

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2012 Г.

Результаты, рекомендуемые Советом «Солнце-Земля» для включения в годовой отчет РАН

Результаты в разделах ранжированы по важности.

I. ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ

1. Динамика нагрева плазмы и ускорения частиц во вспышках

А.Т. Алтынцев, Л.К. Кашапова (ИСЗФ СО РАН), Г.Д. Флейшман(ФТИ им Иоффе), В.Г. Курт (НИИЯФ МГУ), altyntsev@iszf.irk.ru

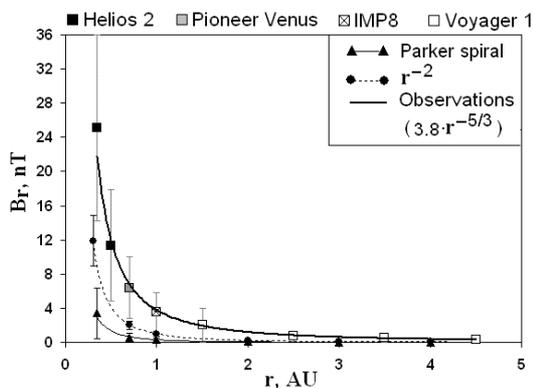
Из анализа рентгеновского, гамма и микроволнового излучения активных областей следует, что появлению мощной вспышки предшествует разогрев активной области до $\geq 10^7$ К. После этого происходит взрывное ускорение электронов. Ускорение протонов до релятивистских энергий идет одновременно и определяется по гамма-излучению от распада пионов. Полная энергия ускоренных протонов сопоставима с энергией ускоренных электронов. Это противоречит моделям ускорения протонов на второй стадии ударными волнами.

1. *Altyntsev A.A., Fleishman G.D., Lesovoi S.V., Meshalkina N.S., Thermal to Nonthermal Energy Partition at the Early Rise Phase of Solar Flares, Astrophysical Journal, 758, 138, 2012.*
2. *Kashapova L.K., Meshalkina N.S., Kisil M.S., Detection of acceleration processes during the initial phase of the 12 June 2010 flare, Solar Physics, 280(2), 525-535, 2012.*
3. *Курт В.Г., Юшков Б.Ю., Кудела К., Галкин В.И., Высокоэнергичное гамма-излучение солнечных вспышек как индикатор ускорения протонов высоких энергий, Космические исследования, 48 (1), 72-80, 2010.*

2. Зависимость межпланетного магнитного поля от гелиоцентрического расстояния

О.Хабарова, В.Н. Обридко (ИЗМИРАН), habarova@izmiran.ru, obridko@izmiran.ru

Показано существенное несоответствие между известной классической моделью Паркера и результатами измерений модуля и радиальной компоненты B_r межпланетного магнитного поля солнечного ветра. Согласно проведенному анализу данных космических аппаратов Helios 2, IMP8, Pioneer Venus Orbiter, и Voyager1, покрывших расстояние от 0.29 до 5.0 а.е за период с 1976 по 1979, в гелиосфере не сохраняется величина $B_r \times r^2$. Наблюдения показывают, что величина B_r убывает с расстоянием как $r^{-5/3}$, а не как r^{-2} . При этом поведение тангенциальной компоненты соответствует ожидаемому (r^{-1}). Разница наблюдаемых значений с вычислениями по модели Паркера, тем более существенна, чем меньше расстояние от Солнца. На ближних расстояниях разница может быть в несколько раз, а после 5 а.е. она уже незначительна. Данная картина может говорить о гораздо меньшей степени вмороженности магнитного поля в плазму солнечного ветра, чем принято использовать в теоретических расчетах согласно моделям магнитной гидродинамики.



Сравнение значений модуля радиальной компоненты межпланетного магнитного поля, измеренного на разных расстояниях от Солнца (квадраты), с результатами вычислений по модели Паркера с учетом времени распространения плазмы вдоль спирали (треугольники) и с вычислениями по радиальной модели без учета

1. *Khabarova Olga, Obridko Vladimir, Puzzles of the Interplanetary Magnetic Field in the Inner Heliosphere, 2012, Astrophysical Journal, 761, 2, 82, doi:10.1088/0004-637X/761/2/82, <http://arxiv.org/pdf/1204.6672v2.pdf>.*

3. Длительные изменения магнитных полей крупных и мелких пятен и проблема солнечного динамо

Ю.А. Наговицын (ГАО РАН), В.Н. Обридко (ИЗМИРАН), nag@gao.spb.ru

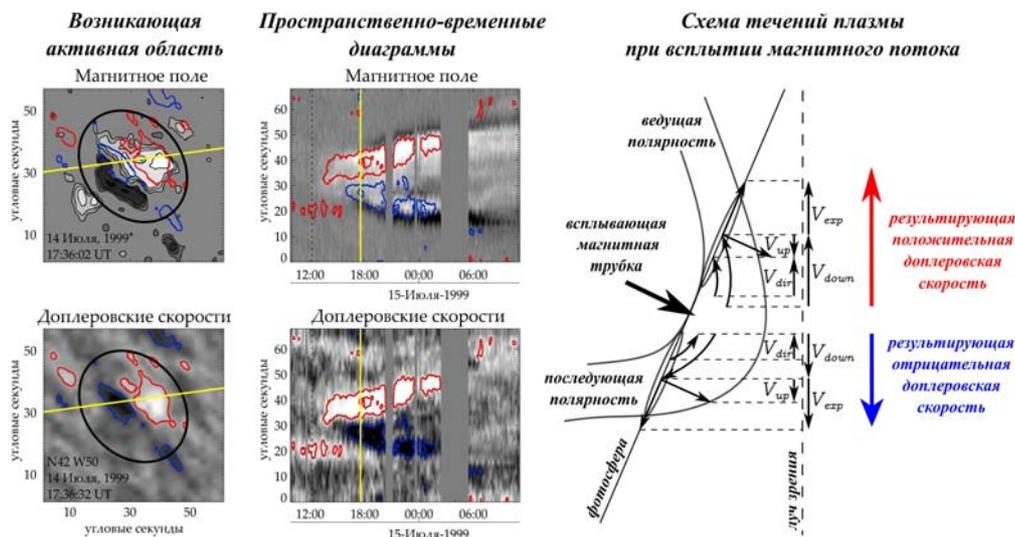
Показано, что средние магнитные поля крупных пятен демонстрируют циклические изменения, а мелких имеют тенденцию к более длительным вариациям. Это позволяет интерпретировать т.н. «эффект Ливингстона-Пенна» длительного уменьшения средних напряженностей магнитных полей пятен в последние 15 лет как феномен увеличения относительной доли мелких пятен в активности. Это обстоятельство с одной стороны свидетельствует о возможном наступлении в ближайшее десятилетие глубокого минимума солнечной активности, а с другой – о действии на Солнце двух динамо-механизмов, отвечающих за формирование крупных и мелких пятен, соответственно.

1. *Nagovitsyn, Yu.A.; Pevtsov, A.A.; Livingston, W.C., On a Possible Explanation of the Long-term Decrease in Sunspot Field Strength, Astrophys. J. Lett., 758: L20, 2012.*
2. *Obridko, V.N.; Nagovitsyn, Yu.A.; Georgieva, K., The Unusual Sunspot Minimum: Challenge to the Solar Dynamo Theory. In: The Sun: New Challenges; Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer V. 30, p.1, 2012.*

4. Структура горизонтальных течений плазмы при образовании активных областей

А.И. Хлыстова (ИСЗФ СО РАН), hlystova@iszf.irk.ru

Исследована структура горизонтальных течений плазмы при образовании 54 активных областей в фотосфере Солнца. В первые часы выхода магнитного потока на поверхности Солнца наблюдаются обширные области доплеровских скоростей разного знака. Установлено, что основной вклад в наблюдаемые скоростные структуры дает стекание выносимой в атмосферу Солнца плазмы, которое в начале выхода магнитного потока имеет значительную горизонтальную компоненту. Обнаружена асимметрия между скоростными структурами ведущей и последующей полярностей, которая проявляется в значениях доплеровских скоростей, времени жизни и размерах скоростных структур.



Горизонтальные течения плазмы в активной области, возникающей на краю солнечного диска. Синяя изолиния соответствует -500 м/с — отрицательный доплеровский сдвиг, красная изолиния соответствует $+500$ м/с — положительный доплеровский сдвиг. Желтой линией отмечено положение разреза пространственно-временных диаграмм. Обозначения на схеме: V_{up} — скорость подъема магнитного потока, V_{down} — скорость стекания плазмы, выносимой в атмосферу Солнца всплывающим магнитным потоком, V_{exp} — скорость горизонтального расширения магнитного потока, V_{dir} — скорость направленных течений плазмы внутри всплывающей магнитной структуры.

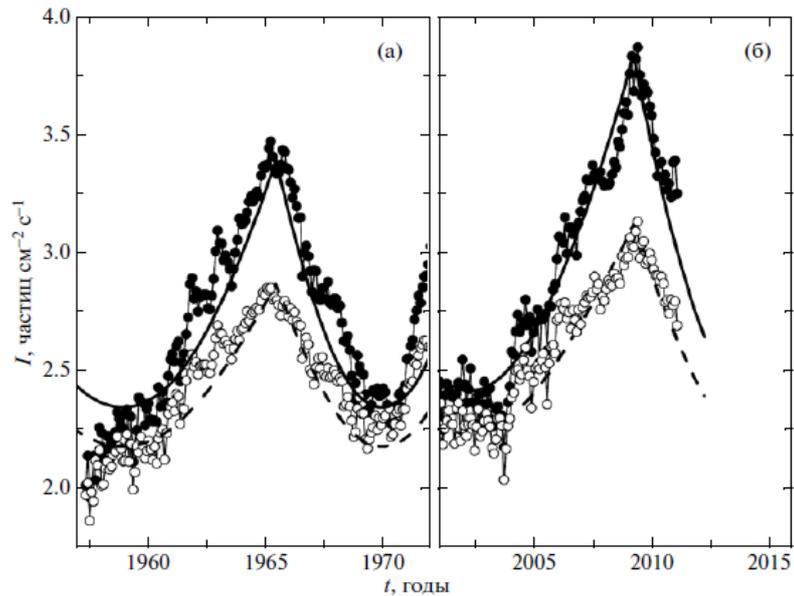
1. Khlystova A.I., *Center-limb dependence of photospheric velocities in regions of emerging magnetic fields on the Sun*, *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 528, A7, 2011.
2. Khlystova A.I., *The Horizontal Component of Photospheric Plasma Flows During the Emergence of Active Regions on the Sun*, *Solar Physics*, DOI: 10.1007/s11207-012-0181-8, 2012.
3. Khlystova A.I., *The Relationship between Plasma Flow Doppler Velocities and Magnetic Field Parameters During the Emergence of Active Regions at the Solar Photospheric Level*, *Solar Physics*, DOI: 10.1007/s11207-012-0193-4, 2012.

II. ФИЗИКА МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

5. Моделирование динамических процессов в гелиосфере

Г.Ф. Крымский (ИКФИА СО РАН) krymsky@ikfia.ysn.ru

Разработанная ранее базовая модель модуляции галактических космических лучей обобщена на область частиц более низких энергий. Установлено, что anomальное поведение интенсивности галактических космических лучей в 23-м цикле солнечной активности объясняется низкой степенью нерегулярности межпланетного магнитного поля. Сравнение теории с результатами многолетних наблюдений космических лучей в стратосфере показывает удовлетворительное согласие



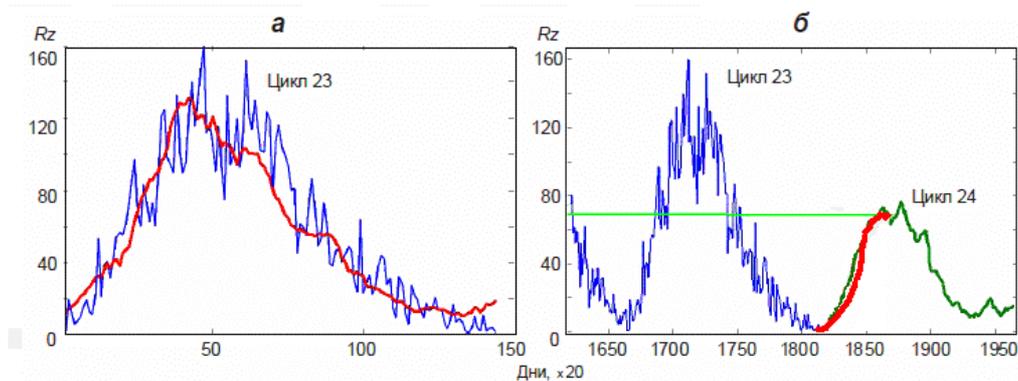
Зависимость от времени долговременных вариаций потока космических лучей по данным стратосферных измерений на станциях Мурманск (геомагнитный порог обрезания $R_c = 0.6$ ГВ, сплошные кружки) и Москва ($R_c = 2.4$ ГВ, открытые кружки) для 21-го (а) и 23-го (б) солнечных циклов. Показаны ожидаемые вариации на станциях Мурманск (сплошная кривая) и Москва (штриховая кривая) при $k_0 = 5$ для 21-го цикла и $k_0 = 15$ для 23-го цикла, где k_0 - свободный параметр модели, определяющий степень регулярности межпланетного магнитного поля.

1. Крымский Г.Ф., Кривошапкин П.А., Герасимова С.К., Гололобов П.Ю. Анизотропия и плотность космических лучей в окрестности нейтральной поверхности межпланетного магнитного поля // Письма в АЖ, Т.38, С.677-680, 2012.
2. Крымский Г.Ф., Кривошапкин П.А., Герасимова С.К., Гололобов П.Ю., Григорьев В.Г., Стародубцев С.А. Гелиосферная модуляция космических лучей в 19-23 циклах солнечной активности // Письма в АЖ, Т.38, С.681-684, 2012

6. Моделирование 23 и прогноз 24 цикла солнечной активности

Т.К. Бреус, В.А. Ожередов (ИКИ РАН), В.Н. Обридко (ИЗМИРАН), obridko@izmiran.ru

Заблаговременно по аномалиям крупномасштабного поля было предсказано наступление невысокого цикла солнечной активности (СА) или группы циклов. Затем по данным о числах солнечных пятен без дополнительных предположений осуществлялось нелинейное ретроспективное предсказание (моделирование) 23 цикла и прогнозирование 24 цикла солнечной активности с помощью специально сконструированной нейронной сети. При обучении этой сети осуществляется неитеративная оптимизация весов, что исключает попадание в случайный локальный минимум. Исходя из хорошего описания 23 цикла, был сделан прогноз 24 цикла. Предсказанный максимум 24 цикла имеет амплитуду 70 и начинается в апреле 2012 г. Реальные значения чисел Вольфа в максимуме составляют 66.9, и он соответствует февралю-марту 2012 г.



а) Модельный прогноз 23-го цикла СА (красная кривая – прогноз, синяя - реальность)
 б) Прогнозирование 24-го цикла СА (синяя кривая – фрагмент обучающей выборки, зеленая – прогноз, красная – реальные данные, сглаженные полугодовым окном)

1. В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг, *Некоторые аномалии эволюции глобальных и крупномасштабных магнитных полей на Солнце как предвестники нескольких предстоящих невысоких циклов, Письма в астрономический журнал, 2009, том 35, №3, с. 38–44.*
2. В.А. Ожередов, Т.К. Бреус В.Н. Обридко, *Сингулярный спектральный анализ в солнечно-земной физике. Fundamental Space Research 2009, Compt. rend. Acad. bulg. Sci ed. Dimitar Danov, pp. 184-188.*
3. V.A. Ozheredov, T.K. Breus, V.N. Obridko, *Forecast of the total solar activity cycle 24 by several autoregressive methods and by the precursor method Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol.48 (7), 711-723, 2012.*

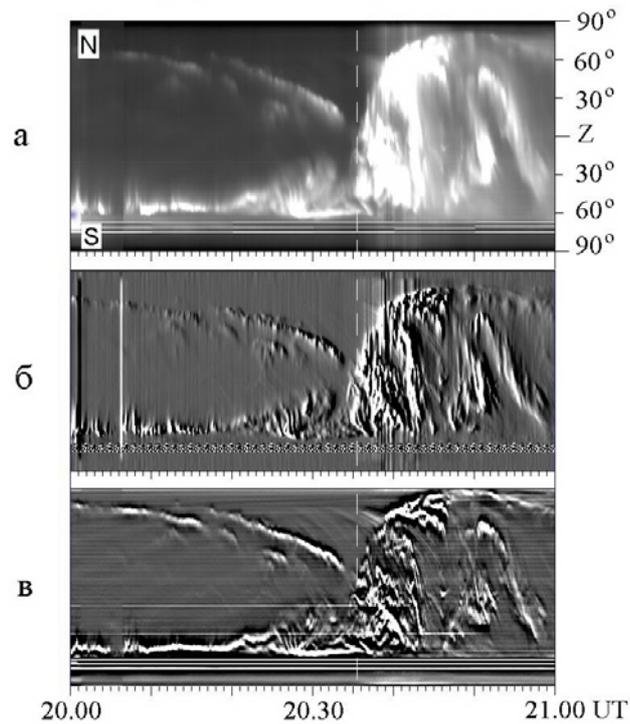
III. ФИЗИКА МАГНИТОСФЕРЫ

7. Обнаружение встречных движений дуг полярных сияний как проявление независимости процессов накопления и сброса свободной энергии в хвосте магнитосферы

Т.А. Корнилова, И.А. Корнилов (ПГИ КНЦ РАН), kornilova@pgia.ru

По данным телевизионных наблюдений в авроральной зоне исследована динамика полярных сияний в ходе геомагнитной суббури. Обнаружено принципиально новое явление: дрейфующая к экватору спокойная дуга сияний, связанная с накоплением энергии в хвосте магнитосферы перед суббурей, может проникать внутрь распространяющейся к полюсу зоны мощных дискретных сияний, возникающей во время взрывной фазы суббури. Приходящая с севера дуга продолжает дрейфовать к экватору и может активизировать новые интенсификации. Наличие такого эффекта означает, что свечения на разных фазах суббури имеют различные источники в хвосте магнитосферы и процессы накопления энергии в хвосте развиваются в значительной мере независимо от процессов сброса энергии.

Ловозеро, 03.01.2003 г., 20.00-21.00 UT

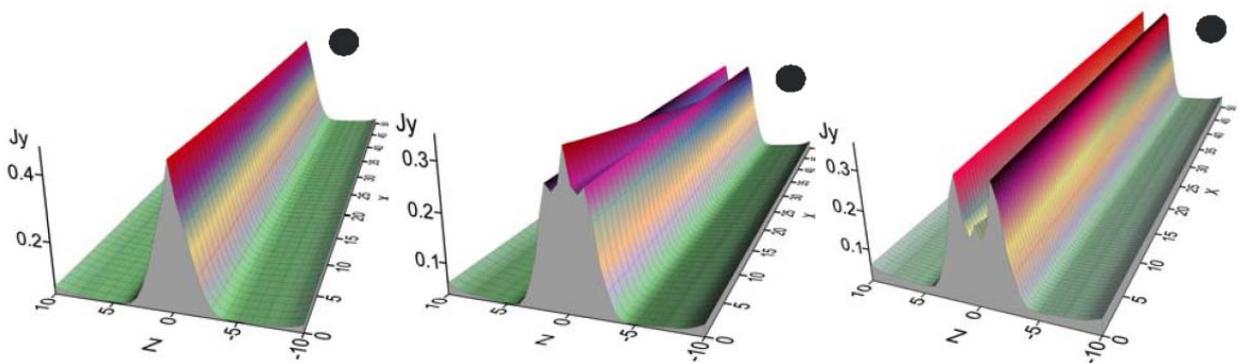


1. Kornilova T.A. and Kornilov I.A. Counterstreaming auroral structures during substorm expansion // *J. Geophys. Res.* V. 117. A05328. 6 PP. 2012 doi:10.1029/2011JA017309

8. Новая модель многомасштабного токового слоя хвоста магнитосферы Земли с учетом радиальной неоднородности магнитного поля

Л.М. Зеленый, Х.В. Малова, В.Ю. Попов, А.А. Петрукович (ИКИ РАН), hmalova@yandex.ru

Построена новая аналитическая гибридная модель тонкого (толщиной порядка ионного гирорадиуса) токового слоя в хвосте магнитосферы Земли, в которой учтена роль продольной неоднородности нормального компонента магнитного поля B_z . Показано, что токовый слой представляет собой вложенную конфигурацию, структура которой определяется нелинейной динамикой разных плазменных популяций: так, пролетные ионы поддерживают почти одномерную структуру тока, захваченные – способствуют бифуркации профиля плотности тока, электроны создают узкий интенсивный ток малой толщины. Захваченные протоны концентрируются на ближнем к Земле крае токового слоя, электроны доминируют на дальнем крае токового слоя.



1. Zelenyi L.M., H.V. Malova, V.Yu. Popov, D.C. Delcourt, A.A. Petrukovich, Radial evolution of thin current sheets in the Earth's magnetotail, подготовлена для *J. Geophys. Res.*, 2013.

2. Зеленый Л.М. , В.Ю. Попов и Х.В. Малова, О влиянии продольной неоднородности магнитного поля на структуру тонких токовых слоев в космической плазме, Ученые Записки Физического факультета МГУ, №1, с. 120104-1 - 120104-8, 2012.

9. Влияние транзитных атмосферных процессов на распространение магнитосферных волн и состояние радиационных поясов

В.А. Пилипенко, П.А. Беспалов (ИКИ РАН, ИФЗ РАН, МИФИ, ИПФ РАН, НГТУ), pilipenko_va@mail.ru

Грозовые разряды и инфразвуковые волны в атмосфере модифицируют ионосферу и тем самым изменяют граничные условия (условия отражения) магнитосферных и ионосферных волн. Даже малая модуляция может существенно изменить характеристики альвеновского и ОНЧ резонатора, что приводит к возбуждению связанной системы волноводных и резонаторных колебаний, и существенной модификации состояния радиационных поясов. Предложено теоретическое обоснование, проведены численные расчеты и наблюдения.

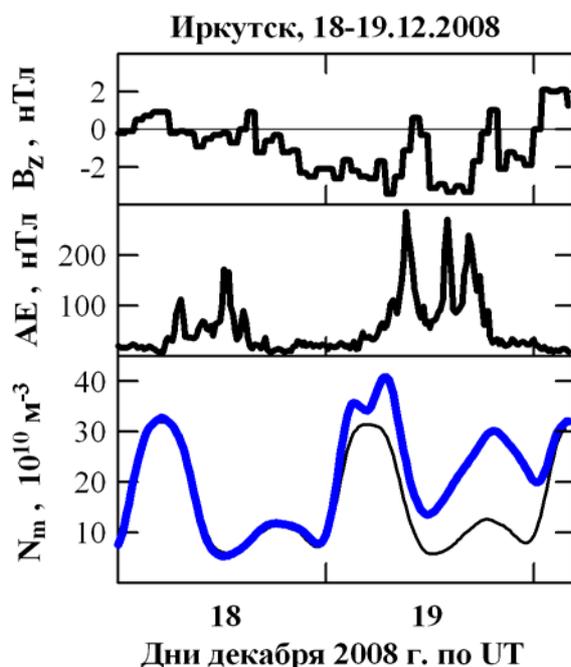
1. Pilipenko V.A., *Impulsive coupling between the atmosphere and ionosphere/magnetosphere, Space Science Reviews*, 168, N1, 533-550, 2012.
2. Plyasov A.A., V.V. Surkov, V.A. Pilipenko, E.N. Fedorov, V.N. Ignatov, *Spatial structure of the electromagnetic field inside the ionospheric Alfvén resonator excited by atmospheric lightning activity, J. Geophys. Res.*, 117, A09306, doi:10.1029/2012JA017577, 2012.
3. Беспалов П.А., Савина О.Н.. *Possibility of magnetospheric VLF response to atmospheric infrasonic waves // Earth Planets Space. 2012. V. 64. No. 6. P. 451-458. doi:10.5047/eps.2011.05.024.*

IV. ФИЗИКА ИОНОСФЕРЫ

10. Экстремальное увеличение концентрации максимума F2-слоя

М.Г. Деминов, Г.Ф. Деминова (ИЗМИРАН), Г.А. Жеребцов, Н.М. Полех (ИСЗФ СО РАН), deminov@izmiran.ru

На основе анализа данных ст. Иркутск установлено, что самое сильное (почти за всю историю работы этой станции) увеличение концентрации максимума F2-слоя Nm в ночные часы зимой произошло не в период бури, а при низкой солнечной и геомагнитной активности, когда значение Ap-индекса не превышало 5 нТл и наблюдались только слабые суббури. Такое экстремальное увеличение Nm (до трех раз относительно фона), по-видимому, обусловлено наложением эффектов в ионосфере из-за планетарных волн и приливов в атмосфере на эффекты из-за изменения знака межпланетного магнитного поля.

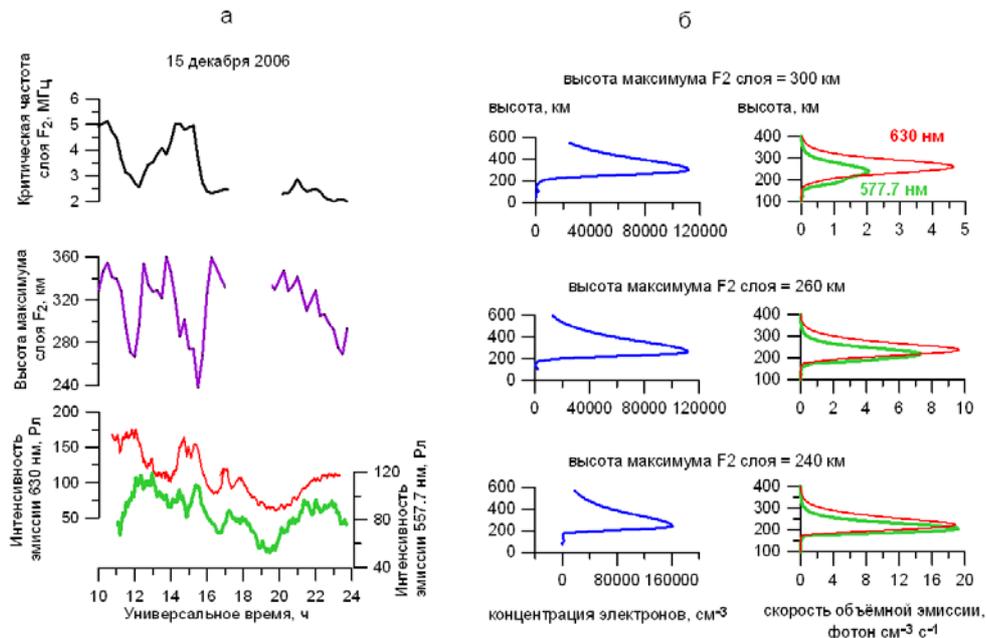


1. М.Г. Деминов, Г.Ф. Деминова, Г.А. Жеребцов, О.М. Пирог, Н.М. Полех, *Изменчивость параметров максимума F2-слоя спокойной среднеширотной ионосферы при низкой солнечной активности: 2. Сильные флуктуации критической частоты*, // *Геомагнетизм и аэронавигация*, 2011, 51(№ 3), 360-367.
2. М.Г. Деминов, Г.Ф. Деминова, Г.А. Жеребцов, О.М. Пирог, Н.М. Полех, *Очень сильные увеличения электронной концентрации в максимуме F2-слоя зимней ночной ионосферы над Иркутском*, // *Солнечно-земная физика*, 2011, вып. 19, 116-119.
3. M.G. Deminov, G.F. Deminova, G.A. Zhrebtsov, N.M. Polekh, *Statistical properties of variability of the quiet ionosphere F2-layer maximum parameters over Irkutsk under low solar activity*, // *J. Adv. Space Res.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.09.037>, 2012.

11. Резкое возрастание эмиссии атомарного кислорода в периоды геомагнитных бурь

Л.А. Леонович, А.В. Михалев, В.А. Леонович, (ИСЗФ СО РАН), lal@iszf.irk.ru

По многолетним наблюдениям в ГФО ИСЗФ СО РАН выявлено резкое возрастание эмиссии [OI] 557.7 нм для периодов геомагнитных бурь, которое происходит при понижении максимума ионосферного слоя F2 до высот 240 – 270 км. Проведенное численное моделирование показало, что наиболее вероятным механизмом возбуждения возмущений этих эмиссий может быть реакция диссоциативной рекомбинации на высотах F-области ионосферы.



Вариации интенсивности эмиссий 557.7 нм (зеленые линии) и 630 нм (красные линии) во время понижения высоты максимума ионосферного слоя F2 во время магнитной бури 15.12.2006 г (а). Результаты моделирования высотных профилей электронной концентрации и соответствующих им высотных профилей скоростей объемных эмиссий [OI] 630 нм и [OI] 577.7 нм (б).

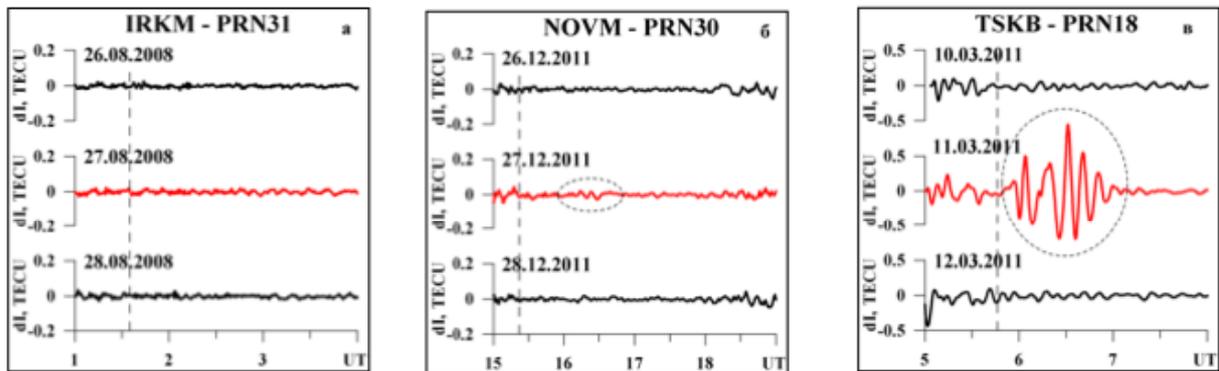
1. L.A. Leonovich, A.V. Mikhalev, V.A. Leonovich. Covariations in atomic oxygen emissions and ionospheric total electron content during geomagnetic storms // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 80(5), 247–251, 2012.
2. Л.А. Леонович, А.В. Михалев, А.В. Тацилин, Р.А. Рахматуллин, В.А. Леонович, А.Ю. Пашинин. Отклик параметров среднеширотной верхней атмосферы на геомагнитную бурю 21 января 2005 г по данным оптических, магнитных и радиофизических измерений // *Оптика атмосферы и океана*, Т. 26, № 1, 2013 (в печати).

VI. ФИЗИКА ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

12. Влияние магнитуды землетрясения на полное электронное содержание ионосферы

Г.А. Жеребцов, Н.П. Первалова (ИСЗФ СО РАН), pereval@iszf.irk.ru

Экспериментально исследованы ионосферно-атмосферно-литосферные процессы в сейсмически активной Байкальской рифтовой зоне. Установлено, что после землетрясений с магнитудами $M_w \leq 6.5$ волновые возмущения в вариациях полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы не наблюдаются. Отклики на землетрясения с $6.5 \leq M_w \leq 7.0$ регистрируются на отдельных лучах "приемник-спутник", имеют небольшую амплитуду и их трудно выделять на уровне фоновых колебаний. Возмущения ПЭС, вызванные сильными землетрясениями с магнитудами $7.0 \leq M_w \leq 9.0$, в целом, регистрируются уверенно, что позволяет определять их характеристики и рассчитывать параметры движения. Таким образом, величину $M_w = 6.5$ можно считать пороговым значением магнитуды, ниже которого заметных волновых возмущений ПЭС, вызванных землетрясением, не наблюдается.



Вариации ПЭС для землетрясении различной интенсивности:

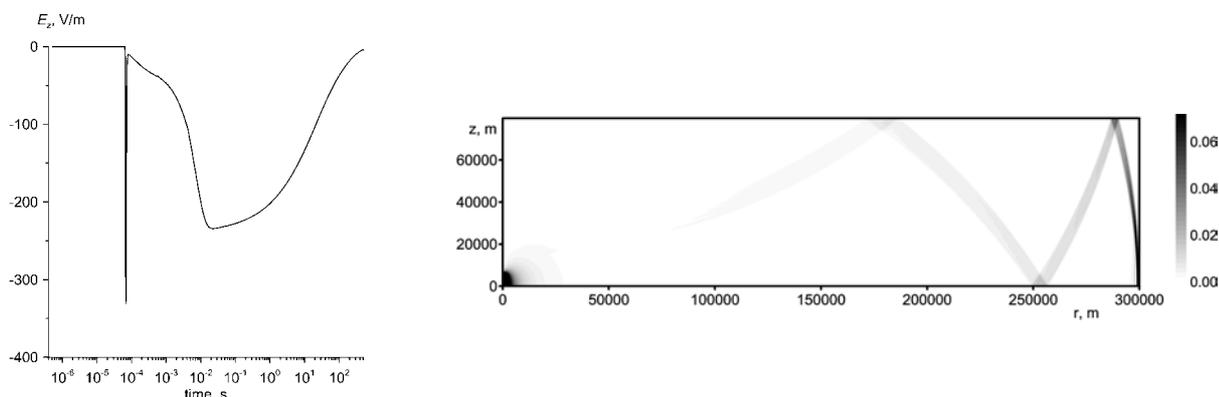
(а) 27.08.2008 на Байкале с $M_w=6.3$, (станция IRKM, спутник GPS PRN31); (б) 27.12.2011 в Туве с $M_w=6.7$ (станция NOVМ, спутник PRN30); (в) 11.03.2011 в Японии с $M_w=9.0$ (станция TSKB, спутник PRN18). На рисунке показаны вариации ПЭС в день землетрясения и в контрольные дни.

1. Сейсмоионосферные и сейсмоэлектромагнитные процессы в Байкальской рифтовой зоне / Э.Л. Афраймович [и др.] ; отв. ред. Г. А. Жеребцов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т солнечно-земной физики, Ин-т земной коры, Ин-т физического материаловедения. —Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. — 304 с. — (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 35).
2. Первалова Н.П., Жупитяева А.С., Воеииков С.В., Астафьева Э.И., Саньков В.А. Отклик ионосферы на Тувинские землетрясения 27 декабря 2011 г. и 26 февраля 2012 г. // Солнечно-земная физика, 2012. (в печати).

13. Модель электромагнитного отклика атмосферы на грозовой разряд

Давыденко С.С., Мареев Е.А., Сергеев А.С. (ИПФ РАН), mareev@appl.sci.nnov.ru

Разработана модель электромагнитного отклика атмосферы на разряд молнии в проводящей атмосфере, описывающая как стадию возвратного удара, так и релаксацию возмущения пространственного заряда после стадии непрерывного тока. Анализ компонент решения (электромагнитного импульса и последующего всплеска квазистатического поля) позволяет определить основные параметры разряда, осуществлять оперативный мониторинг грозовой активности и оценивать вклад разрядов различного типа в глобальную электрическую цепь.



Приземное электрическое поле на расстоянии 20 км от разряда облако-земля (слева) и электромагнитный импульс разряда облако-земля (справа).

1. Davydenko, S.S., E.A. Mareev, and A.S. Sergeev, *Electromagnetic Response of the Atmosphere on a Lightning Discharge*. *Journal of Geophysical Researches*, 2012 (submitted).
2. Давыденко С.С., Мареев Е.А., Сергеев А.С., *Модель электромагнитного отклика атмосферы на молниевый разряд*. Сборник трудов VII Всероссийской конференции по

14. Модель пространственно-временного распределения ионизации нейтральной атмосферы потоками рентгеновского и УФ излучения

Корсунская Ю.А., Ляхов А.Н., Стрелков А.С. (ИДГ РАН), alyakhov@idg3.chph.ras.ru

Создана новая расчетная модель и программные средства для вычисления пространственно-временного распределения ионизации нейтральной атмосферы потоками рентгеновского и УФ излучения во время солнечных вспышек. Выявлена сильная изменчивость нижней ионосферы при динамическом развитии вспышки (рис.1). Показано, что изменения скоростей фотолиза малых нейтральных компонент с учетом вспышечного УФ могут достигать порядка величины (рис.2).

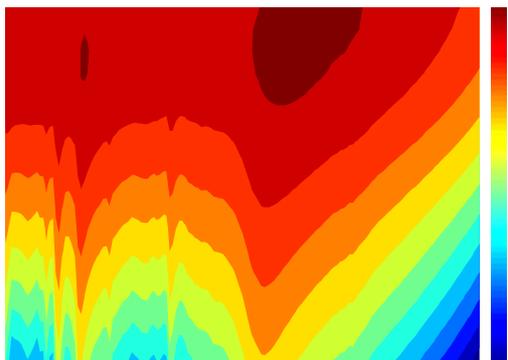


Рис.1. Высотно-временное распределение скорости ионизации над геофизической обсерваторией "Михнево" (54,94 с.ш.; 37,73 в.д.) во время вспышки на Солнце 14.06.2012

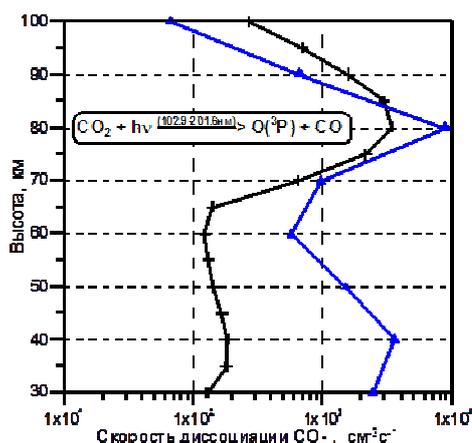


Рис.2. Высотный профиль скорости фотолиза CO_2 при учете вспышки в УФ диапазоне спектра

1. А.С.Стрелков, Вторичное электрообразование в E и D слоях ионосферы в процессе ионизации жестким ультрафиолетовым и рентгеновским излучением Солнца // *Динамические процессы в геосферах. Выпуск 3: сборник научных трудов ИДГ РАН. М.:ГЕОС, 2012. С. 130-139.*