

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**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 2017 г. № 005-17

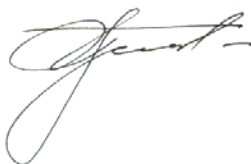
Академику – секретарю  
Отделения физических наук  
академику И.А. Щербакову

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 15 декабря 2017 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 2017 г. – 19 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:***

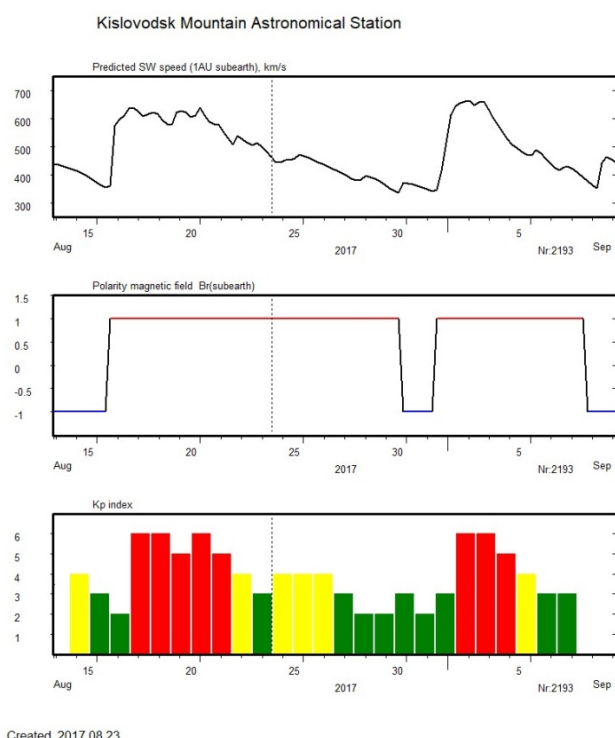
##### **1. Система прогноза параметров солнечного ветра и космической погоды**

#### **Кисловодская горная астрономическая станция (ГАС) ГАО РАН**

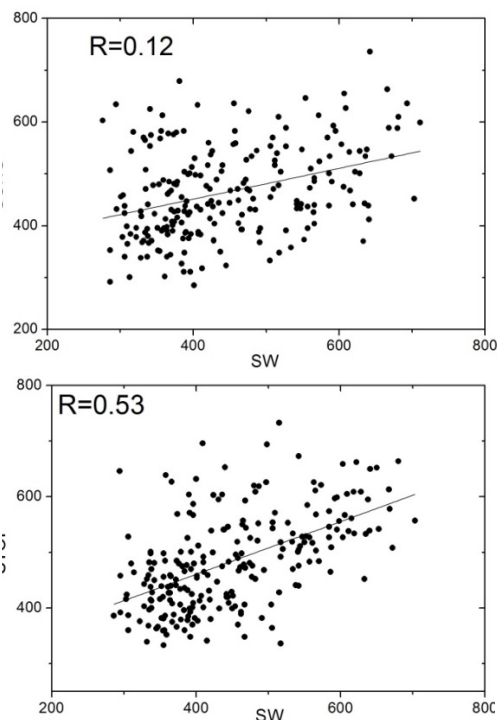
Создана уникальная система прогноза параметров солнечного ветра и космической погоды, в основе которой лежат национальные данные оперативных наблюдений солнечной активности с помощью созданных в ГАС ГАО автоматических патрульных телескопов и магнитографа СТОП. Показано, что данные прогноза ГАС ГАО имеют существенно более высокую корреляцию с наблюдениями солнечного ветра, чем прогноз по данным других мировых обсерваторий.

Реконструкция параметров солнечного ветра выполняется по данным наблюдений магнитографа СТОП. На первом этапе рассчитываются “фоновые” параметры солнечного ветра в гелиосфере и применяются в баллистической модели распространения потоков солнечного ветра от поверхности источников. Это позволяет прогнозировать параметры солнечного ветра и индекс геомагнитных возмущений ( $K_p$ ) (Рис.1). Второй составляющей прогноза космической погоды является учет вспышечных процессов и корональных выбросов массы (КВМ) по данным наблюдений патрульных телескопов. На этом этапе осуществляется оценка потоков УФ и жесткого излучения, расчет прохождения КВМ до орбиты Земли и оценка геоэффективности КВМ. Данные наблюдений, моделирования и прогноза оперативно представлены на сайте: <http://solarstation.ru/sun-service/forecast>.

Актуальность этого направления отражена в поручении Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Д.О. Рогозина от 23 октября 2015 г. № РД-П7-7233 “О создании Национального гелиогеофизического комплекса Российской Федерации”.



Created 2017.08.23



**Рис. 1.** (Слева) Пример оперативных расчетов фотосферного магнитного поля (верхняя панель), положения структур открытого магнитного поля или рассчитанных корональных дыр (КД), скорости солнечного ветра на поверхности источника и полярности магнитного поля на поверхности источника (средняя панель) и индекса геомагнитных возмущений К<sub>p</sub> (нижняя панель) по данным Кисловодска.

**Рис. 2.** (Справа) Сравнение прогнозных среднесуточных значений скорости солнечного ветра в 2016 г. в км/с с данными наблюдений спутника ACE по данным наблюдений телескопов магнитографов а) GONG; б) СТОП. Представлены также коэффициенты корреляции.

Публикации:

1. Tlatov A. The forecast of space weather according to ground-based Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts; **Proceedings IAU Symposium** No. 335 2017 г.
2. Tlatov A. G., Shramko A. D., Chernov Ya. O., Strelkov M. A., Naga Varun E. Space Weather Parameters: Modeling and Prediction from the Data of Groundbased Observations of Solar Activity. **Geomagnetism and Aeronomy**, 2017 г.
3. Tlatov, A. G.; Pashchenko, M. P.; Ponyavin, D. I.; Svidskii, P. M.; Peshcherov, V. S.; Demidov, M. L. Forecast of solar wind parameters according to STOP magnetograph observations. **Geomagnetism and Aeronomy**, Volume 56, Issue 8, pp.1095-1103, 2016.
4. Tlatov, A. G.; Dormidontov, D. V.; Chernov, Ya. O. Observations of long-period oscillations of the solar active regions in the visible and UV spectral intervals, **Geomagnetism and Aeronomy**, Volume 56, Issue 7, pp.872-879, 2016.
5. A. G. Tlatov, D. V. Dormidontov, R. V. Kirpichev, M. P. Pashchenko, A. D. Shramko, V. S. Peshcherov, V. M. Grigoryev, M. L. Demidov, and P. M. Svidskii, Study of Some Characteristics of *LargeScale Solar Magnetic Fields during the Global Field Polarity Reversal according to Observations at the TelescopeMagnetograph Kislovodsk Observatory*, **Geomagnetism and Aeronomy** Vol. 55, No. 7, 2015, 969-975.

## 2 Механизм ускорения и наполнения корональных магнитных петель энергичными электронами

ИПФ РАН, ГАО РАН

Предложен механизм ускорения электронов, основанный на осцилляциях электрического тока в корональных магнитных петлях на Солнце и звездах. Магнитная петля представляет собой эквивалентный электрический контур с током, генерируемым конвективными движениями фотосферной плазмы. Собственные ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$  Гц) колебания

электрического тока в петле индуцируют электрическое поле, направленное вдоль оси петли и обеспечивающее ускорение электронов. Определена эффективность ускорения и энергия ускоренных электронов. Рассмотрены примеры наполнения магнитных петель энергичными электронами в приложении к Солнцу и ультрахолодным звездам.

Публикация:

1. V.V. Zaitsev, A.V. Stepanov, Solar Physics, Acceleration and Storage of Energetic Electrons in Magnetic Loops in the Course of Electric Current Oscillations, 292, 141-152, DOI 10.1007/s11207-017-1168-2, 2017.

## 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»)

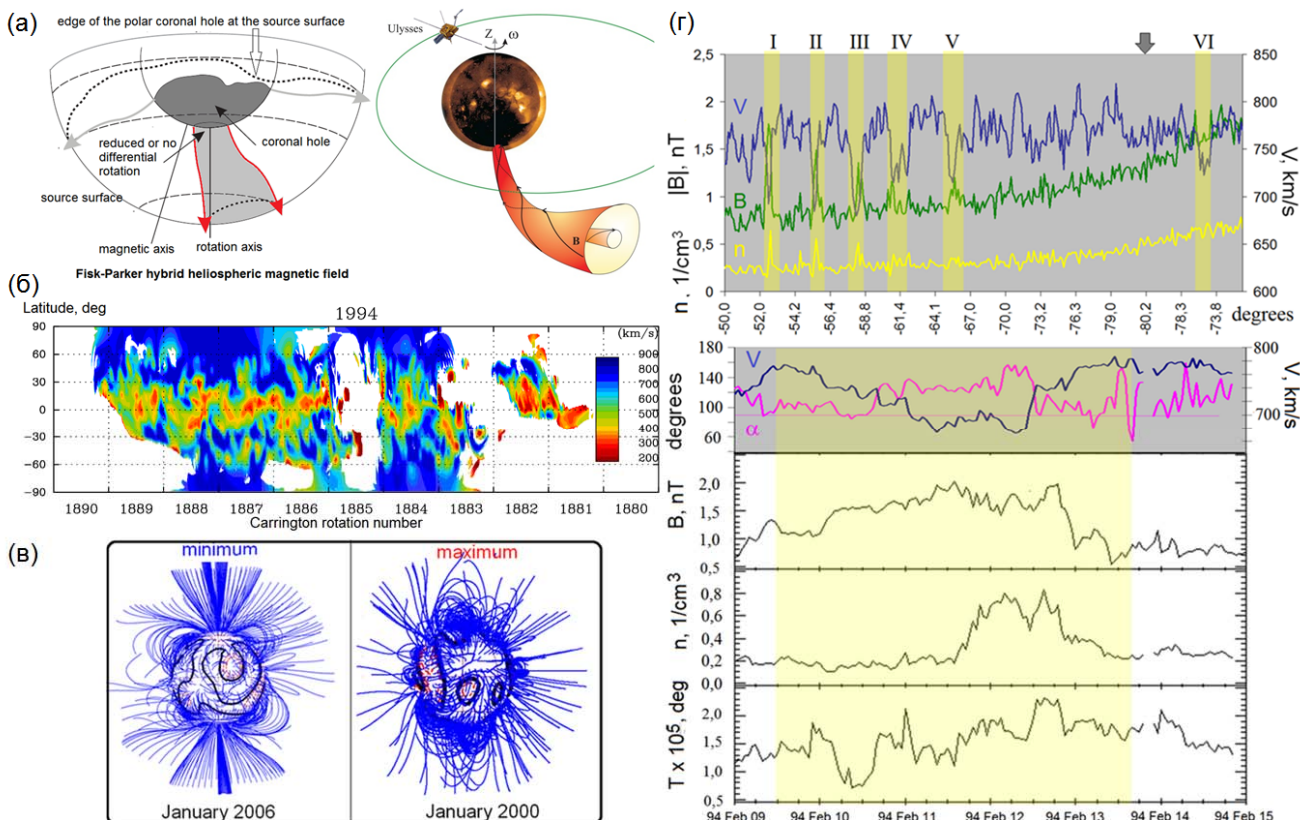
### Важнейшие результаты:

#### 1. В полярной гелиосфере обнаружены стабильные магнитные торнадо

ИЗМИРАН, ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ при участии зарубежных партнеров

На базе данных аппарата Ulysses над южным полюсом Солнца впервые обнаружена долгоживущая токовая структура в высоких гелиоширотах, существующая в период минимума солнечной активности.

Такие структуры возникают в годы минимумов солнечной активности внутри корональных дыр и поддерживаются сильным магнитным полем, закрученным на манер торнадо, простираясь до нескольких а.е. Аналогичные мелкомасштабные недолгоживущие магнитные торнадо были выявлены ранее на Солнце в низких широтах, но о существовании устойчивых структур много больших масштабов над полюсами не было известно. Внутри высокоширотных конических токовых слоев (КТС) потоки плазмы медленнее и плотнее, чем снаружи, причем, основной токовый слой содержит вторичные токовые слои, вложенные в него на манер матрешки.



(a) Слева: конические магнитные структуры внутри корональных дыр, предсказанные Burger et al. ApJ 2008. Справа: иллюстрация множественных пересечений КТС аппаратом Ulysses. (б) Карта скорости солнечного ветра по данным межпланетных скитилляций. В полярных областях обнаружены долгоживущие области с пониженной скоростью. (в) Примеры картины магнитных полей в короне в минимуме и максимуме солнечной активности. (г) Вверху - наблюдения множественных пересечений КТС в 1994г. (желтые области). Стрелка – полюс Солнца. Внизу – первое пересечение в деталях. Плотность  $n$ , скорость  $V$ , магнитное поле  $B$ , температура  $T$ ,  $\alpha$  - угол между  $V$  и  $B$ .

Обнаружение КТС открывает новые возможности в интерпретации данных высокоширотного солнечного ветра. Например, показано, что вдоль таких магнитных торнадо туннелируют энергичные частицы, ускоренные до больших энергий (кэВ-МэВ), что частично решает проблему так называемых высокоширотных всплесков потоков энергичных частиц. Существование конических магнитных образований в полярной короне было предсказано теоретически в 2008 Бюргером с соавторами в их модификации модели магнитного поля Фиска (Burger et al. ApJ 2008), но их стабильность при распространении в гелиосферу и формирование токового слоя на краях не обсуждались. Авторами построена первая МГД-модель цилиндрического токового слоя в гелиосфере, позволяющая описать его свойства. Показано как теоретически, так и по наблюдениям, что граница КТС представляет собой альвеновскую поверхность.

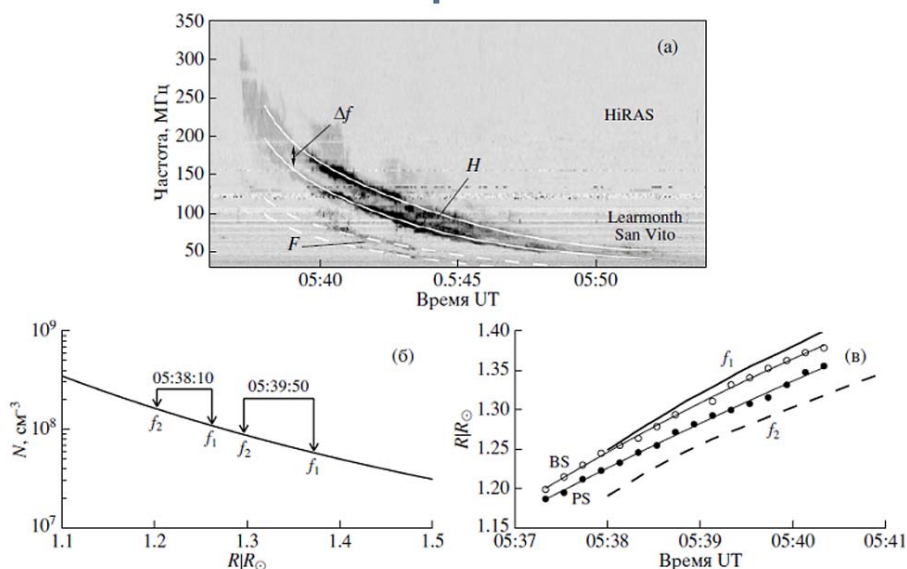
Публикация:

Khabarova O.V., Malova H.V., Kislov R.A., Zelenyi L.M., Obridko V.N., Kharshiladze A.F., Tokumaru M., Sokół J.M., Grzedzielski S., and Fujiki K., 2017, High-latitude conic current sheets in the solar wind, The Astrophysical Journal, 836, 108, 1, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/836/1/108>.

## 2. Одновременная регистрация взрывной и поршневой ударных волн на фронте КВМ по частотному расщеплению радиовсплеска 2 типа

ИСЗФ СО РАН, ИКИ РАН

Были одновременно зарегистрированы фронты двух различных ударных волн перед корональным выбросом массы (КВМ). Более быстрый фронт – взрывная ударная волна, опережал фронт другой волны, поршневой. Появление и движение этих ударных волн сопровождалось всплеском радиоизлучения II-го типа на фундаментальной частоте F и второй гармонике H. Каждая из частот была расщеплена на две близкие частоты f2 и f1, различающиеся на величину  $\Delta f = f_2 - f_1 \ll F, H$ . Наблюдаемое частотное расщепления  $\Delta f$  частот F и H радиоизлучения II-го типа может быть результатом одновременного распространения с различными скоростями в несколько разных направлениях поршневой и взрывной ударных волн, которые отличаются значениями концентрации корональной плазмы.



(a) Всплеск радиоизлучения II типа 13 июня 2010 г. на фундаментальной частоте F и второй гармонике H по данным радиоспектрографов HiRAS, Learmonth, San Vito; б) Распределение плотности плазмы  $N(R)$  – сплошная кривая. Стрелками отмечены рассчитанные значения плотности, соответствующие измеренным компонентам расщепления f1 и f2 второй гармонике H двух последовательных моментов времени; в) Измеренные положения фронтов BS и PS (светлые и черные кружки) в зависимости от времени. Сплошная и пунктирные кривые - рассчитанные зависимости  $f(R)$  для частот f1 и f2 расщепления второй гармонике H.

Публикация:

В. Г. Еселевич, Н.Л. Бородкова, М.В. Еселевич, Г.Н. Застенкер, Я. Шафранкова, З. Немечек, Л. Прех. Тонкая структура фронта межпланетной ударной волны по измерениям потока ионов солнечного ветра с высоким временным разрешением. Космические Исследования, т.55, N1, с32-47, 2017.

### 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»)

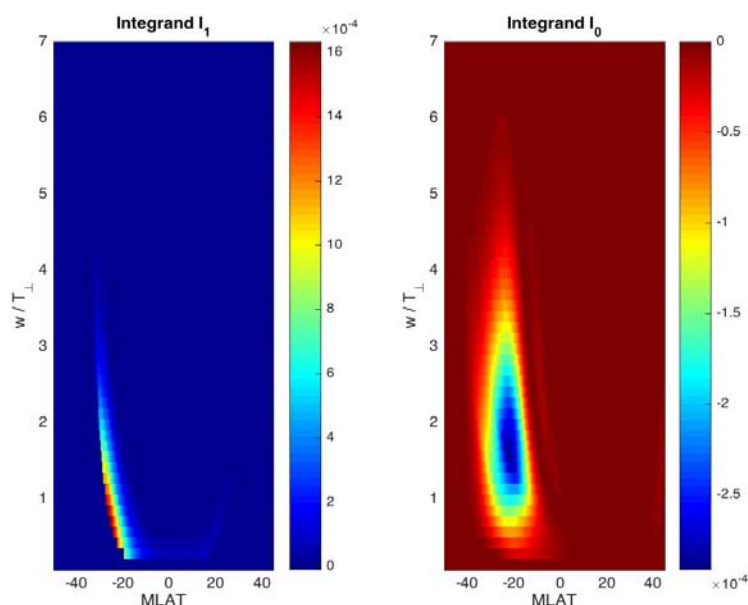
#### **Важнейшие результаты:**

- 1. Новый механизм передачи энергии от менее энергичных частиц к более энергичным в неустойчивой плазме, который реализуется при резонансном взаимодействии энергичных электронов внешнего радиационного пояса Земли с излучением молниевых разрядов.**

#### ИКИ РАН

Такой процесс происходит, в частности, при резонансном взаимодействии электронов радиационных поясов Земли с пакетами свистовых волн, которые возбуждаются молниевыми разрядами.

- Необходимым условием для передачи энергии от менее энергичных частиц к более энергичным является свободная энергия неустойчивого распределения плазмы, которое типично для магнитосферной плазмы в области радиационных поясов Земли.
- Сначала одна группа резонансных частиц с неустойчивым распределением отдает энергию волне, в результате чего ее амплитуда возрастает. Затем другая группа энергичных резонансных частиц поглощает энергию волны, в результате чего их энергия еще возрастает.
- Исследованные процессы являются эффективным механизмом увеличения энергии электронов внешнего радиационного пояса Земли.



Вклад в возбуждение (слева) и поглощение (справа) волнового пакета на плоскости широта-нормированная энергия частиц.

Публикация:

Shklyar, D. R. (2017), Energy transfer from lower energy to higher-energy electrons mediated by whistler waves in the radiation belts, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 640–655, doi:10.1002/2016JA023263.

Данная работа отмечена в [SPACE SCIENCE & SPACE PHYSICS Research Spotlight](https://doi.org/10.1029/2017EO069129)  
<https://doi.org/10.1029/2017EO069129>



## 2. Гипотеза “пинч-эффекта” открытых долей хвоста магнитосферы во время суббури

ИСЗФ СО РАН

Предложенная гипотеза дополняет существующую модель суббури с двойным началом.

Было известно: модель взрывной фазы суббури с двойным началом (EO – expansion onset):

1. EO1 – начало магнитного пересоединения (MR1) силовых линий замкнутого хвоста (плазменного слоя), разрыв тока поперек хвоста и формирование токового клина суббури – диагностируется методом техники инверсии магнитограмм (ТИМ) по началу резкого увеличения интенсивности продольных токов в ночных ячейках зоны R1 Ииджимы-Потемры.
2. EO2 – начало магнитного пересоединения (MR2) силовых линий открытых долей хвоста (спустя  $\Delta t \approx 2$  минут после MR1) – диагностируется методом ТИМ по началу резкого уменьшения магнитного потока  $\Phi$  через полярную шапку.

На основе анализа динамики 2D-карт распределений продольных токов и магнитного потока через полярную шапку в ходе изолированной суббури 27 августа 2001, рассчитанных методом ТИМ, было обнаружено:

резкий спад  $\Phi$  происходит исключительно за счет сокращения площади предполуночного сектора полярной шапки, где одновременно наблюдается резкий рост интенсивности втекающего продольного тока зоны R0.

Для интерпретации этих фактов выдвинута гипотеза: продольные токи двух полушарий Земли, втекающие в ионосферу вблизи границы предполуночной полярной шапки, создают “пинч-эффект” в разделительном слое между долями хвоста и вызывают ускоренное магнитное пересоединение открытых силовых линий на взрывной фазе магнитосферной суббури. Предложенная гипотеза дополняет существующую модель суббури с двойным началом.

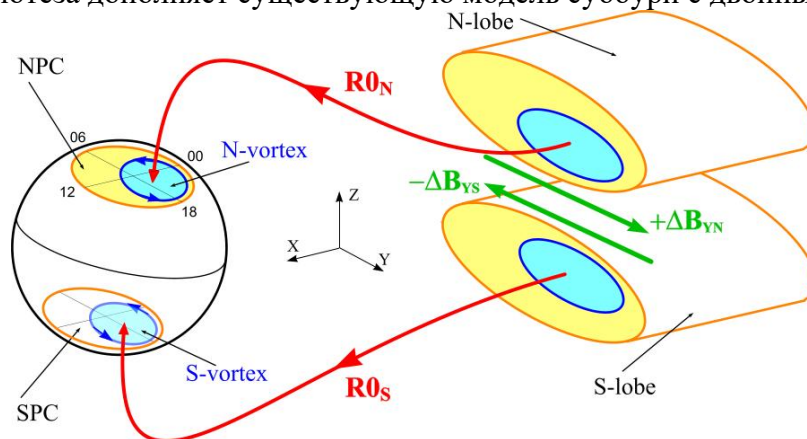


Схема второго взрывного начала (EO2/MR2) суббури сразу после пересоединения замкнутых силовых линий (MR1) в среднем плазменном слое на  $X \sim -20 R_E$ . “Пинч-эффект” токов  $R0_N$  и  $R0_S$  триггерует пересоединение открытых силовых линий долей хвоста

Публикация:

Mishin, V. M., V. V. Mishin, S. B. Lunyushkin, J. Y. Wang, and A. V. Moiseev (2017), 27 August 2001 substorm: Preonset phenomena, two main onsets, field-aligned current systems, and plasma flow channels in the ionosphere and in the magnetosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122(5), 4988-5007, doi: 10.1002/2017ja023915.

#### 4 ФИЗИКА ИОНОСФЕРЫ

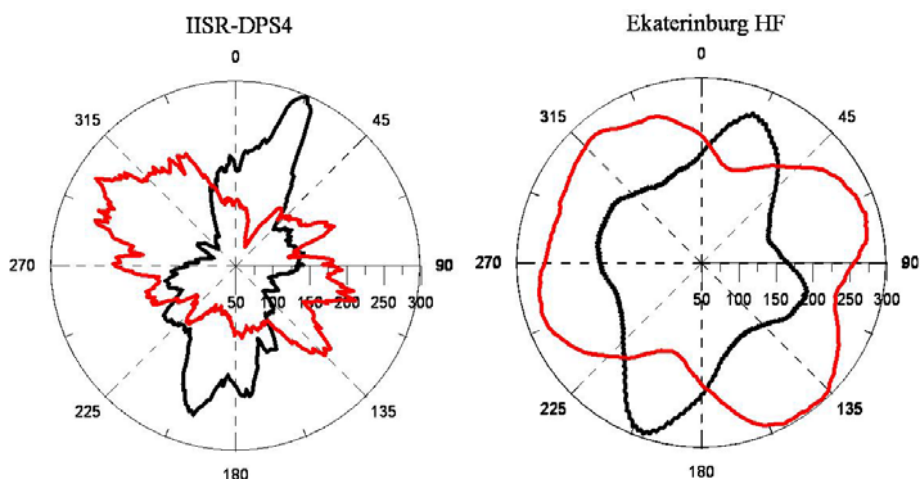
(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

##### **Важнейшие результаты:**

### **1. Ветровая фильтрация – основной механизм взаимодействия ВГВ с нейтральным ветром.**

ИСЗФ СО РАН

На основе анализа данных, полученных на независимых инструментах (радар некогерентного рассеяния в сочетании с ионозондом и радар когерентного рассеяния) с использованием независимых методов определения характеристик перемещающихся ионосферных возмущений показано, что основным механизмом взаимодействия внутренних гравитационных волн (ВГВ) с нейтральным ветром является ветровая фильтрация. Обоснована важность измерения полного вектора скорости перемещающихся ионосферных возмущений из-за возможности разделения возмущений, обусловленных ВГВ, от возмущений другой природы.



Распределения по азимутам распространения. Черная кривая – относительная частота наблюдения ВГВ, красная – средняя горизонтальная скорость наблюдаемых ВГВ, на шкале показаны ее значения в м/сек.

Публикации:

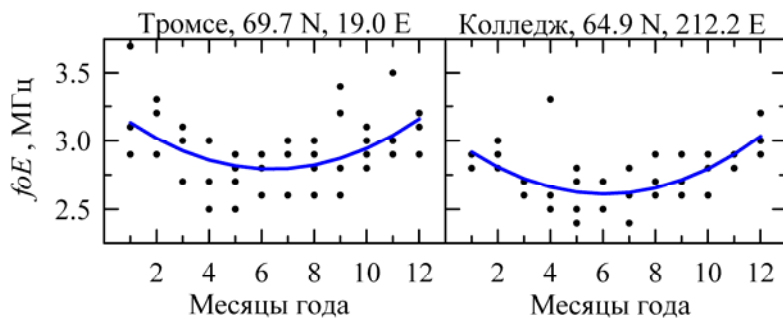
Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Oinats A.V., Alsatkin S.S., Zherebtsov G.A. Relation of internal gravity wave anisotropy with neutral wind characteristics in the upper atmosphere // J. Geophys. Res. Space Physics, 122, 7, 7567–7580, doi:10.1002/2017JA024103, 2017.

### **2. Новое явление - зимняя аномалия в медиане критической частоты E-слоя ночной авроральной области**

ИЗМИРАН

Обнаружено новое явление – зимняя аномалия в медиане критической частоты E-слоя  $f_oE$  ночной авроральной области, когда по данным ионосферных станций медиана  $f_oE$

местной зимой больше, чем летом, несмотря на большой вклад солнечного излучения в  $f_oE$  местным летом. На основе качественного анализа получено, что зимняя аномалия в  $f_oE$  обусловлена асимметрией зима/лето потока энергии ускоренных электронов, с которыми связаны дискретные полярные сияния в ночной авроральной области.



Годовые изменения медиан  $f_oE$  в ночные часы по данным ионосферных станций Тромсе и Колледж (точки) и аппроксимации этих данных полиномами второй степени – сплошные линии.

Публикация:

Деминов М.Г., Деминова Г.Ф. Зимняя аномалия в критической частоте E-слоя в ночной авроральной области // Геомагнетизм и аэрономия, 57, 5, 628-634, 2017.

### 3. Новые особенности бури в ионосфере на основе комплексных исследований

ИСЗФ СО РАН, КФ ИЗМИРАН, НИИЯФ МГУ, ААНИИ, Байкальский ГУ

На основе комплекса инструментов ИСЗФ СО РАН, включающих когерентный КВ радар, ионозонды вертикального зондирования ионосферы, сеть КВ радиотрасс, магнитометры, риометры (рис. 1), других наземных данных, данных спутников ACE, GPS, POES, TIMED и результатов численного моделирования установлены новые особенности динамики бури в ионосфере. Так, сильное увеличение концентрации максимума F2-слоя на низких широтах не предсказывалось моделью, и этот эффект можно объяснить дополнительной ионизацией атмосферы электронами высоких энергий. В восстановительную фазу очень интенсивной магнитной бури в обширном регионе на средних и субавроральных широтах наблюдалось 80% понижение дневной электронной концентрации, которое не воспроизводится современными моделями.

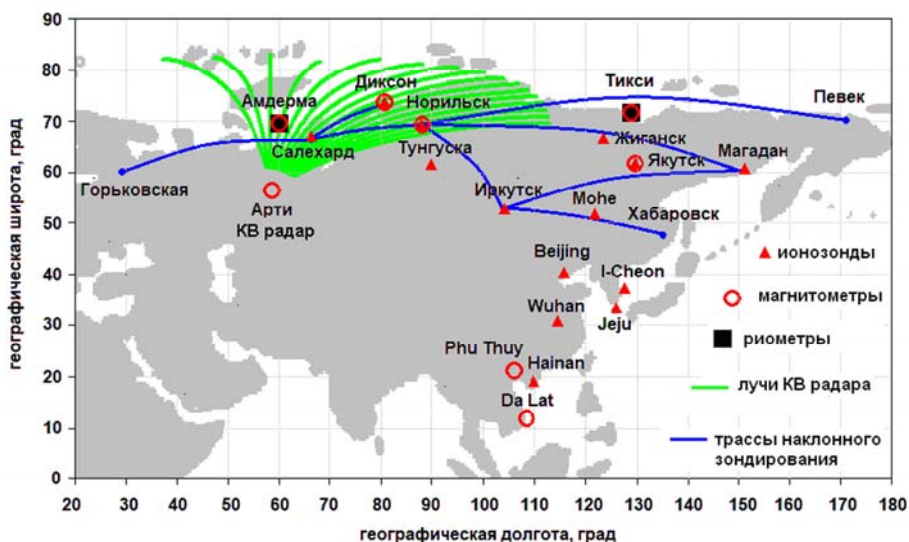


Схема расположения наземных инструментов и сети КВ- радиотрасс.

Публикации:

Zolotukhina N., Polekh N., Kurkin V., Rogov D., Romanova E., Chelpanov M. Ionospheric effects of St. Patrick's storm over Asian Russia: 17–19 March 2015 // *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 2484–2504, doi:10.1002/2016JA023180, 2017.

Polekh N., Zolotukhina N., Kurkin V., Zherebtsov G., Sh, J., Wang G., Wang Z. Dynamics of ionospheric disturbances during the 17–19 March 2015 geomagnetic storm over East Asia // *Adv. Space Res.*, 60, 11, 2464–2476, 2017.

Dmitriev A.V., Suvorova A.V., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Rakhmatulin R.A., Parkhomov V.A. (2017). Predictable and unpredictable ionospheric disturbances during St. Patrick's Day magnetic storms of 2013 and 2015 and on 8–9 March 2008 // *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 2398–2423, doi:10.1002/2016JA023260, 2017.

Klimenko M.V., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Korenkova N.A., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Cherniak Iu.V. Similarity and differences in morphology and mechanisms of the  $f_oF2$  and TEC disturbances during the geomagnetic storms on 26–30 September 2011 // *Ann. Geophys.*, 35, 923–938, 2017.

## 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. Влияние нижнего слоя положительного заряда в грозовом облаке на типологию и динамику молниевых разрядов. Лабораторное моделирование высотных электрических разрядов.**

ИПФ РАН

В рамках новой трехмерной модели развития молнии, включающей двунаправленное распространение разряда, его динамическое вероятностное ветвление и возможность одновременного роста и/или распада периферийных ветвей, а также впервые учитывающей эволюцию проводимости, продольного электрического поля и тока разрядных каналов, продемонстрировано доминирующее влияние на типологию и динамику молниевых разрядов нижнего слоя положительного заряда в грозовом облаке.

Обнаружено, что этот слой способствует зарождению отрицательного нисходящего лидера, но в случае избыточной мощности слоя предотвращает возникновение отрицательного разряда типа облако – земля, блокируя нисходящий лидер. Значительное уменьшение или отсутствие нижнего слоя положительного заряда в грозовом облаке также исключает отрицательный разряд на землю и приводит к развитию внутриоблачного разряда нормальной полярности. Предсказания модели и результаты её численных реализаций соответствуют экспериментальным данным.

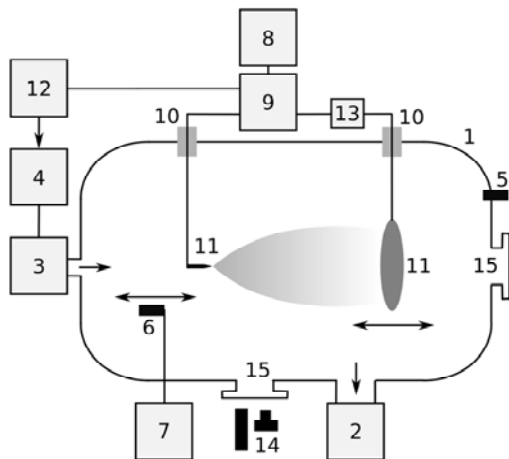
Создан новый стенд для лабораторного моделирования высотных разрядов в атмосфере (спрайтов и джетов) посредством генерации высоковольтного разряда в газе с градиентом давления. В проведенных на стенде экспериментах впервые воспроизведены основные структурные особенности спрайтов, связанные с одновременным формированием стримерного и диффузного разряда. Лабораторное моделирование необходимо для развития методов дистанционной диагностики и проверки конкурирующих гипотез о формировании и динамике высотных разрядов

Публикации:

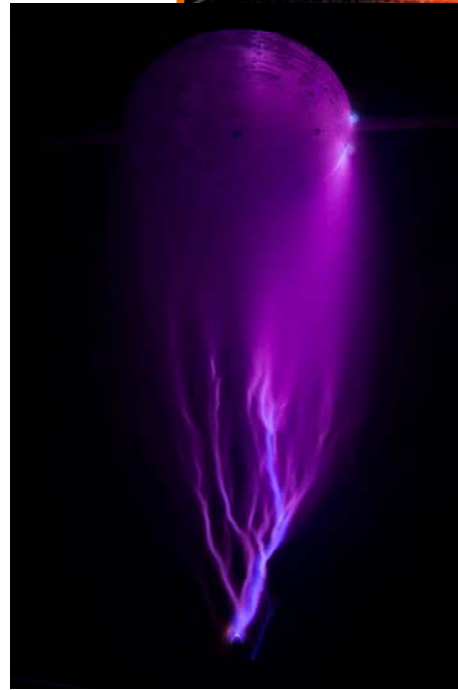
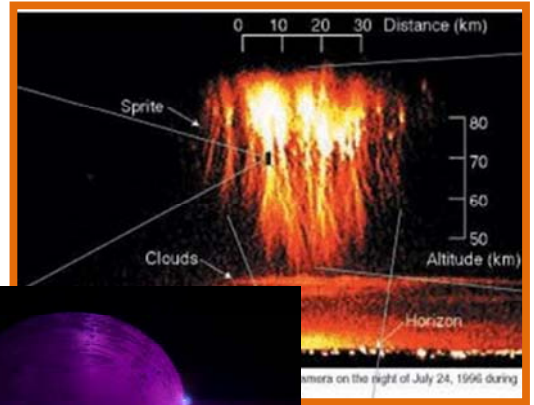
1. Iudin, D.I., V.A. Rakov, E.A. Mareev, F. D. Iudin, A. A. Syssoev, and S. S. Davydenko (2017), Advanced numerical model of lightning development: Application to studying the role of LPCR in determining lightning type, **J. Geophys. Res. Atmos.**, 122, 6416–6430, doi:10.1002/2016JD026261.
2. Iudin D.I., F.D. Iudin, and M. Hayakawa, Modeling of the intracloud lightning discharge radio emission, **Radiophysics and Quantum Electronics**, Vol.58, No.03, August, 2015 (Russian Original Vol. 58, No. 03, March, 2015), doi:10.1007/s11141-015-9591-4.
3. А. В. Стриковский, А. А. Евтушенко, М. Е. Гуцин, С. В. Коробков, А. В. Костров. Импульсный высоковольтный разряд в воздухе с градиентом давления. // Физика Плазмы, 2017, том 43, № 10, с. 866–873.



Стенд «СПРАЙТ»



Натурные наблюдения



Лабораторный эксперимент

## 2. Вертикальные среднemasштабные неоднородности в ионосфере, вызванные поверхностными сейсмическими волнами

ИСЗФ СО РАН

По данным Иркутского скоростного ЛЧМ-ионозонда выполнен анализ ионосферных эффектов, генерируемых при землетрясениях 2011-2016 гг. поверхностными сейсмическими волнами Рэля.

Проведен статистический анализ влияния ударной акустической волны (УАВ) в атмосфере, вызванной волной Рэля, на образование вертикальных среднemasштабных неоднородностей в нижней ионосфере. Эти неоднородности проявляются на ионограммах в виде быстроживущих (десятки секунд и минуты) дополнительных перегибов трека (эффект "multicusp", рис. 1а).

В качестве индекса акустической эффективности сейсмической волны нами предложен индекс  $K_w$ , позволяющий оценить амплитуду УАВ. Этот индекс связан с максимальным значением диаграммы направленности акустического излучения от волны Рэля (рис. 1б). Анализ эффектов в нижней ионосфере показал, что они наблюдаются, в дневное время при  $K_w > 4.7$  (рис. 1в).

Публикация:

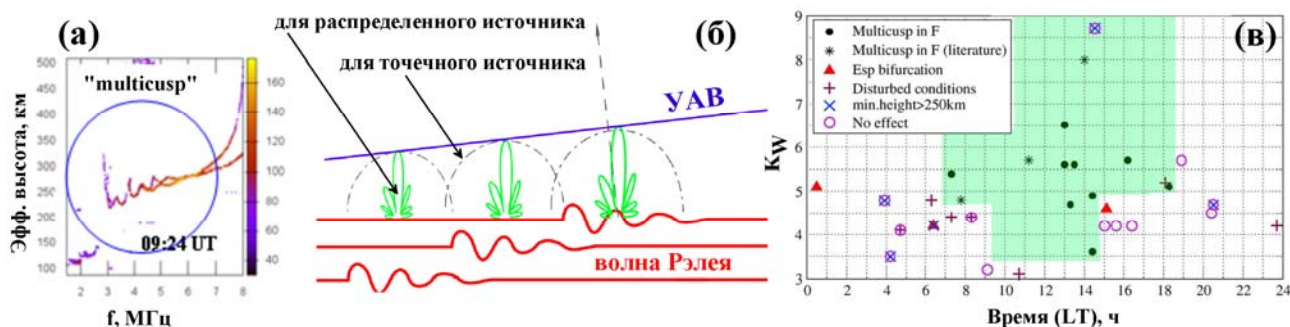


Рис. 1. Эффект "multiscusp" на ионограмме (а). Схема формирования УАВ (б). Распределение наблюдавшихся в 2011-2016 гг. ионосферных эффектов, обусловленных волнами Рэлея, в зависимости от местного времени LT и индекса Kw (в). Звездочками на панели (в) отмечены события "multiscusp", упоминавшиеся в литературе другими исследователями. Зеленым выделена область наблюдения эффектов "multiscusp".

### 3 Электрические процессы в эруптивных облаках

#### ИКИР ДВО РАН

По комплексу геофизических методов рассмотрено развитие эруптивного шлейфа от эксплозии вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г. Сеть определения месторасположения гроз (WWLLN), позволила лоцировать разряды от вулканических молний, которые возникали на первом этапе формирования эруптивного шлейфа. Впервые в Российской Федерации электростатический флюксметр, установленный в 113 км от вулкана, зарегистрировал возмущения градиента потенциала атмосферного электрического поля на расстоянии 90 км от фронта эруптивного облака. **Регистрация электрических процессов в эруптивных облаках может быть одной из составляющих наблюдений за извержениями, с целью оценки пепловой опасности для авиатранспорта.**

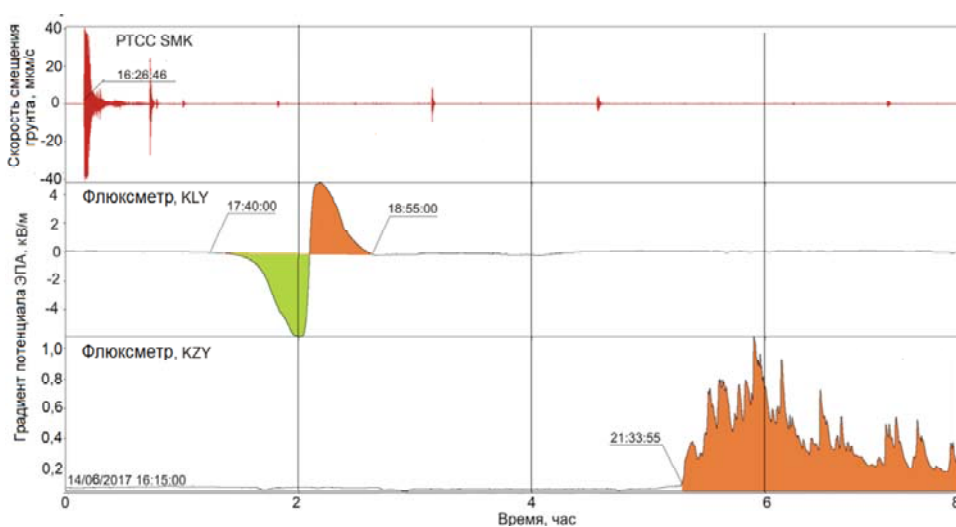


Рисунок 2. Фрагмент записи скорости смещения грунта на радиотелеметрической сейсмической станции SMK (а) и градиента потенциала АЭП в пунктах KLY и KZY (б, в) при прохождении эруптивного облака от извержения вулкана Шивелуч 14 июня 2017 г.

Публикация:

Фирстов П.П., Акбашев Р.Р., Холзворт Р., Чернева Н.В., Шевцов Б.М. Атмосферно-электрические эффекты во время эксплозии вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г // Известия Российской Академии Наук. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 1. С. 29-37.



## 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»)

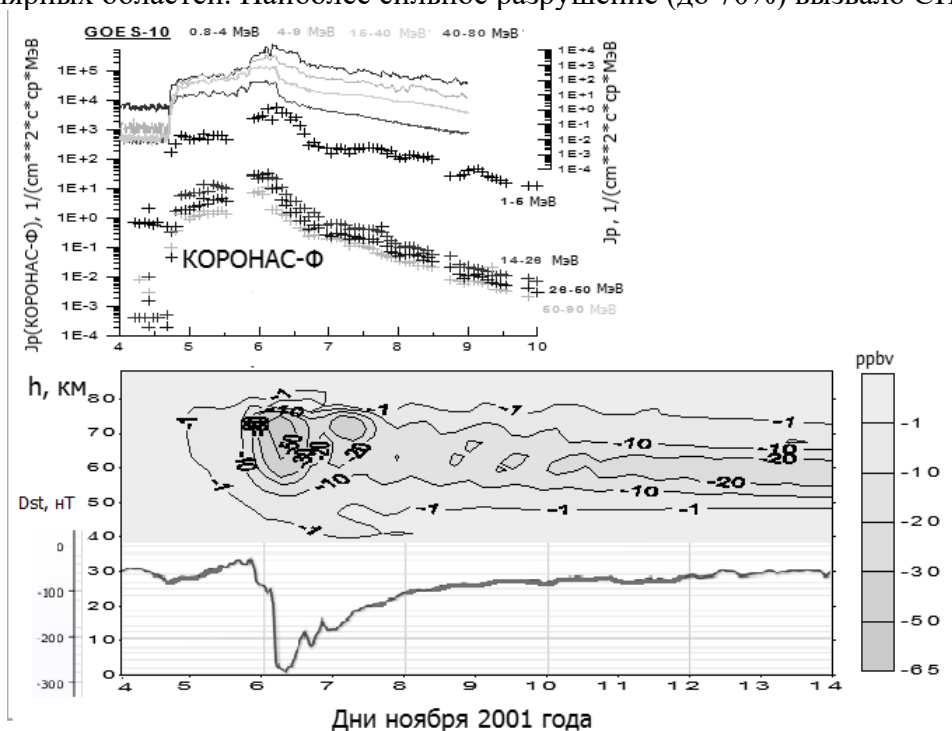
### Важнейшие результаты:

#### 1. Мониторинг солнечных протонных событий на высотах до 1000 км - данные российских космических экспериментов. Эффекты солнечных протонов в озоносфере Земли.

МГУ им. Ломоносова, НИИЯФ МГУ, ЦАО Росгидромет

В работе иллюстрируются возможности использования данных российских спутниковых экспериментов (CORONAS-F) по измерению потоков и спектров солнечных космических лучей на высотах 370-1000 км при моделировании состояния озоносферы. Приведены результаты фотохимического моделирования и анализа данных наблюдений, показывающие воздействие на полярную озоносферу и нижнюю ионосферу солнечных протонов в периоды солнечных протонных событий (СПС) 4 ноября 2001 г., 28 октября 2003 и 16 января 2005 года.

Показано, что воздействие солнечных протонов приводит к разрушению озона в мезосфере полярных областей. Наиболее сильное разрушение (до 70%) вызвало СПС 28.10.2003.

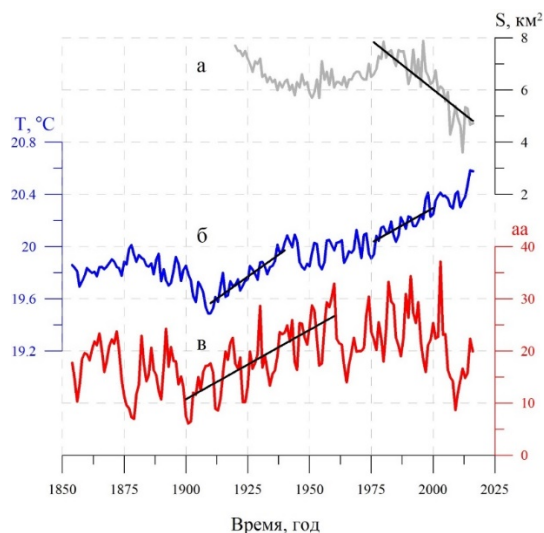


На нижней панели рисунка приведены результаты расчета изменения содержания озона в зависимости от высоты и времени.

Публикация:

И.Н. Мягкова, А.А. Криволицкий, Мониторинг солнечных протонных событий на высотах до 1000 км - данные российских космических экспериментов. Эффекты солнечных протонов в озоносфере Земли. Геомагнетизм и аэрономия, Т. 57, №6, с. 724-735, 2017.





Долговременные изменения: а – площади морского льда в Арктическом бассейне для сентября месяца; б – температуры поверхности океана (60° N–60° S; 0°–360°); в – aa-индекса геомагнитной активности.

Предлагаемая концепция – влияние гелиогеофизических возмущений (потoki солнечных космических лучей, возмущения солнечного ветра и межпланетного поля, геомагнитные бури и суббури) на параметры земной климатической системы, управляющие потоком длинноволнового излучения, уходящего от Земли в космос в высокоширотных областях. Изменение радиационного баланса высокоширотных областей приводит к перестройке термобарического поля тропосферы, изменениям меридионального градиента температуры, который определяет меридиональный перенос тепла. Вследствие этого изменяется глобальный климат.

Публикация:

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

#### 4 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. Магнитная буря в лаборатории: рандомизированный эксперимент.

ИКФИА СО РАН, ИФЗ РАН, Медицинский институт Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Саратовский медицинский университет им. В.И. Разумовского, Академия наук РС(Я)

Впервые в мире произведена проверка медицинских эффектов воздействия геомагнитной бури с помощью лабораторной установки «Фарадей», симулирующей магнитное возмущение. На здоровых молодых добровольцах с соблюдением всех норм медицинского эксперимента показаны: замедление скорости капиллярного кровотока и снижение частоты сердечных сокращений. Данный результат подтверждает наблюдения в естественных условиях, однако режим контролируемого эксперимента позволяет увеличить достоверность результатов и проводить исследования постоянно.



Рисунок. Магнитная буря 2 октября 2013 г. (Кр – индекс=7), зарегистрированная (справа). и воспроизведенная в установке Фарадей (слева).

Публикации:

Yu I. Gurfinkel, A. L. Vasin, R. Yu Pishchalnikov, R. M. Sarimov, M. L. Sasonko, T. A. Matveeva  
Geomagnetic storm under laboratory conditions: randomized experiment. Int J Biometeorol (2017).  
<https://doi.org/10.1007/s00484-017-1460-8>.