяч вспышек ультрафиолетового (200-400 нм) и красного излучения (600-800 нм). Обнаружено, что эти вспышки связаны с разными явлениями: молниевыми разрядами, высотными разрядами и возможно высыпаниями магнитосферных электронов. С молниевыми разрядами, связаны события, наблюдающиеся одновременно в УФ и красном диапазонах. При этом имеют место серии вспышек вдоль траектории спутника на протяжении тысяч километров. Подобные события наблюдались ранее в эксперименте на спутнике «Татьяна-2». С высотными разрядами, вероятно, связаны вспышки, наблюдающиеся в основном в УФ диапазоне. Наблюдаются одиночные всплески в высокоширотных областях.

При наблюдениях в нади́р в ночное время на спутнике «Вернов» были зарегистрированы оптические сигналы, вероятно, искусственного происхождения, распределенные вдоль меридиана в протяженной области широт в северном и южном полушариях Земли и модулированные низкой частотой (100-300 Гц). Произведена обработка массива данных и выделены осциллограммы таких сигналов в диапазонах 200-400 нм и 600-800 нм, получено их глобальное распределение по географическим координатам. Показано, что распределение по долготам модулированных свечений совпадает с расположением наиболее мощных НЧ-радиостанций, что указывает на возможную техногенную природу данных свечений. На основе времен нарастания и спада зарегистрированных сигналов сделан вывод, что в основном регистрируется свечение ионов молекул азота. Соотношение интенсивностей ультрафиолетового и красного излучений соответствует высоте источника более 100 км.

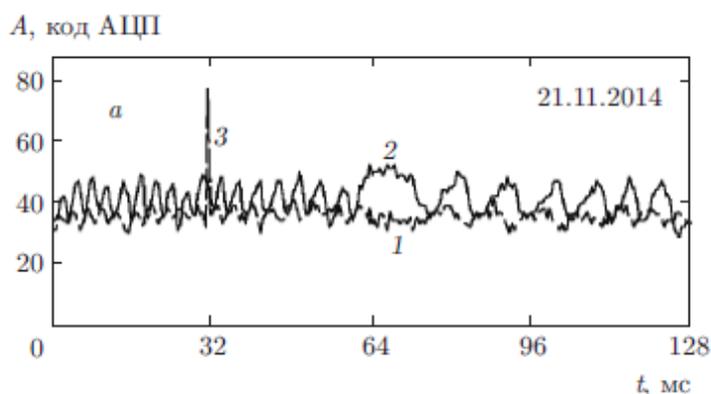


Рис. Пример осциллограммы импульса транзистентного светового явления и техногенного сигнала с изменением частоты модуляции скачком примерно от 150 до 250 Гц. Амплитуда осцилляций ИК-сигнала значительно превосходит модуляцию УФ-сигнала. Сигналы УФ (1), ИК (2), транзистентное событие (3)

Публикации:

Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V. et al. RELEC mission: Relativistic electron precipitation and TLE study on-board small satellite. *Adv. Space Res.*, 2016, Volume 57, Issue 3, p. 835-849.

Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V. et al. Experiment on the Vernov Satellite: Transient Energetic Processes in the Earth's Atmosphere. Part I: Description of the Experiment. *Cosmic Research*, 2016, Volume 54, Issue 4, pp.261-269.

Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V. et al. Experiment on the Vernov Satellite: Transient Energetic Processes in the Earth's Atmosphere. Part II: First results. *Cosmic Research*, 2016, Volume 54, Issue 5, pp.343-350.

Garipov G.K., Panasyuk M.I., Svertilov S.I. et al. Detection of Global Phenomena of Technogenic

3. Ионизирующее действие электронов в ионосферной буре

НИИЯФ МГУ, Физический факультет МГУ, Институт наук о космосе Национального центрального университета, Тайвань

Проведено детальное исследование случая проникновения энергичных электронов из внутреннего радиационного пояса на низкие высоты экваториальной ионосферы (запрещенная зона) во время начальной фазы геомагнитной бури 14 декабря 2006. Сравнение траекторий заряженных частиц высыпаящихся из радиационных поясов и квазизахваченных в запрещенной области (FEE) показано на Рис. 1. Одновременно с длительным возрастанием FEE, показанном на рис. 2, развилась сильная положительная ионосферная буря, которая была нетипичной для условий слабого геомагнитного возмущения во время северного направления межпланетного магнитного поля. Моделирование длительной ионосферной бури показало, что механизмы переноса плазмы не могут объяснить ее особенности. Полученные из энергетических спектров FEE численные оценки позволили установить значительный вклад (>50%) ионизирующего эффекта частиц в положительную бурю. Данный результат является очень важным аргументом в пользу нового механизма увеличения ионизации на низких широтах ионосферы.

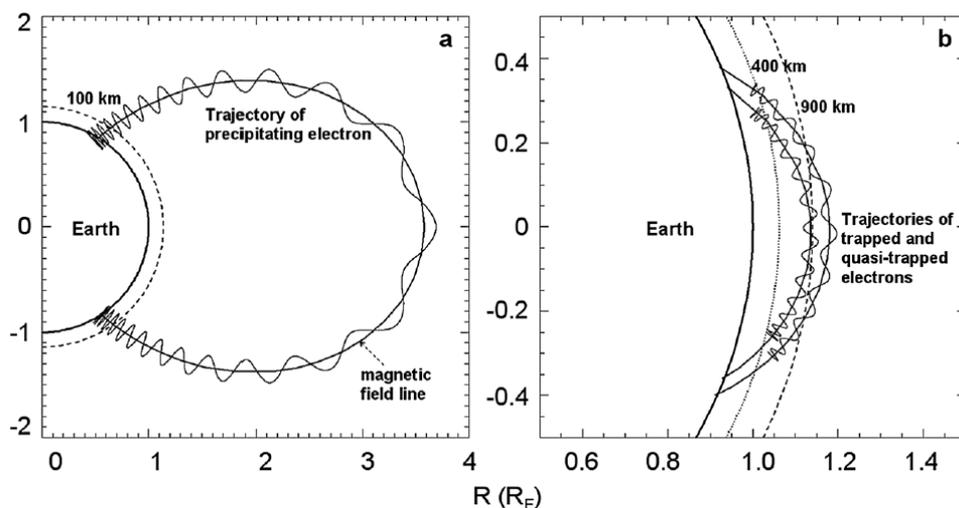


Рис. 1. Траектории заряженных частиц, высыпаящихся из радиационных поясов (слева), и квазизахваченных в запрещенной области (справа).

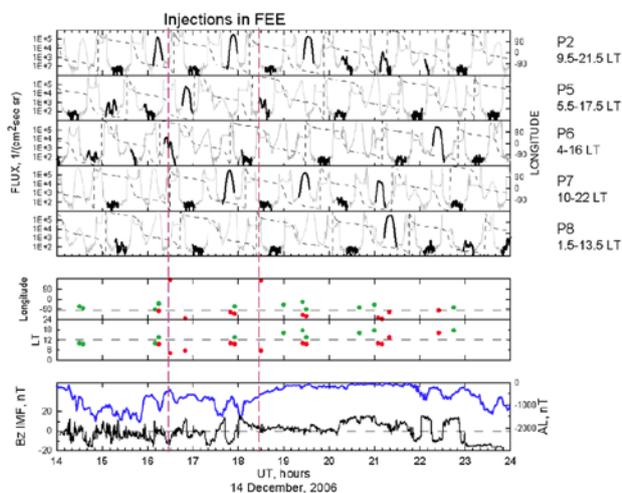


Рис. 2. Вариации потоков >30 кэВ электронов, межпланетного магнитного поля и геомагнитной активности 14 декабря 2006. Жирными черными кривыми показаны возрастания FEE. Пунктирные линии показывают долготу спутника. Долготы и местное время FEE показаны кружками: красные - внутри Южно-Атлантической аномалии, зеленые – над Тихим океаном. Две вертикальные красные пунктирные прямые указывают моменты инъекции FEE

Публикации:

Suvorova, A. V., C.-M. Huang, A. V. Dmitriev, V.E.Kunitsyn, E.S.Andreeva, I.A.Nesterov, M. V. Klimenko, V. V. Klimenko, and Y. S. Tumanova (2016), Effects of ionizing energetic electrons and plasma transport in the ionosphere during the initial phase of the December 2006 magnetic storm, J. Geophys. Res. Space Physics, 121(6), 5880-5896, doi:10.1002/2016JA022622.

Важные результаты:

4. Сопоставление средних температур области мезопаузы, измеренных одновременно на разнесенных по широте станциях Тикси и Маймага

ИКФИА СО РАН

В результате одновременных измерений температуры в области мезопаузы при помощи идентичных инфракрасных спектрометров Shamrock-Andor на станциях Тикси и Маймага в зимний сезон 2015-2016 гг. показано их хорошее согласие. Коэффициент корреляции между рядами среднесуточных температур равен 0,83 с вероятностью 95%. При этом максимальное совпадение вариаций температуры наблюдается с февраля по начало апреля. Обнаруженное отличие среднемесячных температур с октября по январь указывает на усиление нагрева мезопаузы на авроральных широтах за счет роста адиабатического сжатия верхней атмосферы с широтой. Выравнивание температур наблюдается в феврале, марте.

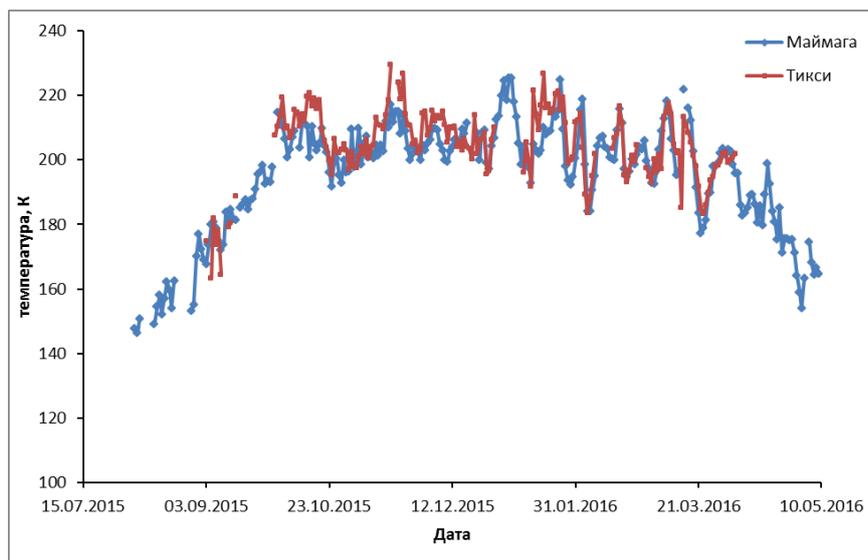


Рис. 1. Вариации среднесуточных температур области мезопаузы, измеренных одновременно в Тикси (красная кривая) и Маймаге (синяя кривая), разнесенных по широте на 8,5 градусов, в зимний сезон 2015-2016 гг.

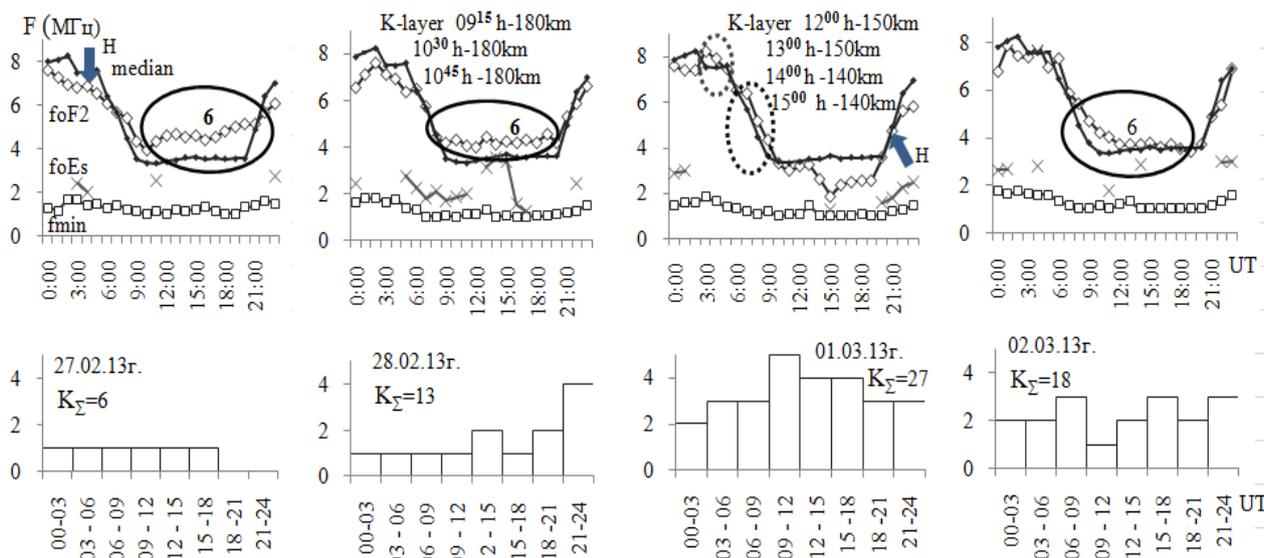
Публикация:

Koltovskoi I.I., Ammosov P.P., Gavriilyeva G.A., Ammosova A.M. Preliminary results of a comparison of the rotational temperature of the hydroxyl at the height mesopause measured at two different latitudes // Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100356W (November 29, 2016). doi: 10.1117/12.2249257.)

5. Образование корпускулярного слоя, связанного с высыпанием частиц из радиационных поясов, вероятно связанного с ростом сейсмической активности

ИКИР ДВО РАН

На основе объединения методов, совмещающих методы вертикального радиозондирования и томографии, и вероятностного подхода к анализу сейсмических событий, исследованы вариации ионосферных параметров и ионосферной турбулентности до и во время землетрясений в период 28.02 - 02.03.2013 г. Обнаружено, что образование корпускулярного слоя, связанного с высыпанием частиц из радиационных поясов, формирование Es spread и F spread эффектов, увеличение частоты foF2 произошли приблизительно за один день до сейсмических событий с магнитудой $\geq 6,5$. Вероятностный метод позволил в 2013 году обнаружить рост сейсмической активности в той области Камчатки, где и произошли в феврале-марте землетрясения.



Динамика суточных значений для серии сейсмических событий 28.02. - 01.03.2013г. Обозначения: \diamond - критические частоты foF2; \times - спорадический слой foES, \square - минимальные частоты fmin.

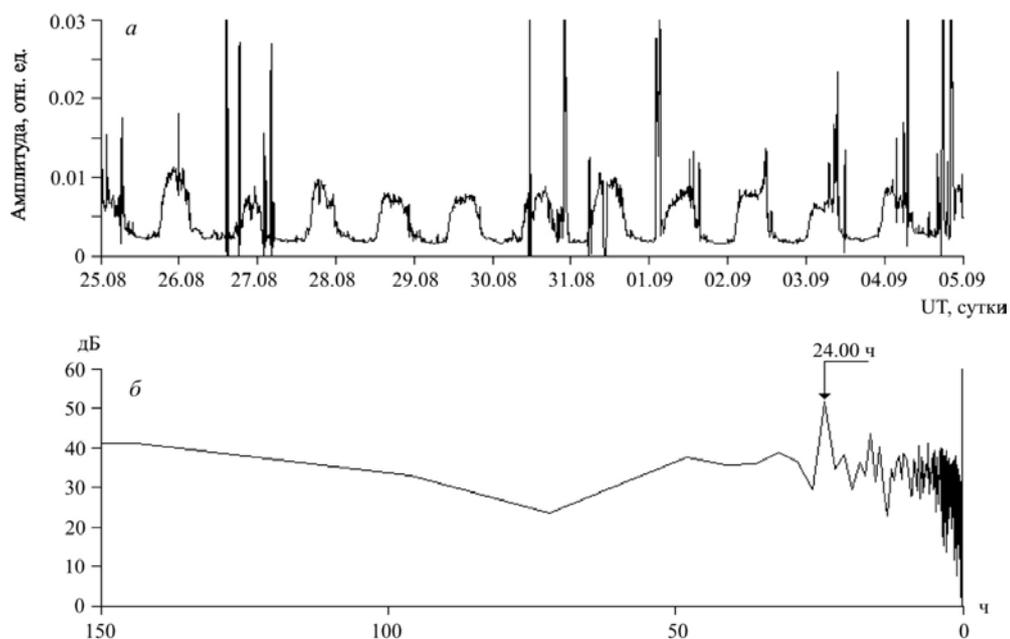
Публикация:

V.V.Bogdanov, A.V.Kaisin, A.V.Pavlov, A.L.Polyukhova, C.-V.Meister. Anomalous behavior of ionospheric parameters above the Kamchatka peninsula before and during seismic activity // J. Physics and Chemistry of the Earth.2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.002>

6. Анализ 24 – часовой периодической составляющей геоакустической эмиссии в диапазоне частот от 2,0 до 6,5 кГц

ИКИР ДВО РАН

Исследована периодическая составляющая геоакустической эмиссии в диапазоне частот от 2,0 до 6,5 кГц. Установлено, что период вариации составляет 24 ч. Между рядами данных температуры воздуха, геоакустической эмиссии и наклонов земной поверхности выявлена тесная связь. С учетом этого, наиболее вероятной причиной появления данной вариации высокочастотной геоакустической эмиссии являются деформации приповерхностных осадочных пород, обусловленные суточными изменениями температуры.



Фрагмент данных геоакустической эмиссии в диапазоне частот от 2.0 до 6.5 кГц в период с 25.08.2007 г. по 05.09.2007 г. (а) и его периодограмма (б).

Публикация:

Марапулец Ю.В., Солодчук А.А. Суточный ход температуры как причина возникновения периодической вариации высокочастотной геоакустической эмиссии // Метеорология и гидрология. 2016. № 4. С. 37-44.

7. Новый подход к анализу сигналов высокочастотной геоакустической эмиссии, основанный на базе методов разреженной аппроксимации

ИКИР ДВО РАН

Представлена модель сигнала эмиссии, построенная с учетом данного подхода. Предложен алгоритм идентификации модели. По результатам моделирования установлена возможность классификации структурных элементов сигнала с использованием символьной аппроксимации в частотной области.

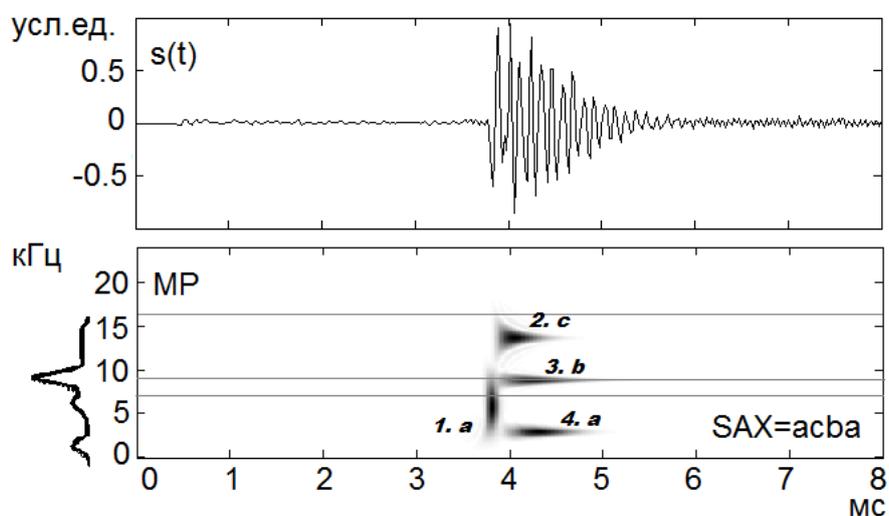


Рис. Пример применения символьной аппроксимации в частотной области к импульсу геоакустической эмиссии.

Публикация:

Tristanov A.B., Marapulets Yu.V., Lukovenkova O.O., Kim A.A. A new approach to study of geoacoustic emission signals // Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2016. Vol. 26. No. 1. P. 34-44.

8. Трассирование пепловых облаков на стадии их фрагментации по данным Всемирной сети местоположения гроз (WWLLN)

ИКИР ДВО РАН

По данным Всемирной сети местоположения гроз (WWLLN) обнаружена последовательность молниевых разрядов, возникших на пути следования эруптивного пеплового облака, образовавшегося в результате эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г. Информацию о движении облака подтвердили измерения атмосферного электричества, спутниковые наблюдения и сейсмические данные. Сделан вывод о достаточности разрешающей способности сети гроз для трассирования пепловых облаков на стадии их фрагментации, когда наиболее интенсивно развиваются процессы электризации. Неоспоримым преимуществом метода является его оперативность и возможность использования в условиях плохой видимости.

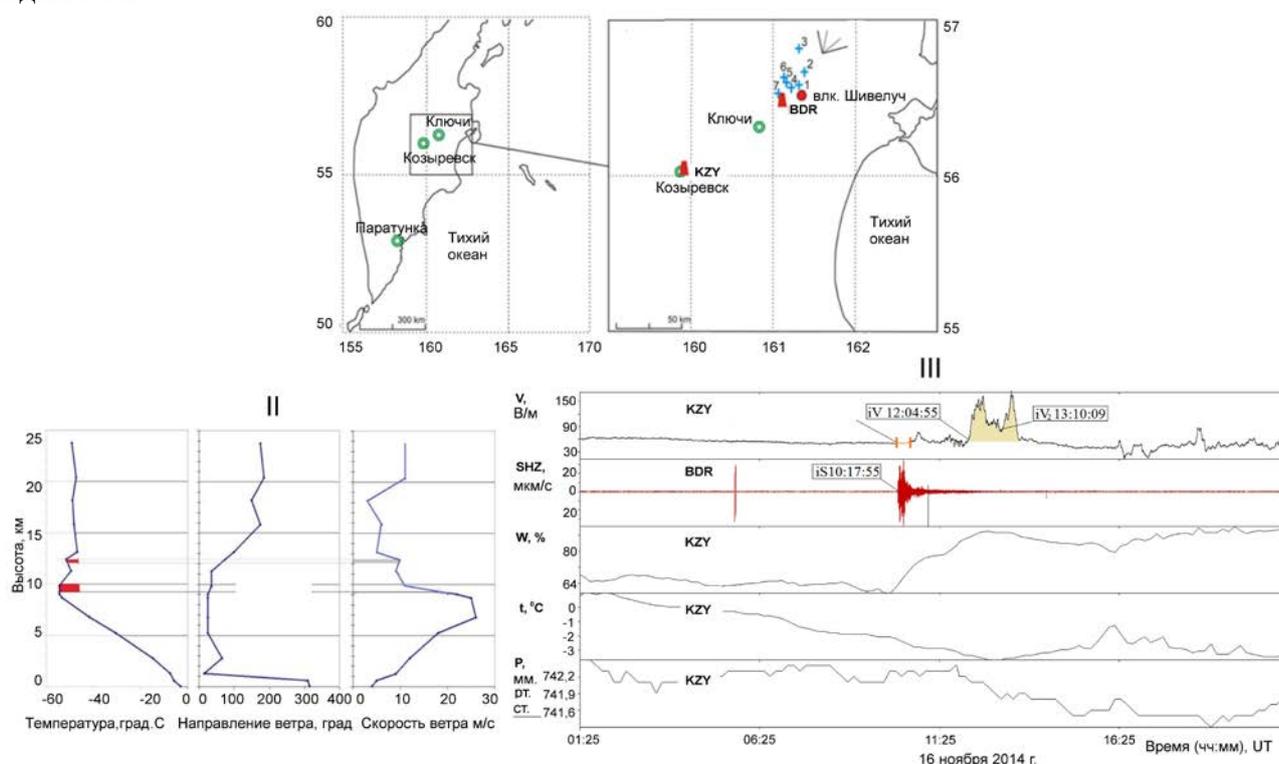


Рисунок: I - Пункты наблюдений (г. Козыревск - KZY и п. Ключи - BDR), местоположение разрядов от вулканических молний во время извержения. II - Вертикальные профили температуры (а), направление ветра (б) и скорость ветра (с) по данным обсерватории BDR в 12:00 UT 16 ноября 2014 года. III - Электрическое поле в пункте KZY (а); сейсмический сигнал в пункте BDR, сопровождавший извержение (б); метеорологические параметры в пункте KZY (в, г, д). Началом шкалы времени является 1:25:00 UT.

Публикация:

V. M. Shevtsov, P. P. Firstov, N. V. Cherneva, R. H. Holzworth, R. R. Akbashev: Lightning and electrical activity during the Shiveluch volcano eruption on 16 November 2014 // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 871–874, 2016.

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. С помощью модели общей циркуляции исследована реакция глобальной температуры на вариации УФ радиации Солнца в период 2003-2009 гг.

ЦАО Росгидромет

С помощью модели общей циркуляции ARM (Atmospheric Research Model), разработанной в ЦАО, исследована реакция глобальной температуры на вариации УФ радиации Солнца в период 2003-2009 гг. Обнаружена незональная структура отклика температуры стратосферы и тропосферы. Незональный отклик температуры обнаружен также при анализе данных реанализа, что подтверждает результаты моделирования.

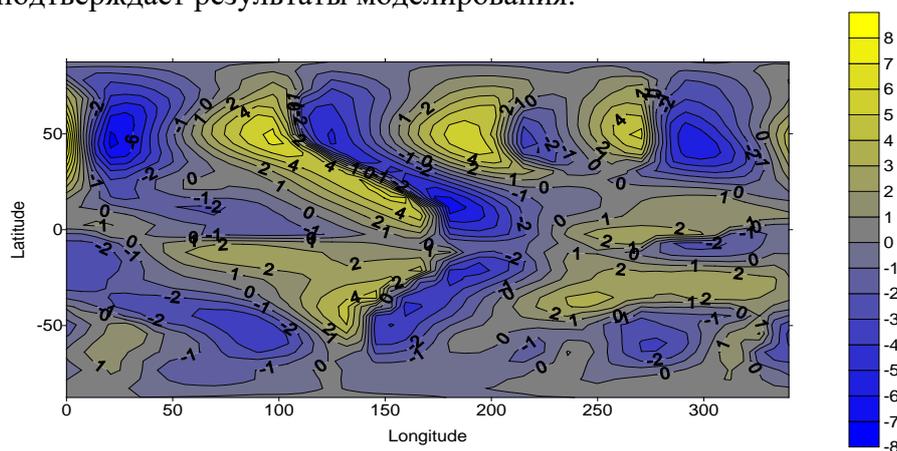


Рис. 1 Изменения температуры стратосферы (30 км), вызванные колебаниями УФ радиации Солнца в цикле его активности (расчет по модели ЦАО ARM)

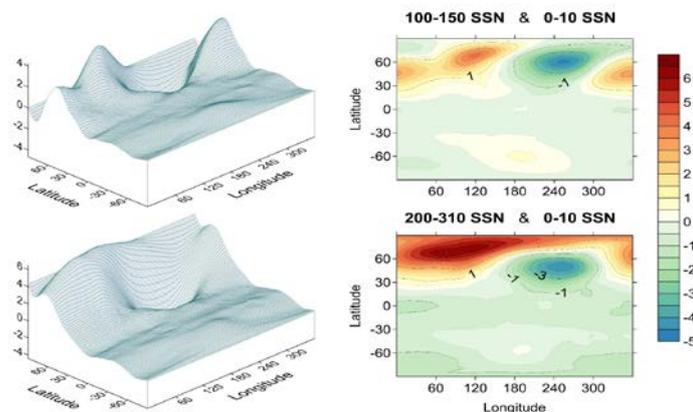


Рис. 2 Изменения температуры между максимумом и минимумом активности Солнца по данным реанализа.

Публикация:

A.A. Krivolutsky, A.V. Dement'eva, and A.A. Kukoleva. Variations in solar radiation in the solar activity cycle: response of the Earth's atmosphere parameters (numerical modeling and analysis of observational data). *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, vol. 56, N 7, pp. 1-10.

2. Связь индексов Северо-Атлантического (САК) и Южного колебаний (ЮК), а также температуры стратосферы с солнечной активностью

ИФА РАН

- По результатам кросс-вейвлетного анализа выявлена корреляционная связь индексов Северо-Атлантического (САК) и Южного колебаний (ЮК) с числом солнечных пятен (ЧСП).
- Индекс САК коррелирует, а индекс ЮК антикоррелирует с 11-летним циклом солнечной активности.
- Найденная локальная когерентность между САК и ЧСП на масштабе солнечного цикла испытывает вариации с периодом около 50 лет.
- Приведены результаты моделирования температурного отклика на изменение содержания стратосферного озона в 11-летнем цикле солнечной активности с помощью Кильской климатической модели.
- По данным реанализа ERA-Interim за 1979-2013 гг. с помощью метода множественной линейной регрессии выявлена сезонная зависимость температурного отклика на изменение уровня солнечной активности в солнечном цикле. Наиболее сильные изменения температуры ~ 5 К в фазе с солнечным циклом отмечены в арктической средней стратосфере зимой. Эффект солнечного цикла над Антарктидой максимален в нижней стратосфере в весенний сезон.

Публикации:

Груздев А.Н., Семенов В.А. Температурный отклик на изменение содержания стратосферного озона в 11-летнем цикле солнечной активности по результатам моделирования с помощью климатической модели // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXII Международного симпозиума. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2016. Стр. D368-D371.

Безверхний В.А., Груздев А.Н. Анализ связи крупномасштабной атмосферной циркуляции в северном полушарии с 11-летним солнечным циклом // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXII Международного симпозиума. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2016. Стр. D372-D375.

Важные результаты:

3. Анализ пространственного распределения плотности молний по северному региону Азии

ИКФИА СО РАН

По данным всемирной грозолокационной сети WWLLN была построена усредненная за летние месяцы 2009-2014 гг. карта плотности молний для континентальной части северного региона Азии с пределами от 60° до 180° в.д. и от 40° до 80° с.ш. (рис.1а). Выявлены три области повышенной грозовой активности, в которых плотность молний превышает в 10-100 раз плотность разрядов на окружающих территориях. Две протяженные области находятся на Западносибирской равнине (60° - 90° в.д.), и в долине рек Амур и Сунгари (110° - 140° в.д.), третья малая область расположена около 100° в.д., ограниченная реками Енисеем и Ангарой, а также Восточными Саянами с юга. Получено аналитическое выражение, дающее количественную оценку плотности молний по северному региону Азии с учетом пространственного распределения (рис.1б). Зависимость плотности молний от географического положения предложено описывать гауссовой функцией широты, параметры которой изменяются с

долготой в виде суммы трех гауссовых функций, соответствующих трем выделенным областям повышенной активности. Аналитическое выражение показывает хорошее соответствие с данными: коэффициент детерминации равен 0,8 ($p > 0,99$).

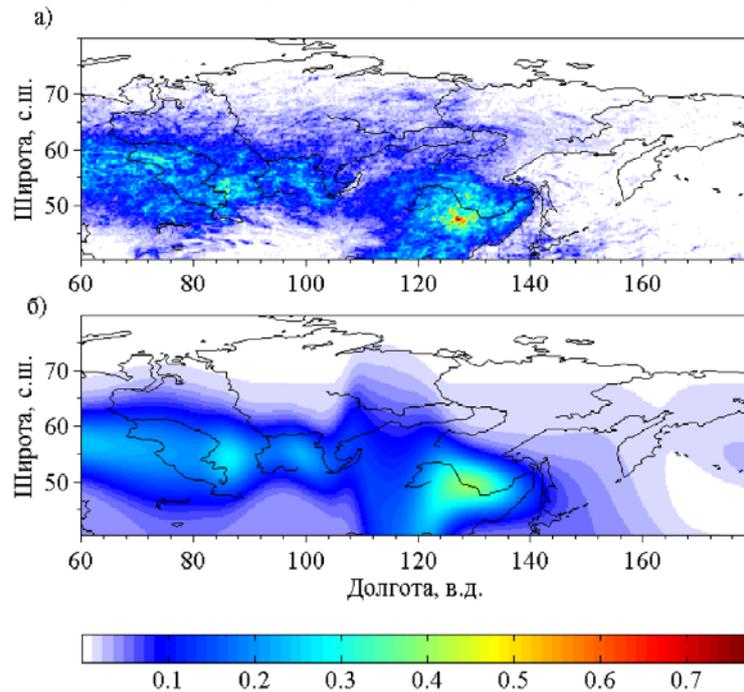


Рис.1 Пространственное распределение усредненной за летние сезоны 2009-2014 гг. плотности молний по территории Северной Азии (сетка с шагом 0,25°): а) по скорректированным согласно пространственной эффективности детектирования данным системы WWLLN; б) соответственно конечному аналитическому выражению – широтного хода плотности с изменяющимися с долготой параметрами. Шкала – молния км⁻² месяц⁻¹.

Публикация:

Тарабукина Л.Д., Козлов В.И., Каримов Р.Р. Аналитическое выражение для распределения плотности грозовых разрядов по территории Северной Азии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 184-191.

7 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. Первичный физический механизм магниторецепции на случай больших времен тепловой релаксации магнитных моментов

ИОФАН

Предложена модель первичного физического механизма магниторецепции. В ней рассмотрена неравномерная прецессия магнитного момента в магнитном поле, изменяющемся во времени. Модель основана на следующих положениях: 1) магнитное поле действует на магнитный момент, он прецессирует и испытывает тепловую релаксацию с характерным временем t ; 2) биологический эффект возможен, если за время t или быстрее удастся внести в динамику момента заметное возмущение.

Мерой его является отклонение прецессии момента от состояния невозмущенной равномерной прецессии в геомагнитном поле. Идеализации модели: 1) равномерная прецессия – это естественный фон, на котором происходят микроскопические события в организмах; 2) биофизические или биохимические события мишени – события следующего уровня - образуют нестационарный пуассоновский поток, плотность которого зависит от фазы прецессии в локальной системе координат мишени; 3) биологические эффекты происходят из возмущенной прецессии магнитных моментов одного типа, усредненных по реализации случайно ориентированных систем координат мишеней и по времени.

Показано, что механизмы, наиболее правдоподобные с точки зрения физики, принимают во внимание: наличие магнитных наночастиц в организмах; магнитно-чувствительные бирадикальной реакции; вращательные квантовые состояния макромолекул, а также жидкие состояния воды пока еще неизвестного происхождения.

Данный механизм - динамика магнитного момента в магнитном поле. -не исключает специфические молекулярные механизмы магниторецепции, но он является непременной компонентой любого такого механизма. Предложенная модель является новой и не имеет аналогов в мире.

Публикации:

Binhi V.N., Prato F.S. A physical mechanism of magnetoreception: Extension and analysis. Bioelectromagnetics, 2016, DOI: 10.1002/bem.22011.

2. Влияние нулевого магнитного поля на сердечно-сосудистую систему и микроциркуляцию

ИКИ РАН, НКЦ ОАО РЖД

Воздействие слабого («нулевого») магнитного поля на сердечнососудистую систему 32 –х здоровых волонтеров исследовалось в лабораторных условиях с помощью специально разработанной и построенной установки АРФА. Магнитное поле ослаблялось более, чем в 10^2 раз на частотах < 5 Гц и более, чем в 10 раз на частоте 50 Гц. Установлено, что после 30–40 минут экспозиции в нулевом магнитном поле отмечен максимальный рост физиологических показателей, свидетельствующих об активации регуляторных механизмов вегетативной нервной системы в группе добровольцев старше 40 лет. Существенно уменьшалась частота сердечных сокращений и диастолическое артериальное давление у всех добровольцев.

Скорость капиллярного кровотока возростала на 17% и средняя продолжительность кардиоинтервалов возростала на 88,7% по сравнению с мнимой экспозицией.

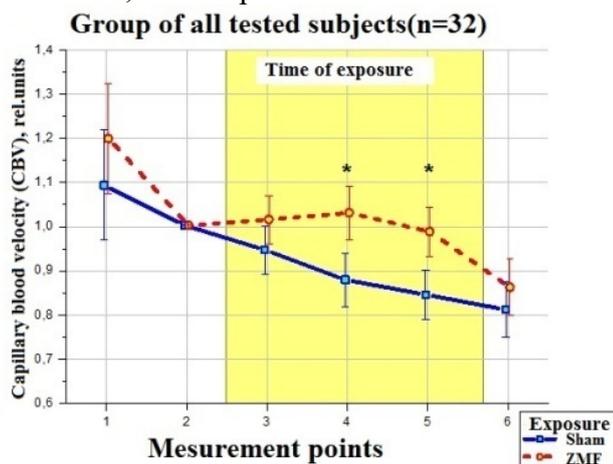


Рис.1. Динамика показателей скорости капиллярного кровотока во время эксперимента по воздействию «нулевого поля» (желтый сегмент) у всех исследованных. Звездочками показаны наиболее значимые изменения.

Публикация:

Yu.I. Gurfinkel, O.Yu. At'kov, A.L.Vasin, T.K.Breus, M.L. Sasonko, R.Yu.Pishchalnikov' Effect of zero magnetic field on cardiovascular system and microcirculation, Life Sciences in Space Research, 8 (2016) 1-7

3. Выявление индивидуальной метео и магнито-чувствительности сердечно-сосудистой системы человека

ИТЭБ РАН, ИКИ РАН

На примере изучения временных рядов физиологических показателей 292-х волонтеров показано, что из факторов земной и космической погоды наибольшее влияние на организм оказывают температура воздуха и общий уровень геомагнитной возмущенности. Причем, вопреки распространенным представлениям, биотропными оказываются не резкие скачки атмосферной температуры, а плавные изменения с периодом в несколько дней – примерно столько же времени в каждой местности обычно «гостит» циклон или антициклон. И вслед за этими волнами изменения температуры изменяется и средний уровень артериального давления, особенно систолического (верхнего уровня). Показано, что степень проявления эффекта магниточувствительности как на популяционном, так и на индивидуальном уровне зависит от среднего уровня геомагнитной активности (ГМА) в период проведения измерений, причем географическая широта оказывается менее значимым параметром, чем средний уровень ГМА. Распределения знаков реакции и времени начала развития реакции выглядят по-разному в годы минимума и максимума ГМА. В максимуме ГМА 95-100% случаев магниточувствительности показывают положительную корреляцию между значениями артериального давления (АД) и Кр, - индексом ГМА и подавляющее их число приходится на день начала возмущения. А при невысоких средних значениях уровня ГМА наблюдаются примерно в равной степени реакции обоих знаков, а время начала реакции не имеет отчетливого максимума в диапазоне от -1 до +3 суток. Эти выводы, однозначно подтверждают высказанные ранее разными авторами гипотезы о нелинейности реакции организма на вариации уровня ГМА.

Публикация:

Зенченко Т.А, Влияние слабых экзогенных факторов на физиологические показатели человека на примере изучения реакции сердечно сосудистой системы на действие вариаций атмосферных и геомагнитных факторов, Диссертация на соискание степени доктора биологических наук, ИТЭБ РАН, 21 сентября 2016г

4. Связь геомагнитной возмущенности с состоянием сердечно-сосудистой системы человека в высоких широтах на фазе роста 11-летнего цикла солнечной активности

ИКФИА СО РАН

Исследования молодых добровольцев проводились с помощью экспресс-кардиографа «Фазограф» в двух пунктах – г.Якутск и в полярном регионе - поселке Тикси (обсерватории ИКФИА СО РАН) в марте – апреле 2011г (ежедневные данные) Обнаружено совпадение максимумов изменения геомагнитной возмущенности и коэффициента симметрии Т-зубца электрокардиограммы у половины добровольцев обеих групп, что может служить свидетельством влияния геомагнитной возмущенности на состояние сердечно-сосудистой системы человека. Выявлено отличие этих результатов на фазе роста солнечной активности (СА) от результатами подобных исследований в Тикси 2009 г (минимум СА), что может объясняться влиянием 11-летнего цикла СА

Публикация:

Самсонов С.Н., Стрекаловская А.А., Малышева Л.А., Петрова П.Г., Захарова Ф.А. Связь геомагнитной возмущенности с состоянием сердечно-сосудистой системы человека в высоких широтах на фазе роста 11-летнего цикла солнечной активности // Якутский медицинский журнал, 2016, Вып.2 (54), С.52-54.)