

# ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2015 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»)

### 1. Новый механизм генерации гелиосейсмических возмущений в солнечных вспышках

ИКИ РАН

На основе наблюдений солнечной вспышки 17 февраля 2013 г. космическими обсерваториями SDO и RHESSI впервые показано, что вспышка и связанное с ней гелиосейсмическое возмущение в нижней атмосфере Солнца возникает в результате сильного нарастания электрического тока в одном из хромосферных оснований магнитной петли. Таким образом, гелиосейсмическое возмущение и сам вспышечный процесс не явились результатом нагрева плотных слоев атмосферы электронами, ускоренными в короне, как предполагается в «стандартной» модели вспышки. Напротив, полученные данные свидетельствуют о важной роли хромосферы в генерации вспышечной активности на Солнце.

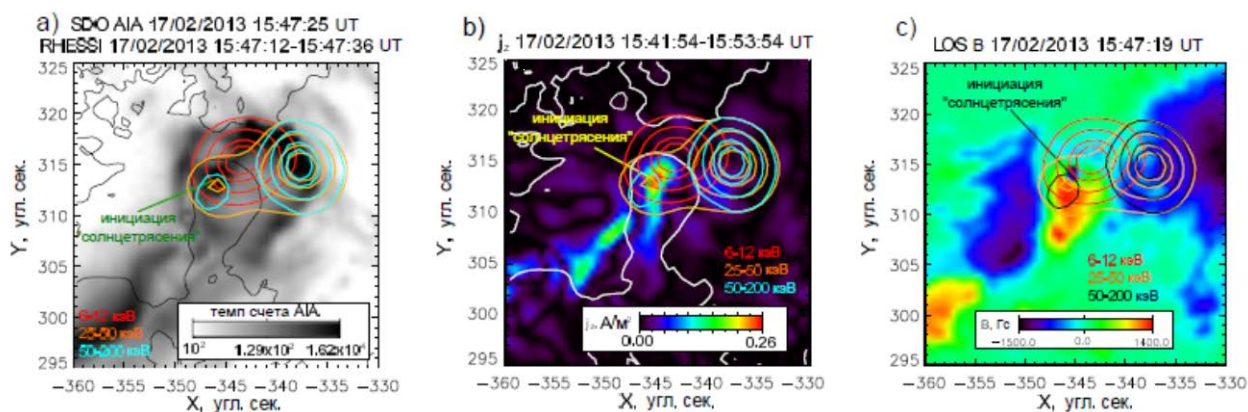


Рис. 1 а) – ультрафиолетовое изображение ( $94 \text{ \AA}$  - AIA/SDO) области вспышки; б) – распределение плотности тока  $j_z$ ; в) – магнитограммы (HMI/SDO). Цветные контуры показывают распределение интенсивности рентгеновского излучения по данным RHESSI.

Публикации:

Sharykin I.N., Kosovichev A.G., Zimovets I.V., Energy release and initiation of sunquake in C-class flare // *Astrophys. J.*, 807(9), 2015. Impact Factor 5.993

Sharykin I.N., Kosovichev A.G., Dynamics of electric currents, magnetic field topology, and helioseismic response of a Solar flare // *Astrophys. J.*, 808(9), 2015. Impact Factor 5.993

## 2. Гистерезис в динамо как причина двух различных режимов солнечной активности

ИСЗФ СО РАН, ГАО РАН

Предложено объяснение различия режимов солнечной активности в глобальных минимумах и вне их, обнаруженного по радиоуглеродным данным (Usoskin et al. 2014, A&A). Два режима активности можно объяснить гистерезисом в нелинейном динамо, а именно наличием двух решений с существенно различающимися амплитудами магнитных циклов (рис.1), реализующихся в зависимости от начальных условий. Флуктуации параметров динамо приводят к нерегулярным переходам между различными решениями. Гистерезис в динамо подтвержден трехмерными численными экспериментами и подробно изучен в простом приближении динамо-волн.

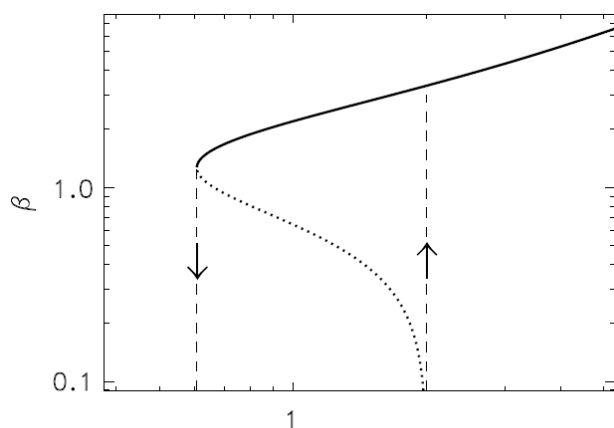


Рис.1. Гистерезис в динамо: в интервале динамо-чисел  $0.6 < D < 2$  имеется два решения в виде колебаний с относительно большой амплитудой и затухающих колебаний. Точечная линия – граница между «областями притяжения» двух решений.

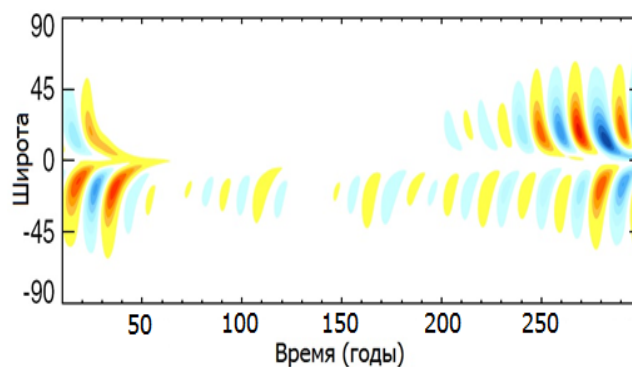


Рис.2. Фрагмент рассчитанной в модели динамо диаграммы «бабочек» Маундера, показывающий вхождение в глобальный минимум и выход из него

Публикации:

1. В.В.Karak, L.L.Kitchatinov, A.Brandenburg, Hysteresis between distinct modes of turbulent dynamos, ApJ, 803, 95, 2015.
2. Л.Л.Кичатинов, А.А., Непомнящих, Параметрическая модуляция динамо-волн, Письма в АЖ, 41, 409, 2015.

## II. 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»)

### 1. Альвеновские волны в области ускорения солнечного ветра

ИРЭ РАН, ФИАН

Методом когерентного радиозондирования, обеспечивающего изучение флуктуаций магнитного поля на предельно малых расстояниях от Солнца, впервые зарегистрированы следующие не известные ранее экспериментальные факты:

– во внутреннем солнечном ветре присутствуют связанные с ответственными за ускорение плазмы альвеновскими волнами квазипериодические возмущения с широким набором периодов от 5 минут до одного часа и более (рис. 1).

– альвеновские волны распространяются от Солнца со скоростью, превосходящей локальную скорость солнечного ветра и достигающей 250-450 км/с на гелиоцентрических расстояниях 3.7-4.4 солнечных радиусов (рис. 2).

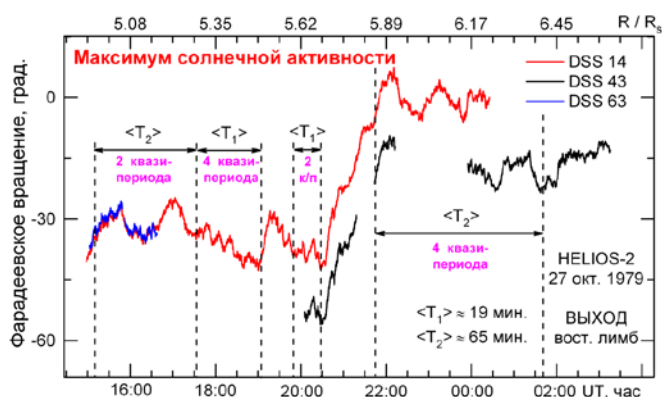


Рис.1

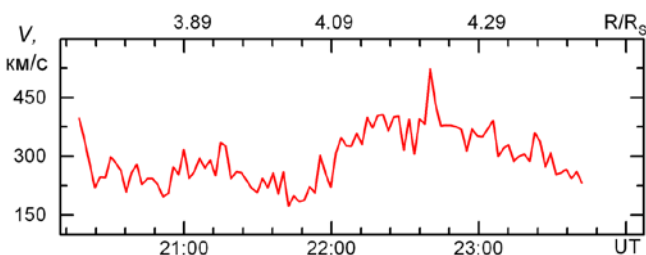


Рис.2

Публикации:

Efimov A.I., Lukanina L.A., Rogashkova A.I., Samoznaev L.N., Chashei I.V., Bird, M.K., Pätzold M., Coronal radio occultation experiments with the HELIOS solar probes: correlation/spectral analysis of Faraday rotation fluctuations, *Solar Phys.*, 290(9), 2397-2408, DOI: 10.1007/s11207-015-0687-y, 2015.

### 2. Универсальность роли негауссовой турбулентности в процессах переноса и диссипации

ИКИ РАН в кооперации с НИЦ «Курчатовский институт»

На основе сравнения данных на границе магнитосферы (прибор БМСВ на спутнике СПЕКТР-Р), в лабораторной плазме и в аэродинамических трубах подтверждены общие свойства турбулентности, формирующие процессы переноса и диссипации в пограничных слоях, возникающих при обтекании препятствий и вблизи стенок. Основная роль в данных процессах принадлежит негауссовым флуктуациям, причем

характерны увеличение негауссовости с увеличением частоты и доминирование нитевидных диссипативных структур. У границы магнитосферы это сверхзвуковые струи, перемежающие дозвуковой поток, в лабораторной плазме – выбросы, обеспечивающие супердиффузию на стенки, в аэродинамических пограничных слоях – долгоживущие филаментарные структуры. Результат имеет междисциплинарное значение.

Публикации:

1. V. P. Budaev, L. M. Zelenyi and S. P. Savin, Generalized self-similarity of intermittent plasma turbulence in space and laboratory plasmas, *J. Plasma Phys.*, vol. 81, 395810602, p. 1–53, doi:10.1017/S0022377815001099, 2015.
2. Riazantseva, M. O., Budaev, V. P., Zelenyi, L. M., Zastenker, G. N., Pavlos, G. P., Safrankova, J., Nemecek, Z., Prech, L. & Nemecek, F., Dynamic properties of small scale solar wind plasma fluctuations. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 373, 20140146. 2015.
3. L.V. Kozak, A.S., Prokhorenkov, S.P. Savin, Statistical analysis of the magnetic fluctuations in boundary layers of Earth's magnetosphere, *Advances in Space Research*, **56**, 2091–2096, 2015.
4. V.P. Budaev, L.M. Zelenyi, S.P. Savin, Intermittency and generalized self-similarity in turbulent boundary layers of laboratory and magnetospheric plasmas, accepted to *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*, by IOPscience UK, 2015.

### III. 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»)

#### 1. Реконструкция трехмерного распределения плазмы в плазмосфере по данным одного пролета спутника

ИКИ РАН

Впервые разработана трехмерная физическая модель плазмосферы Земли, позволяющая при спокойных магнитных условиях восстановить распределение плазмы во всей плазмосфере и определить положение плазмопаузы по данным о плотности и температуре плазмы, измеренным вдоль одного пролета спутника через эту область. Модель тестирована по данным измерений холодной плазмы на космическом аппарате «Интербол-1». Модель может быть использована для прямого сопоставления данных спутников, находящихся в различных частях плазмосферы, при анализе широкого класса физических процессов в этой области.

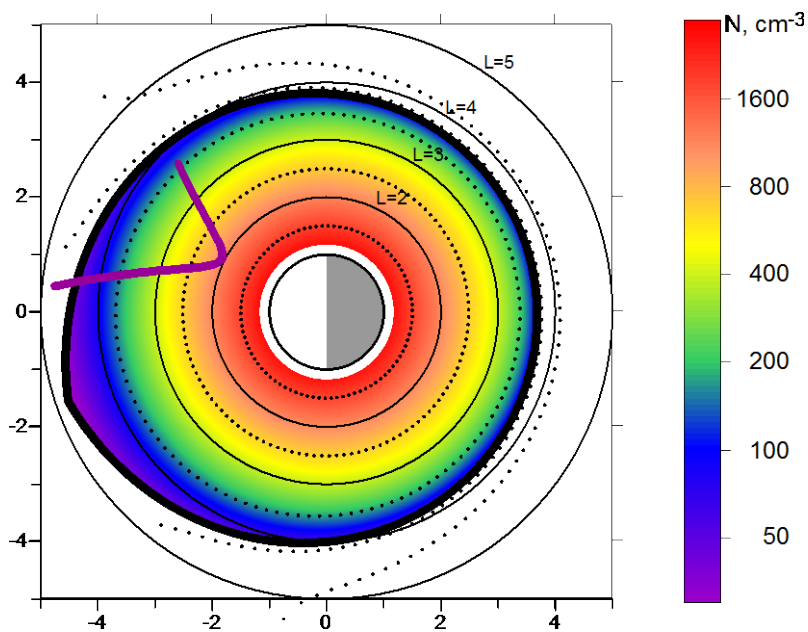


Рис. 1. Распределение плотности плазмосферной плазмы в плоскости геомагнитного экватора реконструированное по данным измерений вдоль орбиты (фиолетовая кривая) спутника ИНТЕРБОЛ-1 29 декабря 1995 г. Точками показаны линии конвекции плазмы. Сплошная толстая линия - плазмопауза, последняя замкнутая линия конвекции.

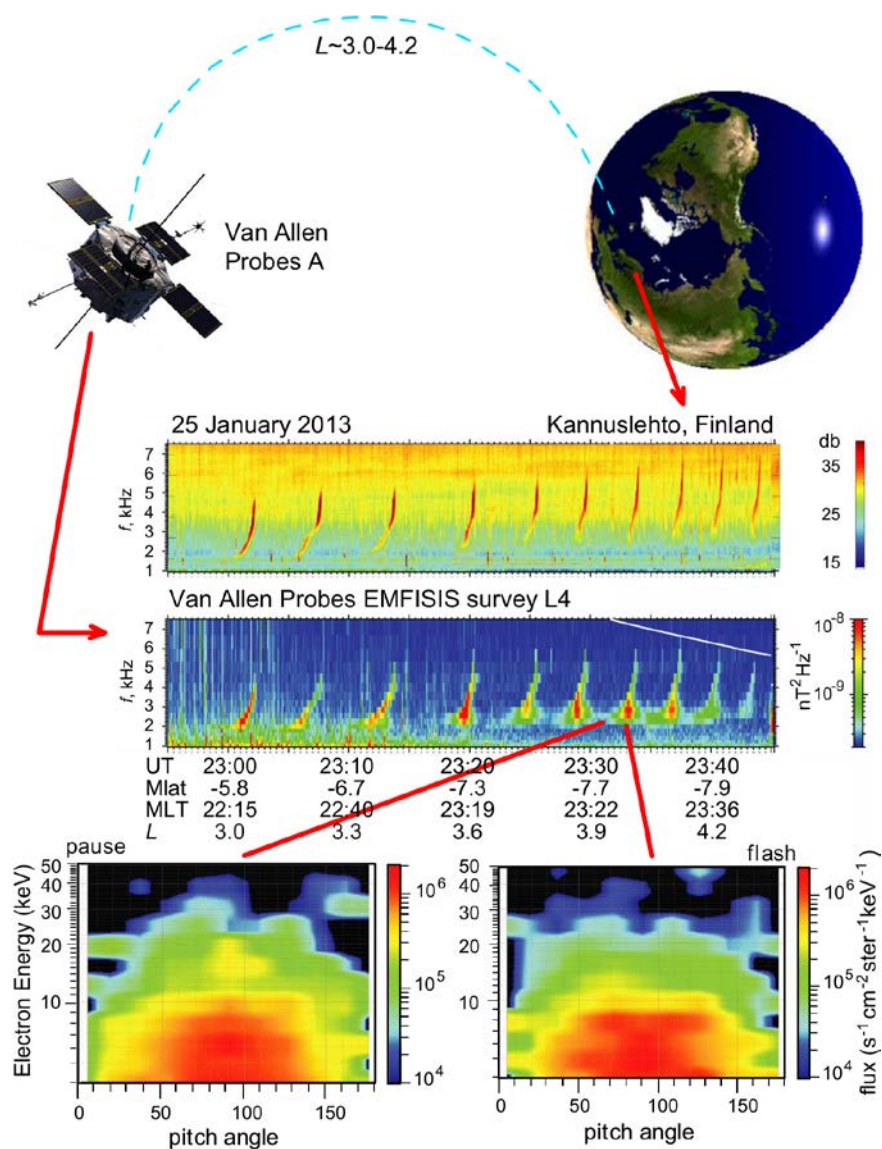
Публикации:

Kotova, G. A., M. I. Verigin, and V. V. Bezrukikh, Physics-based reconstruction of the 3-D density distribution in the entire quiet time plasmasphere from measurements along a single pass of an orbiter, *J. Geophys. Res.*, 120, 7512–7521, doi:10.1002/2015JA021281, 2015.

## 2. Пространственно-временной характер квазипериодических ОНЧ колебаний во внутренней магнитосфере

ПГИ совместно с ИПФ РАН, геофизической обс. Соданкюля, Финляндия, институтом физики атмосферы АН ЧР, университетом Айовы, США и Лос-Аломосской национальной лабораторией, США

Квазипериодические ОНЧ излучения впервые одновременно зарегистрированы в наземных данных (Kannuslehto, Финляндия) и на спутнике Van Allen Probes, пересекавшем вероятную область их генерации вблизи геомагнитного экватора. Установлено однозначное соответствие ОНЧ сигналов и их спектральных форм на земле и на спутнике, что доказывает временной характер квазипериодической модуляции. В вероятной области источника излучений спутником зарегистрированы синхронные с волнами вариации функции распределения электронов по скоростям, свидетельствующие о генерации ОНЧ сигналов в магнитосферном циклотронном мазере.



Публикации:

1. Titova, E. E., B. V. Kozelov, A. G. Demekhov, J. Manninen, O. Santolik, C. A. Kletzing, Reeves G. Identification of the source of quasiperiodic VLF emissions using ground-based and Van Allen Probes satellite observations, *Geophys. Res. Lett.*, 2015, 42, 6137-6145, doi:10.1002/2015GL064911.

#### IV. 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»)

### 1. Новое волновое явление в КНЧ диапазоне – Ионосферно-отраженные протонные свисты (Экспериментальное обнаружение и объяснение)

ИКИ РАН

Предсказано, обнаружено экспериментально и объяснено теоретически новое волновое явление в КНЧ диапазоне, наблюдаемое на низких широтах в верхней ионосфере – Ионосферно-отраженные протонные свисты, spectroграмма которых представлена на Рис. 1. Показано, что формирование ионосферно-отраженных протонных свистов связано со свойствами распространения ионно-циклотронных волн в плазме, содержащей несколько сортов ионов, при котором возможно отражение волн на межионном гибридном резонансе.

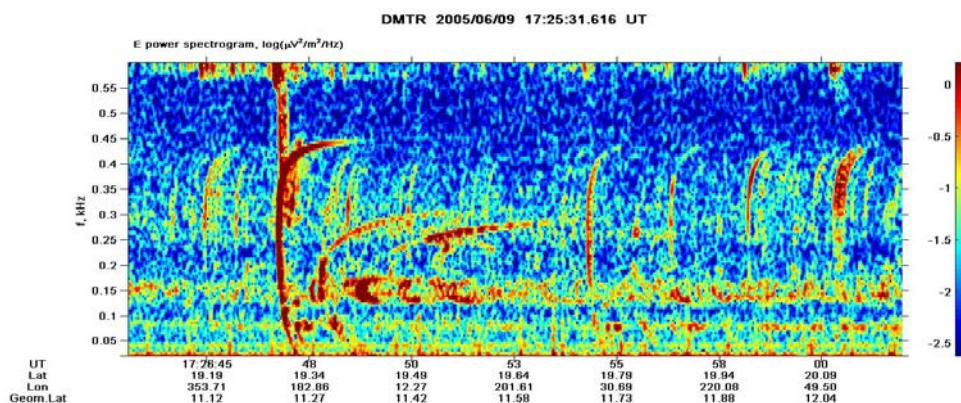


Рис. 1. Различные типы протонных свистов. Ионосферно-отраженный протонный свист – третий интенсивный след слева.

Публикации:

Vavilov, D. I., and D. R. Shklyar, Ionospherically reflected proton whistlers, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, doi:10.1002/2014JA020510, 2014.

### 2. Теоретическое и численное исследование динамики возмущения плазмы в верхней ионосфере и магнитосфере при воздействии на F-слой мощного ВЧ излучения.

ИЗМИРАН

Теоретически предсказан эффект перехода от совместного движения ионов в ионосфере вверх по силовой линии под действием ВЧ нагрева к отдельному движению легких и тяжелых ионов с различными скоростями в магнитосфере. Получено, что этот эффект в значительной степени связан с разной скоростью ионного звука для разных сортов ионов многокомпонентной ионосферной плазмы. Показано, что теоретические оценки

не противоречат результатам численного моделирования динамики ионосферной плазмы вдоль геомагнитного поля.

Публикация:

Borisov N., N. Ryabova, Yu. Ruzhin, Dynamics of plasma density perturbations in the upper ionosphere and the magnetosphere under the action of powerful HF radio waves, J. Atm. Solar-Terr. Phys., 134, 102-108, 2015.



## ***V. 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»)

### **1. Наблюдения бинаправленных лидеров**

ИПФ РАН, ФГУП ВЭИ

Впервые удалось пронаблюдать и зарегистрировать детальные ИК изображения бинаправленных лидеров - соединенных плазменным каналом и распространяющихся в противоположных направлениях положительного и отрицательного лидеров, которые самостоятельно рождаются в облаке положительно заряженного водного аэрозоля. Это открывает возможность лабораторного исследования внутриоблачных молний и начальных, внутриоблачных, этапов развития молниевых разрядов облако - земля с целью решения фундаментальной проблемы инициации молнии.

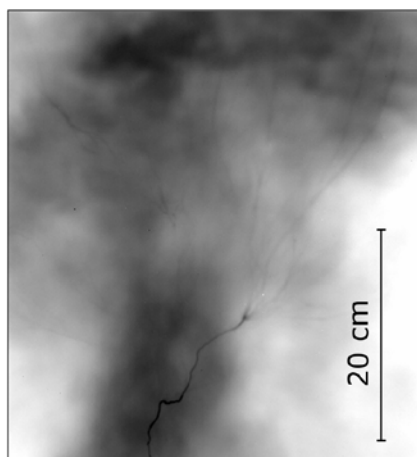


Рис. 1. Инфракрасное изображение, полученное с экспозицией 6.7 ms, на котором видна верхняя часть двунаправленного лидера, инициированного в положительно заряженном облаке. Виден один канал в плазме (отрицательный лидер, направленный вверх) переменной интенсивности, который соединяется с системой плазменных каналов, наблюдаемых в верхней правой части кадра.

Публикации:

1. Kostinskiy, A. Y., V.S. Syssoev, N.A. Bogatov, E.A. Mareev, M.G. Andreev, L.M. Makalsky, D.I. Sukharevsky, and V.A. Rakov, Infrared images of bidirectional leaders produced by the cloud of charged water droplets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, doi:10.1002/2015JD023827, 2015.
2. Kostinskiy, A. Y., V. S. Syssoev, N. A. Bogatov, E. A. Mareev, M. G. Andreev, L. M. Makalsky, D. I. Sukharevsky, and V. A. Rakov, Observation of a new class of electric discharges within artificial clouds of charged water droplets and its implication for lightning initiation within thunderclouds, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 8165–8171, doi:10.1002/2015GL065620, 2015.

## 2. Программный комплекс прогноза распространения КВ радиоволн

ИДГ РАН, ИСЗФ СО РАН

Разработан и развернут на сайте ИДГ РАН программный комплекс прогноза распространения КВ Радиоволн. Программы верифицированы в условиях спокойной и возмущенной ионосферы. Программные средства обеспечивают возможность расчета параметров выбранной радиотрассы, при различных комбинациях солнечной, геомагнитной и вспышечной активности.

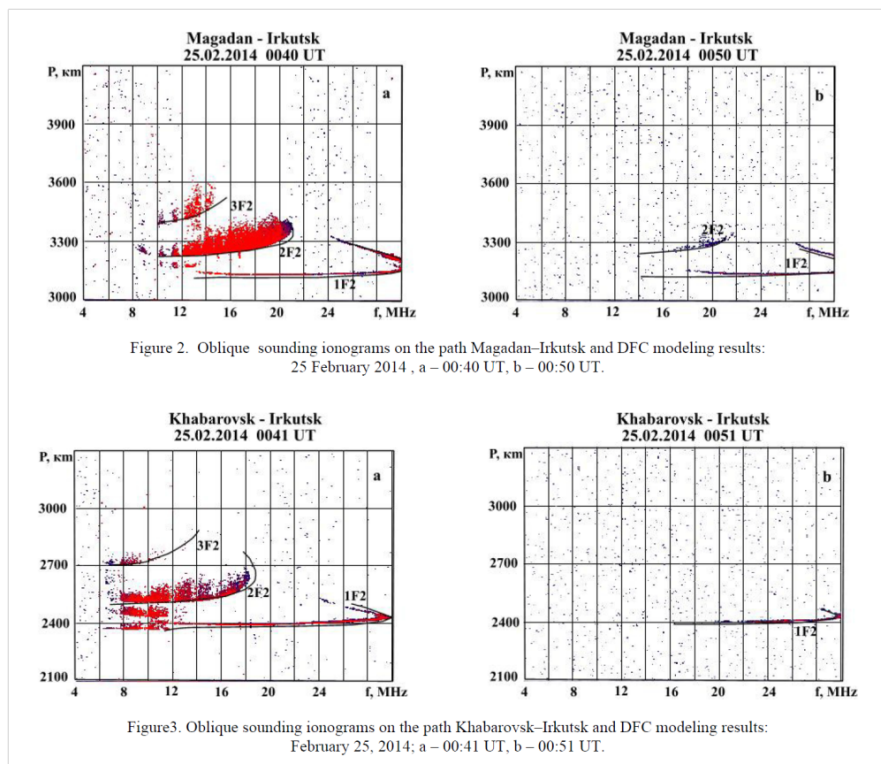


Рис.1 Ионограммы, полученные на трассах "Магадан-Иркутск" и "Хабаровск-Иркутск" (левая колонка) и построенные с использованием разработанных программ (правая колонка).

Публикации:

21 st International Symposium of Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, edited by G.G. Matvienko, O.A.Romanovskii, Proc. Of SPIE vol.9680, 96805F© SPIE CCC code: 02777-786X/15/\$18 doi:10.1117/12.2203591.

## VI. 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»)

### 1. Вариации ультрафиолетовой радиации Солнца в цикле его активности: Численное моделирование отклика температуры атмосферы Земли

ЦАО Росгидромет

С помощью модели общей циркуляции ЦАО ARM (Atmospheric Research Model) получен отклик температуры и ветра на вариации УФ радиации Солнца в цикле его активности. При реализации численного сценария были использованы спутниковые наблюдения УФ радиации Солнца. На нижней границе модели была заложена климатология (с учетом сезонного хода) планетарных атмосферных волн. Было показано, что отклик температуры на солнечный цикл в УФ радиации, в присутствии атмосферных планетарных волн, имеет существенно неzonальный характер, характеризуясь чередованием областей нагрева и охлаждения (Рис. 1). Результат демонстрирует новый механизм солнечно-атмосферных связей.

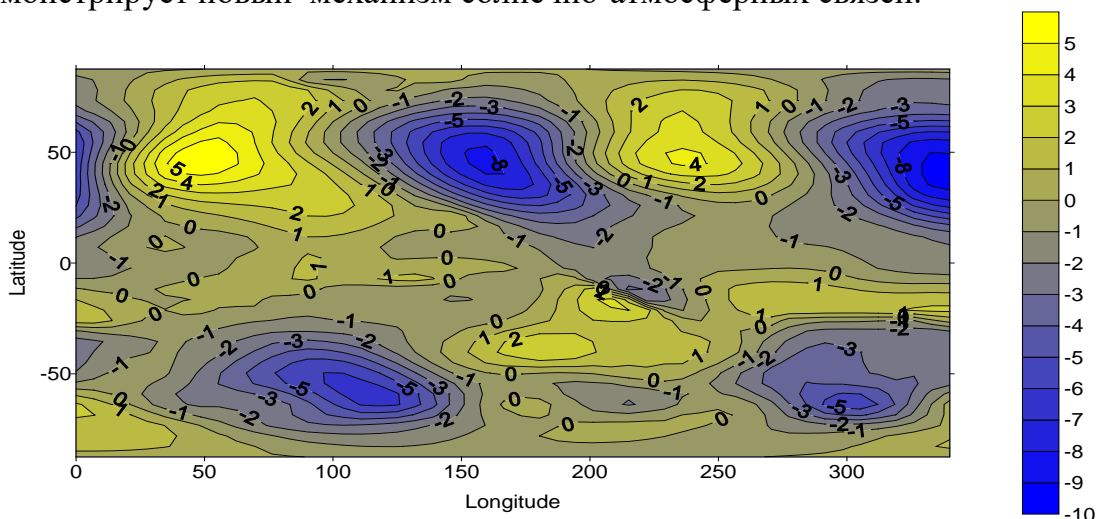


Рис. 1 Модельный отклик температуры на высоте 5 км для июля на изменения потока УФ радиации Солнца в цикле его активности.

Публикации:

1. Krivolutsky A.A., Cherepanova L.A., Dement'eva A.V, Solar cycle influence on troposphere and middle atmosphere via ozone layer in the presence of planetary waves: Simulation with ARM, J. Geophys. Res. Space Physics, 120, doi:10.1002/2015JA021363, 2015.
2. Криволюцкий А.А., Черепанова Л.А., Вьюшкова Т.Ю., Репнев А.И., Ключникова А.В., Глобальная циркуляция атмосферы Земли на высотах 0-135 км, рассчитанная с помощью модели ARM. Учет вклада солнечной активности, Геомагнетизм и аэрономия, 55, №6, 2015.

## 2. Солнечная активность, космические лучи и реконструкции температуры Земли за последние два тысячелетия

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

Проведен анализ закономерностей долговременных изменений глобальных температур за последние два тысячелетия. Анализ показывает, что проявление экстремумов изменения глобальной температуры в первом и втором тысячелетии соответствует долговременным повышениям и понижениям солнечной активности. Проведенный анализ реконструкций температуры различными методами, включая геотермальный, свидетельствует о том, что наблюдаемое изменение климата в последние два тысячелетия хорошо согласуется с данными по изменению концентрации космогенных изотопов  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$ , модулируемых меняющейся во времени солнечной активностью.

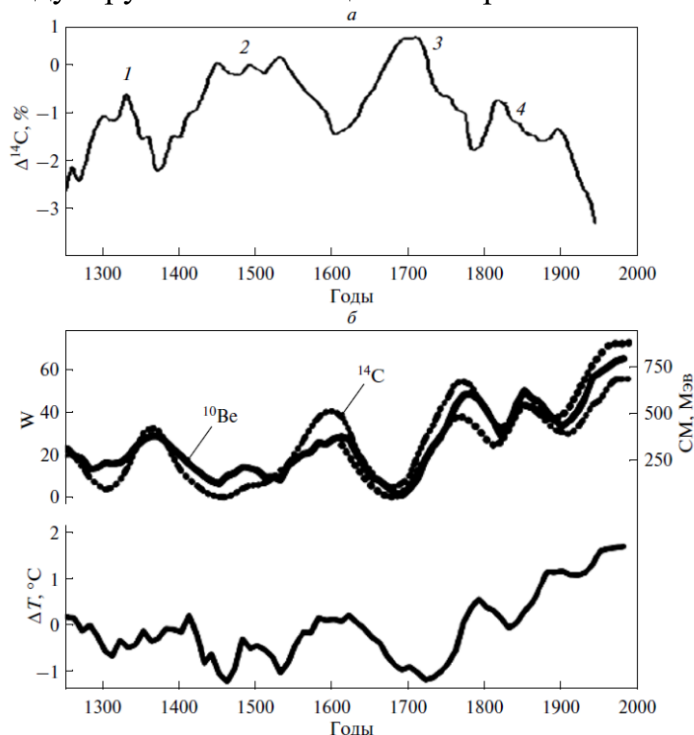


Рис.1 а – Экстремальные изменения СА и концентрации радиоуглерода ( $\Delta^{14}\text{C}$ ) в образцах дендрохронологически датированных колец деревьев в течение прошедшего тысячелетия [Stuiver and Quay, 1980]; Минимумы СА: 1 – Вольфа, 2 – Шпёрера, 3 – Маундера, 4 – Дальтона; б – сравнение реконструированной температуры по данным О-18 в континентальной части Сибири (Алтайский регион, ледник Белуха) с изменением числа солнечных пятен (1610–2000 гг.) – точечная кривая и изменением солнечной модуляции (СМ, Мэв), вытекающей из данных  $^{14}\text{C}$  – штрих-пунктирная кривая и  $^{10}\text{Be}$  – сплошная кривая [Muscheler et al., 2007].

Публикации:

В.А. Дергачев, Солнечная активность, космические лучи и реконструкции температуры Земли за последние два тысячелетия. Часть 2. Анализ связи изменений глобальных температур с естественными процессами, Геомagnetизм и аэрономия, том 556, №2, с. 1417-160, 2015.

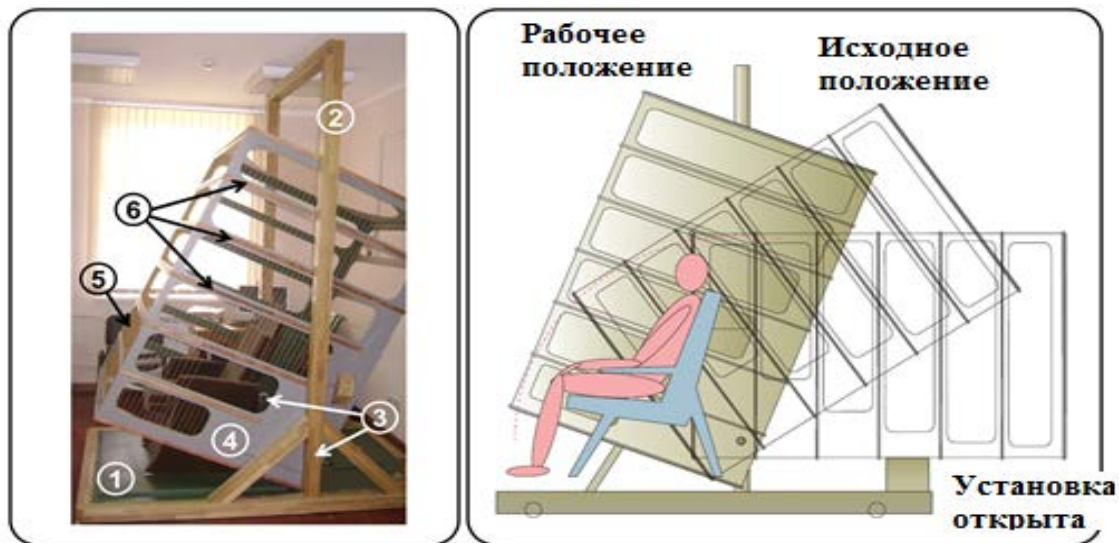
## VII. ГЕЛИОБИОФИЗИКА

(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. Влияние нулевого магнитного поля на сердечнососудистую систему и микроциркуляцию

НКЦ РЖД, ИКИ РАН, ИОФАН

Воздействие слабого («нулевого») магнитного поля, идентичного с межпланетным и существующим на поверхности Марса и Луны, на сердечно-сосудистую систему исследовалось с помощью установки АРФА. Физиологические характеристики мониторировались дважды по одному часу – при экспозиции в «нулевом» поле и в естественных условиях, без информирования испытуемых. АРФА обеспечивала на протяжении нескольких часов «нулевое» поле ( $<10\text{нТл}$ ). Результат: «нулевое» поле существенно уменьшает частоту сердечных сокращений и диастолическое давление, увеличивает скорость капиллярного кровотока и продолжительность кардиоинтервалов, что необходимо учитывать при длительных межпланетных и околопланетных экспедициях.



**Рис.1.** Установка АРФА: 1 – подвижная платформа с немагнитным креслом внутри камеры; 2 – поддерживающие стойки; 3 – ось для вращения камеры; 4 – камера; 5 – электростатические экраны из проволочной сетки; 6 – катушки соленоида под изоляционными плитами (7 штук)

Публикации:

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, doi: 10.1016/j.lssr.2015.11.001, 2015.