

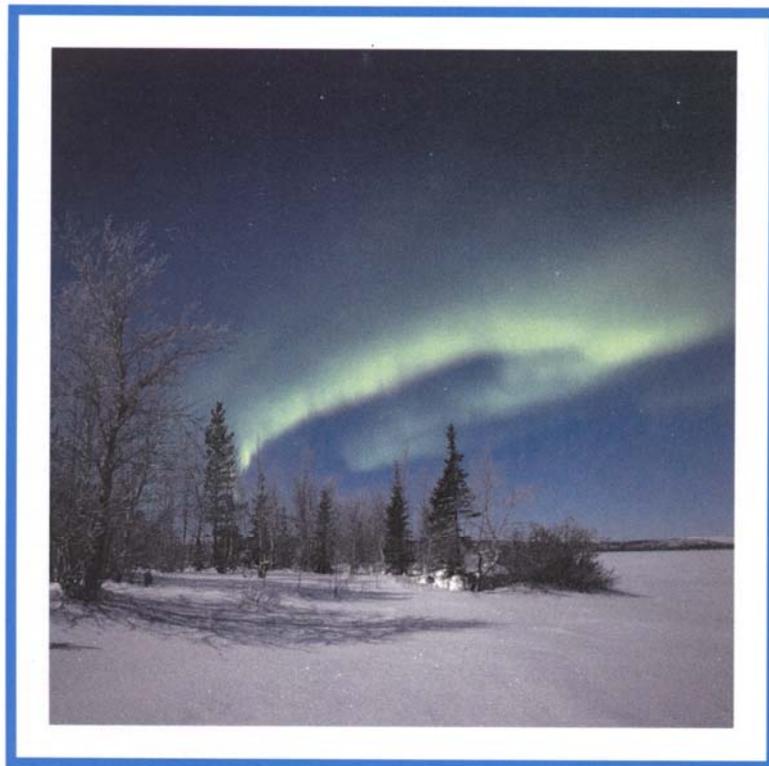
Russian Academy of Sciences

PGI -16-01-132

PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

39th Annual Seminar
29 February – 4 March 2016

Abstracts



Apatity
2016

Russian Academy of Sciences
KOLA SCIENCE CENTER
Polar Geophysical Institute

With support from:



PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

39th Annual Seminar

Abstracts

29 February – 4 March 2016

Apatity

2016

The organizing committee:
Alexander Yahnin (chair)
Nadezhda Semenova
Irina Despirak

Addresses:

Apatity department
Akademgorodok, 26a
Apatity, 184209
Murmansk region
Russia

Murmansk department

Khalturina str., 15
Murmansk, 183010
Russia

The editor:
N.V. Semenova

<http://pgia.ru/seminar>

© Kola Science Center
Russian Academy of Science, 2016

CONTENTS

SESSION 1. GEOMAGNETIC STORMS AND SUBSTORMS

S.A. Chernouss, I.I. Shagimuratov, I.I. Efishov, M.V. Filatov, N.Y. Tepenitsyna, G.A. Yakimova, E.M. Koltunenko, M.V. Shvec	Comparison of auroral and TEC irregularities planetary ovals	10
I.V. Despirak, A.A. Lubchich, N.G. Kleimenova	Comparison of the "expanded" and "polar" substorms behavior during the 23 and 24 solar cycles	10
I.V. Golovchanskaya, T.G. Kogai, I.A. Kornilov, T.A. Kornilova	Transient toroidal waves in an east-west event of transition to substorm onset	10
V. Guineva, I.V. Despirak, B.V. Kozelov	Observations of the MAIN in Apatity during strong geomagnetic storms of solar cycle 24	11
I.B. Ievenko, S.G. Parnikov, V.N. Alexeyev	SAR arc observation as the mapping of plasmasphere dusk-bulge during a magnetic storm	11
I.A. Kornilov, I.V. Golovchanskaya, T.A. Kornilova	Periodic restructuring of auroral arcs near onset region	11
T.V. Kozelova, B.V. Kozelov, V.A. Turyanskiy	Ground-THEMIS space observations during the development of substorm auroral vortex structures	12
A.E. Levitin, N.G. Kleimenova, L.I. Gromova, L.A. Dremukhina, E.E. Antonova, N.R. Zelinsky, S.V. Gromov, L.M. Malysheva	Daytime polar magnetic disturbances under extremely strong IMF Bz	12
A.V. Roldugin, V.C. Roldugin	Aurora observations by camera with spectral sensitivity CCD matrix	12
V.C. Roldugin, A.V. Roldugin, M.N. Melnik	Events of auroral morphology invariability in morning sector during regular pulsations	13
N.M. Rudneva, L.A. Dremukhina, P.M. Svidsky, A.F. Kharchiladze	Solar sources of intensive geomagnetic storms during the 23rd solar activity cycle	13
L.P. Shadrina	Manifestation of interplanetary shock in geomagnetic storms and substorms	13
M.V. Uspensky, K. Kauristie, N.G. Kleimenova, O.V. Kozyreva, M.M.J.L. Van De Kamp, S.V. Dubyagin	Auroral substorms, electron fluxes in the magnetotail and equivalent currents associated with morning sector geomagnetic Pc5 pulsations	14
Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, О.И. Ягодкина, А.Б. Виноградов	Демонстрация отражения динамики параметров солнечного ветра в процессе формирования суббулевой активности с помощью интеллектуального инструмента	14
Н.А. Бархатов, Е.А. Ревунова, Р.В. Романов, А.Б. Виноградов	Геомагнитная активность структуры магнитных облаков	15
В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, В.Л. Зверев	Исследование изолированных магнитосферных суббурь: условия генерации и характеристики различных фаз	16

Д.И. Кубышкина, В.С. Семенов, М.В. Кубышкина	Влияние на вероятность срыва суббурь резких изменений симметрии магнитосферной конфигурации	16
Г.А. Мачеев, Е.И. Гордеев, В.А. Сергеев	Определение длительности предварительной фазы магнитосферной суббури по данным глобального магнитогидродинамического моделирования	17
Я. Сахаров, Ю. Каткалов, В. Селиванов, А. Вильянен	Регистрация геоиндуцированных токов в региональной энергосистеме	17
И.М. Черток, М.А. Абунина, А.А. Абунин, А.В. Белов, В.В. Гречнев	Соотношение между магнитным потоком солнечных эрупций и Ар индексом геомагнитных бурь	18

SESSION 2. FIELDS, CURRENTS, PARTICLES IN THE MAGNETOSPHERE

I.B. Ievenko	Observation of the intense convection and substorm manifestations in the evening MLT sector using the all-sky imager	19
V.A. Lubchich	Electromagnetic sounding of the Earth's crust of the Svalbard archipelago	19
V.A. Sergeev, E.I. Gordeev, G.A. Macheev	Do Global Magnetospheric MHD Models correctly display the reality?	19
T.A. Yahnina, A.G. Yahnin, N.V. Semenova	On the relationship between the occurrence rate and intensity of the relativistic electron precipitation and geomagnetic activity	20
М.А. Волков	Магнитосферно-ионосферное взаимодействие в условиях авроральной полости	20
А.В. Дивин, В.С. Семенов, Д.Б. Коровинский	Кинетическая структура диффузионной области магнитного пересоединения	20
И.В. Зайцев, А.В. Дивин, В.С. Семенов	Исследование аналитического решения задачи о распаде разрыва посредством одномерного МГД моделирования	21
Н.Р. Зелинский, Р.Ю. Архипов	Математический подход к анализу аномалий и квазипериодических вариаций на временных рядах	21
О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, М.Н. Мельник, Х.В. Малова, Л.М. Зеленый	Функции распределения ионов и электронов для одного типа стационарной конфигурации тонкого токового слоя с постоянной нормальной компонентой магнитного поля	21
В.В. Сафаргалеев, В.Н. Митрофанов, А.В. Ролдугин, С.В. Пильгаев	Одновременные оптические и спутниковые наблюдения сияний в мантии: анализ отдельного события	22
О.И. Ягодкина, И.П. Кирпичев, В.Г. Воробьев, Е.Е. Антонова	Давление ионов на полярной и экваториальной кромках ночного аврорального овала и их проецирование на экваториальную плоскость магнитосферы	22

SESSION 3. WAVES, WAVE-PARTICLE INTERACTION

A.G. Demekhov, U. Taubenschuss, O. Santolik	Frequencies and Poynting flux directions of VLF chorus emissions in their source region as inferred from THEMIS data	23
V.S. Grach and A.G. Demekhov	Resonant interaction of radiation belt electrons with oblique whistler-mode waves	23

N.G. Kleimenova, I.A. Kornilov, Yu.V. Fedorenko, J. Manninen, L.I. Gromova	SC-associated VLF emissions at two closely spaced auroral stations: Case study December 23, 2014	23
A.S. Leonovich and D.A. Kozlov	Some kinds of MHD oscillations in the Geotail	24
A.A. Lubchich, A.G. Demekhov, E.E. Titova, A.G. Yahnin	Characteristics of the ion-cyclotron and whistler mode waves as revealed from the Van Allen Probe data	24
J. Manninen, T. Turunen, N.G. Kleimenova, Yu. Fedorenko, A. Kozlovsky	Daytime peculiar high-frequency VLF emissions at auroral latitudes	24
D.L. Pasmanik, A.G. Demekhov	Effect of large-scale artificial plasma inhomogeneity on the amplitude variations of ELF/VLF waves during their propagation in the Earth's ionosphere and magnetosphere	25
N.V. Semenova, T.A. Popova, T.A. Yahnina, A.G. Yahnin	Energetic proton precipitation equatorward of the isotropy boundary: Global distribution and comparison with EMIC waves	25
T.A. Yahnina, A.G. Yahnin	Cold plasma density in the regions of the REP generation	25
В.Б. Балаховский, В.А. Пилипенко	Ускорение электронов до релятивистских энергий во внешнем радиационном поясе за счет взаимодействия с МГД колебаниями Pc5 диапазона	26
В.Б. Балаховский, В.А. Пилипенко, О.В. Козырева, С.Н. Самсонов, Д. Лоренцен	Связь дневных геомагнитных Pc5 пульсаций и вариаций авроральной светимости	26
В.А. Пилипенко, В.Б. Балаховский, Д. Мурр, Е.Н. Федоров, А.Е. Козловский	Модуляция параметров ионосферы глобальными Pc5 пульсациями, наблюдаемыми одновременно с помощью GPS-приемников и радара EISCAT	27
З.В. Суворова, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, О.И. Ахметов	Новая модель распространения электромагнитных сигналов в литосфере	27
Е.Е. Титова, Б.В. Козелов, А.Г. Демехов, Д.Л. Пасманик, Ю. Маннинен, О. Сантолик, К. Клетцинг, Дж. Ривс	Квазипериодические ОНЧ излучения на спутнике Van Allen Probes и на Земле: наблюдения и моделирование	27

SESSION 4. THE SUN, SOLAR WIND, COSMIC RAYS

Y.V. Strizhak, D.I. Ponyavin	On the origin of magnetic field of the Sun viewed as a star	29
Ю.В. Балабин	Обособленные кластеры частиц с энергиями от десятков ГэВ в потоке космических лучей по данным нейтронных мониторов	29
Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Л.И. Щур	Новая глобальная сеть нейтронных мониторов	29
А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, М.А. Абунина, А.А. Абунин, В.А. Оленева, В.Г. Янке	Поведение плотности космических лучей в начале Форбуш-эффектов	30

И.А. Васильева, Д.И. Понявин	"Сверхмедленный" солнечный ветер	30
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин	Прикладное использование программного комплекса RUSCOSMIC в задачах расчета ионизации атмосферы Земли протонами первичных космических лучей	30
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин	Модуль сравнения результатов расчета RUSCOSMIC с экспериментальными данными	30
А.И. Подгорный	О линиях магнитного поля, связывающих токовый слой с источниками жесткого рентгеновского излучения на фотосфере	31
А.И. Подгорный, И.М. Подгорный	Модель солнечной вспышки и наблюдаемые источники рентгеновского излучения	31
И.М. Подгорный, А.И. Подгорный	Солнечная вспышка – ускоритель протонов	32
Л.С. Рахманова, М.О. Рязанцева, Г.Н. Застенкер	Эволюция быстрых флуктуаций параметров плазмы при пересечении магнитослоя магнитосферы Земли	33
О.В. Сапунова, Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер	Изучение фронтов межпланетных ударных волн, зарегистрированных прибором БМСВ в солнечном ветре	33

SESSION 5. IONOSPHERE AND UPPER ATMOSPHERE

O.I. Bergardt, K.V. Grkovich, R.R. Fedorov	A technique for improvement of multi-pulse HF radar sounding capabilities when simultaneously observing ionospheric processes with different temporal scales	34
S.M. Cherniakov	D-region ionosphere effective recombination coefficients from solar eclipse observations	34
S.M. Cherniakov, V.A. Tereshchenko, O.F. Ogloblina, E.B. Vasiliev, A.D. Gomonov	Ionospheric effects during the 20 March 2015 total solar eclipse at high latitudes	34
A.T. Karpachev, V.V. Klimenko, M.V. Klimenko, N.V. Chirik, P.A. Vasiliev, I.E. Zakharenkova, A.M. Vesnin, K.G. Ratovsky, I.A. Galkin	The latitudinal and longitudinal variability of the ionospheric electron density at sub-auroral and high latitudes during solstice conditions	35
I.V. Karpov, O.P. Borchevkina, A.I. Karpov, A.V. Ilminskaya, E.S. Smirnova	Acoustic-gravity waves in the observations of tropospheric and ionospheric parameters in the Kaliningrad region	35
I.V. Karpov, O.P. Borchevkina, R.Z. Dadashev, A.V. Ilminskaya	The perturbations of ionospheric parameters during severe meteorological storms	36
V.L. Khalipov, A.E. Stepanov, G.A. Kotova, S.E. Kobyakova, V.V. Bogdanov, A.V. Kaisin	Development of the polarization jet during giant magnetic storms and during recurrent magnetic disturbances	36
V.V. Klimenko, R.Yu. Lukianova, M.V. Klimenko, N.V. Chirik	GSM TIP simulation of the ionosphere at high, middle and low latitudes using LC06 empirical model of field-aligned currents	36

I. Kolmasova, O. Santolik, R. Lan, L. Uhler	Propagation properties of daytime tweek atmospherics	37
O.V. Mingalev, M.N. Melnik, V.S. Mingalev	Numerical simulation of the behavior of super-small-scale irregularities in the ionospheric F layer illuminated by powerful high-frequency radio waves	37
D.D. Rogov, V.A. Uliev, A.V. Frank-Kamenetsky	Parametric (riometric) model for calculating the intensity of the PCA absorption	38
V.C. Roldugin, S.M. Chernyakov, A.V. Roldugin	Simultaneous observations of gravity waves in auroras and by partial reflection radar	38
E.A. Shirokov, Yu.V. Chugunov	Dynamics of plasma-wave channels in the resonant frequency range in the Earth's ionosphere	38
V.A. Telegin, G.A. Zhbakov, V.A. Panchenko, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina	F-spread characteristics and their relation to the middle latitude magnetic activity level	38
V.A. Telegin, V.A. Panchenko, G.A. Zhbakov, V.I. Rozhdestvenskaya	Automatic data processing of spread-F	39
O.S. Ugolnikov, I.A. Maslov, B.V. Kozelov, V.I. Kirillov	Clouds and aerosol particles investigations in middle and upper atmosphere using all-sky polarization cameras during the twilight	39
О.В. Антоненко, А.С. Кириллов, Ю.Н. Куликов	Процессы релаксации электронного возбуждения кислородных составляющих в атмосферах планет земной группы	40
О.М. Бархатова, Н.В. Косолапова, Н.А. Бархатов, Ю.А. Главацкий	Учет геомагнитного поля при распространении гравитационных волн в среднеширотной ионосфере	40
Ж.В. Дашкевич, В.Е. Иванов	О влиянии концентрации окиси азота на интенсивность эмиссии 557.7 нм	41
Е.Н. Ермакова, Т. Бозингер, А.В. Рябов	Особенности суточной динамики спектров УНЧ шумового фона на низких широтах	41
А.С. Кириллов	Исследование процессов релаксации энергии метастабильного молекулярного азота в атмосферах планет солнечной системы	41
В.И. Кириллов, В.В. Пчелкин, А.А. Галахов	Частотные спектры ОНЧ-атмосфериков во время солнечного затмения по данным обсерваторий Ловозеро и Баренцбург	42
М.В. Клименко, А.В. Марков, А.Р. Абдуллаев, К.Г. Ратовский, Н.А. Коренькова, В.С. Лещенко, В.А. Панченко	Зависимость от солнечной и геомагнитной активности дневных значений NmF2 в январе 2012–2015 годов на средних и субавроральных широтах	42
М.В. Клименко, В.В. Клименко, К.Г. Ратовский, И.Е. Захаренкова, А.Е. Степанов, Н.А. Коренькова, А.В. Подлесный	Поведение субавроральной и высокоширотной F области ионосферы на фазе восстановления геомагнитных бурь	43
Д.С. Котова, М.В. Клименко, В.В. Клименко, В.Е. Захаров	Исследование влияния магнитного поля на высокоширотных КВ трассах во время геомагнитной бури	43

А.В. Ларченко, О.М. Лебедь, С.В. Пильгаев, Ю.В. Федоренко	Эффекты распространения электромагнитных возмущений от молниевых разрядов по данным наземных наблюдений в СНЧ диапазоне	44
А.В. Ларченко, А.С. Никитенко, С.В. Пильгаев, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко	Влияние солнечного затмения 20 марта 2015 г. на распространение сигналов передатчиков РСДН-20 по данным обс. Ловозеро и Баренцбург	44
А.С. Никитенко	Метод подавления шума волновода Земля-ионосфера в сигналах СНЧ/ОНЧ регистраторов	44
И.А. Носиков, П.Ф. Бессараб, М.В. Клименко, Г.А. Жбанков, О.С. Рубцов	Оценка применимости метода подталкивания упругой нити для расчета радиотрасс в высокоширотной ионосфере с учетом перемещающихся ионосферных возмущений	45
С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, А.В. Ларченко, Ю.В. Федоренко	Методика измерения абсолютной задержки аналого-цифрового преобразования в системах регистрации электромагнитных эмиссий	45
Н.Ю. Романова	Сопоставление ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы с моделью горизонтального ветра HWM07	46
В.А. Телегин, А.Т. Карпачев, И.В. Суровцева, В.О. Скрипачев	Изучение явления F-рассеяния по данным ИК-19 в период равноденствия	46
И.В. Тютин, В.Б. Оводенко, С.А. Пушай	Анализ экспериментальных данных по наблюдению радиоавроры на РЛС метрового диапазона во время геомагнитной бури 30 мая 2005 года	47
М.Ю. Филиппов	Вариации амплитудного фактора по данным ионозонда вертикального зондирования "Парус-А"	47
В.Л. Халипов, А.Е. Степанов, О.М. Пирог, В.А. Телегин, В.А. Панченко	Наблюдения дневного полярного каспа на авроральных станциях б.Тикси и Норильск	47
SESSION 6. LOW ATMOSPHERE, OZONE		
S.V. Avakyan, A.V. Troitsky, S.A. Chernouss	About one possibility of weather and climate change by active experiments	48
V.S. Grach	Instabilities of aerosol flows in thunderclouds	48
A.V. Frank-Kamenetsky	The spectral composition of the atmospheric electric field variations at Vostok station in Antarctica	49
E.A. Kasatkina, O.I. Shumilov, M. Timonen, A.G. Kanatjev	Volcanic impacts on atmosphere and climate of Kola Peninsula and Finnish Lapland	49
Y.Y. Kulikov	Prospects of microwave monitoring of the middle atmosphere ozone in polar latitudes	49
O.I. Shumilov, E.A. Kasatkina, M. Timonen, A.G. Kanatjev	Solar signatures in polar tree ring records	50
А.В. Германенко, Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздецкий	Метеорологические эффекты в приземном гамма-излучении	50

В.И. Демин	Влияние облачности на вертикальное распределение озона в нижней тропосфере	50
В.И. Демин, А.В. Волков	Сравнение скоростей современного потепления на вершинах Хибин, на окружающей предгорной равнине и в свободной атмосфере	51
В.И. Демин, Б.В. Козелов, Н.И. Елизарова, А.В. Волков	Геоморфологические факторы формирования «острова тепла» в г. Апатиты	51
С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, А.В. Ларченко, С.П. Носков	Синхронизированный с мировым временем жидкостный микробарограф	51
Г.Ф. Ременец, А.М. Астафьев	Некоторые методические вопросы в проблеме о высокоширотных потоках ультра-энергичных релятивистских электронов (100 МэВ)	52
Е.А. Федотова, И.В. Мингалев, К.Г. Орлов	Влияние атмосферного аэрозоля на потоки собственного излучения атмосферы	52
 SESSION 7. HELIOBIOSPHERE		
L.P. Shadrina, S.N. Samsonov, V.I. Manykina	Comparison of geomagnetic storm manifestations in cardiogram of Yakutsk and Tiksi inhabitants	53
P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva, V.K. Zhirov	The cyclic dynamics of northern trees photosynthetic capacity	53
Н.К. Белишева, Т.С. Завадская, Д.А. Петрашова, Р.Е. Михайлов	Функциональные перестройки периферической крови в высоких широтах при вариациях геофизических агентов	53
Т.С. Завадская, Е.Н. Чеботарева, Р.Е. Михайлов, Н.К. Белишева	Влияние вариаций космофизических агентов на рост микрофлоры в организме женщин, проживающих в Евро-Арктическом регионе	54
А.А. Мартынова, С.В. Пряничников, Р.Е. Михайлов, Н.К. Белишева	Возможный вклад высокоширотных вариаций геомагнитного поля в особенности волновой структуры сердечного ритма у жителей Заполярья	55
Д.А. Петрашова, Н.К. Белишева, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев	Оценка биоэффективности высокоэнергетических нейтронов вторичных космических лучей у поверхности Земли	55
В.В. Пожарская	Микродроза в лимфоцитах периферической крови у жителей высоких широт	56
Author index		57

Geomagnetic storms and substorms

Comparison of auroral and TEC irregularities planetary ovals

S.A. Chernouss¹, I.I. Shagimuratov², I.I. Efishov², M.V. Filatov¹, N.Y. Tepenitsyna², G.A. Yakimova², E.M. Koltunen², M.V. Shvec¹

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Murmansk region, Russia*

²*Kaliningrad Filial of IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

Images of spatial distribution of TEC fluctuations (index ROTI) were formed in geographic coordinates based on daily GPS measurements. These images demonstrate the irregularity oval, similarly to the auroral oval. The occurrence of the irregularity oval relates with the auroral oval, cusp and polar cap is under discussion. Both TEC irregularities oval and an auroral oval move equatorward and expands with an increase of the geomagnetic activity. We study the position of the auroral oval and oval of the irregularities in number events. Position of the auroral oval was calculated by methods described in (*Starkov and Sigernes et al.*) papers. Dynamics of the irregularities oval in dependence on a geomagnetic activity is under consideration too. North and South borders of the auroral oval and TEC irregularities during selected days are presented. Width of the auroral oval rises during local night time and TEC irregularities oval follows the auroral oval construction in general.

Comparison of the "expanded" and "polar" substorms behavior during the 23 and 24 solar cycles

I.V. Despirak¹, A.A. Lubchich¹, N.G. Kleimenova²

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Schmidt Institute of the Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

We presented the comparative analysis of the different types substorm behavior during the 23 and 24 solar cycles. The substorms have been studied in: (a) close to the 23 solar cycle maximum (1999- 2000, Wp> 100); (b) close to the last maximum (2012-2013, Wp~60), (c) during the 23 and 24 solar cycle minima (1995-1996, Wp=3-17 and 2008-2009, Wp=3). As in previous study, we divided the considered substorms into 3 types according to auroral oval dynamics. The first type – the substorms which are observed only in auroral latitudes (called "usual" substorms); the second type – the substorms which propagate from auroral latitudes (<70°) to polar geomagnetic latitudes (>70°) (called "expanded" substorms, according to an expanded oval); and the third type – the substorms which are observed only at latitudes above ~70° in the absence of simultaneous geomagnetic disturbances below 70° (called "polar" substorms, according to a contracted oval). Our analysis was based on the 10-s sampled IMAGE magnetometers data, and the 1-min sampled OMNI solar wind and interplanetary magnetic field (IMF) data. The following substorm characteristics have been compared: (i) the seasonal variations of the occurrence, (ii) the latitudinal range (iii) solar wind parameters before the substorm onset, and (iiii) the polar cap PC-index values before the substorm onset. The new interesting result of our study is the finding the different values of the PC-index before the different types of substorms. The PC-index was stronger before the "expanded" substorms than before the "polar" substorms. So the PC-index values before the "expanded" substorm onsets were 1.5±0.7 (1995-1996, Wp~13), 1.1±0.8 (2008-2009, Wp~3) 1.6±0.9 (2012-2013, Wp~60), 2.0±0.8 (1999-2000, Wp ~105), and they were more than twice lower before the "polar" substorm onsets - 0.7±0.4 (1995-1996), 0.4±0.3 (2008-2009), 0.52±0.5 (2012-2013), 0.8±0.6 (1999-2000). It is shown also that for the substorms which observed during the solar minima (1995-1996 and 2008-2009), the PC-index values were 1.3 times less than ones close to the solar maxima (1999-2000 and 2012-2013).

Transient toroidal waves in an east-west event of transition to substorm onset

I.V. Golovchanskaya, T.G. Kogai, I.A. Kornilov, T.A. Kornilova (*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*)

Transient ULF oscillations observed by THEMIS spacecraft during 20-30 min before substorm onset as wave packets with several cycles duration are tested by the theory of resonant Alfvén waves driven by fast compressional modes on the tail-like and more dipole-like magnetic field lines [*Allan and Wright, 1998; Southwood, 1974*]. It is shown that this theory can reasonably explain (i) predominantly toroidal polarization of the waves, which is also supported by the ground magnetic data in the considered event, (ii) conjunction of the waves with nearly E-W auroral arcs, exhibiting occasional brightening and azimuthal propagation of inhomogeneities inside them, (iii) the widths of the conjugate arcs of 10-15 km.

Observations of the MAIN in Apatity during strong geomagnetic storms of solar cycle 24

V. Guineva¹, I.V. Despirak², B.V. Kozelov²

¹*Space Research and Technology Institute, BAS, Stara Zagora, Bulgaria*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

In this work two events of strong geomagnetic activity during the ascending phase of Solar Cycle 24 were examined. The first event on 17 March 2015 is the so-called “St. Patrick’s Day 2015 Event”. This is the principal event covering the interval from 15 to 18 March 2015, in which solar eruptive phenomena (a long-enduring C9-class solar flare and associated CME(s) on 15 March) and a strong geomagnetic storm on 16-18 March (Max. Dst was -228 nT) were reported. This magnetic storm is the largest one observed in the current solar cycle. The second event is the period on 17-18 March 2013 which is strong geomagnetic storm (the Dst index \sim -140 nT) developed. This storm was caused by magnetic cloud (15 UT, 17 March – 6 UT, 18 March 2013) in the solar wind. Object of our study were the substorms observed during these periods. Observations of the Multiscale Aurora Imaging Network (MAIN) in Apatity have been used. Solar wind and interplanetary magnetic field parameters were taken from OMNI data base. Substorm onset time and the subsequent development were verified by data of IMAGE magnetometers network and by data of the all-sky cameras at Apatity. The particularities in the behaviours of substorms connected with different storms during these two interesting strongly disturbed periods are discussed.

SAR arc observation as the mapping of plasmasphere dusk-bulge during a magnetic storm

I.B. Ievenko, S.G. Parnikov, V.N. Alexeyev

Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakutsk, Russia.

The stable auroral red (SAR) arcs are the consequence of interaction of the outer plasmasphere (plasmopause) with energetic ions of the ring current. In this work we analyze the observation of aurorae and SAR arc with the all-sky imager (ASI) at the Yakutsk meridian (130°E; 200°E, geom.) during the magnetic storm main phase on March 17, 2015. ASI registers the SAR arc with a maximum of its intensity and the latitude on the westward horizon of station from the start of observations at \sim 1116 UT during the decrease of magnetic activity after the onset of magnetic storm at \sim 09 UT. The measurements of the thermal ion fluxes with ECT HOPE Instrument aboard the Van Allen Probes B satellite at \sim 1230 UT testify to a plasmopause location on L \sim 3.5 and at the meridian \sim 1825 MLT. The inner boundary of the energetic H⁺ and O⁺ ions flux has been registered by the satellite on L \sim 2.8-3.3 at the meridian \sim 1800 MLT at 1210-1220 UT. At this time ASI observes SAR arc up to a meridian 1840 MLT on the westward horizon of station.

Further the dynamics of aurorae in the 557.7, 630.0, 470.9 and 486.1 (H β) nm emissions owing to sharp changes in the solar wind and during three substorms is observed. We consider differences in the precipitation dynamics of energetic protons and electrons during substorms. It is shown that the SAR arc registered with ASI maps the ring current overlap with the region of plasmasphere dusk-bulge or plume.

The research is supported by RFBR grant No 15-05-02372 a.

Periodic restructuring of auroral arcs near onset region

I.A. Kornilov, I.V. Golovchanskaya, T.A. Kornilova (*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*)

We present examples of periodic poleward propagations of multiple arcs from preonset arc during 10-20 minutes before onset. The latitudinal extent of the poleward excursions is about 1 degree, and the period of repetition is 1-3 minutes. The excursions continue just to the beginning of substorm expansion. We demonstrate this signature by keograms, all-sky images and animations for several events of transition to substorm onset. Since the characteristics of periodic restructuring of auroral arcs are consistent with those of field-line resonances, a possible explanation is given within the framework of field-line resonance theory [e.g., Rankin *et al.*, 1995]. The interest to this theory has recently been renewed by Rae *et al.* [2014]. We emphasize it is filtration of the original auroral data that allowed us to reveal this subtle effect.

Ground-THEMIS space observations during the development of substorm auroral vortex structures

T.V. Kozelova, B.V. Kozelov, V.A. Turyanskiy (*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*)

We use spacecraft observations from THEMIS during a substorm on 19 December 2014, in conjunction with ground-based magnetic field and the aurora observations at the stations Apatity and Verhnetulomsk, to examine the dynamics of a plasma flow vortex in the equatorial plane in space at 7-9 Re during the conjugate ground auroral vortices.

The appearance of auroral large-scale vortex structures (bulges, spirals, etc.) in evening and midnight auroral zone is associated with substorm intensification. Usually, such vortex-like structures intensify and extend radially, leading to broadening of the initial arc and then breakup into patchy auroral forms. However, questions remain regarding the process of these auroral structures generation in the magnetosphere. We show that during the observed auroral vortex-like structures, the vortex-like structures occur in the magnetosphere near the outer edge of the trapped ion region. Besides these plasma-flow vortices occur at the same time as other signatures of substorm (ion and electron injections and dipolarization).

We discuss models which could provide the disturbance leading to intense formation of the plasma-flow vortex during the substorm intensification.

Daytime polar magnetic disturbances under extremely strong IMF Bz

A.E. Levitin¹, N.G. Kleimenova^{2,3}, L.I. Gromova¹, L.A. Dremukhina¹, E.E. Antonova^{3,4}, N.R. Zelinsky², S.V. Gromov¹, L.M. Malysheva²

¹*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio wave Propagation, Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow*

²*Institute of Physics of the Earth (IFZ RAN), Moscow,*

³*Space Research Institute, (IKI), Moscow,*

⁴*Skobeltsyn Research Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow*

Daytime polar-latitude electrojet, usually termed as PE, has been studied very poorly. Here we present the results of the detailed analysis of two PE events recorded during strong magnetic storms. Our study was based on the ground high-latitude IMAGE normalized magnetogram data. The first PE event was observed during the main phase of the strong magnetic storm on Nov 24, 2001 (Dst min ~ -220 nT). The PE occurred when suddenly the IMF Bz turned to the North up to extremely high positive values ($\sim +60$ nT) and the IMF By changed from +40 to -40 nT under a high solar wind dynamic pressure up to 50–70 nPa. In the day side sector of the polar latitudes, the very strong magnetic bay occurred with the amplitude of about 2000 nT. According to model calculations, a sharp intensification of the field aligned currents (FAC) of the NBZ system was noted in that region. The wave structure of this bay was represented by geomagnetic pulsations in the $\sim (2-7)$ mHz band. But such fluctuations were not observed in the solar wind and IMF.

The second strong PE event has been analyzed during storm recovery phase on May 30, 2003 (Dst min ~ -144 nT) under the positive IMF Bz (up to +25 nT), and the IMF By changed from -15 nT to +20 nT. The considered event was preceded by a very strong (up to ~ 70 nPa) solar wind dynamic pressure enhancement. The intense (~ 400 nT) magnetic bay was recorded in the daytime sector of the polar latitudes. The wave structure of this magnetic bay was represented by the (2–7) mHz geomagnetic pulsations which demonstrated the spectral properties different from resonant Pc5 waves. The possible source of high-latitude pulsations could be related with fluctuations in the turbulent magnetosheet. The space distribution of the FAC which can be attributed to NBZ system has been obtained in the polar latitudes by the low-altitude CHAMP satellite. This result has been compared with the auroral oval location (model OVATION) and spectra of the ion and electron fluxes measured by the low-altitude DMSP satellite. We suppose that the daytime polar electrojet under consideration could be mapped inside the closed magnetosphere at poleward part of the plasma ring surrounding the Earth.

Aurora observations by camera with spectral sensitivity CCD matrix

A.V. Roldugin, V.C. Roldugin (*Polar Geophysical Institute, Apatity*)

In the autumn 2015 the all-sky camera for aurora observation in Lovozero is supplied by CCD matrix with pixels with different spectral sensitivity: red, green and blue. Aurora patterns in these spectral regions are compared.

Events of auroral morphology invariability in morning sector during regular pulsations

V.C. Roldugin, A.V. Roldugin, M.N. Melnik

Polar Geophysical Institute, Apatity

Two events of auroras with compound morphology, which varied unusual slightly in Lovozero, are described. During more than one hour these auroras kept their complex form although they were accompanied by auroral pulsations. Pc3, Pc5 and Pc6 geomagnetic pulsations were observed this time in Lovozero, and analogous pulsations came to pass in THEMIS satellite.

Solar sources of intensive geomagnetic storms during the 23rd solar activity cycle

N.M. Rudneva¹, L.A. Dremukhina², P.M. Svidsky¹, A.F. Kharchiladze²

¹*Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia*

²*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Moscow, Russia*

In our study we discuss the solar sources of intensive and very intensive magnetic storms and their localization on synoptic maps of large-scale solar magnetic field during the 23rd solar activity cycle (1996-2009). As solar sources of geomagnetic storms there were considered the coronal mass ejections (CME), coronal holes and filaments. In the selected period there were 16 of very intensive geomagnetic storms with a minimum value $Dst < -200$ nT and 66 intensive storms with a minimum value of $-200 \text{ nT} \leq Dst < -100 \text{ nT}$. To determine the solar sources of geomagnetic storms and their solar coordinates, the following observational data were used: the catalog CME (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/); daily data on solar and geomagnetic activity of Space Weather Prediction Center in Boulder (SWPC) (<http://www.swpc.noaa.gov/fipmenu/warehouse.html>); information about the disappearances of the filaments and prominences on the site "Edited Solar Events Lists" (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/stp.html>); catalog of coronal holes (http://www/dxlc.com/solar/coronal_holes.html); images of coronal holes in the UV and X-ray (<http://www.spaceweather.com/>) and maps of large-scale solar magnetic field. It was shown that a very intensive magnetic storms during the 23rd solar activity cycle, as in the past cycles, occurred near the maximum of solar activity and its decay phase, and were caused by type «halo» CMEs accompanied by flares and filament's disappearances. Geoeffective CMEs were located mainly near the Sun's central meridian, and their solar wind had a speed more than 700 km / s. Very intense magnetic storms always associated either with strong or weak flares. Disappearances of filaments, not accompanied by flares, don't cause developments of intensive magnetic storms in about 90% of events. In the reviewed period also coronal holes led to the development of intensive magnetic storms only in every seventh case. All flares and the filament's disappearances, preceding by a development of intensive or very intensive magnetic storms, occurred on the boundaries of sub-sectors (OR-regions) or near projection of the heliospheric current sheet.

Manifestation of interplanetary shock in geomagnetic storms and substorms

L.P. Shadrina

Academy of Sciences of Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

The influence of interplanetary shocks accompanied or not coronal mass ejections (CME) on geomagnetic storms and substorms generation was investigated. For this aim we have analyzed the data of solar wind parameters and geomagnetic activity (Dst and AE indexes) and it was shown that the CME presence after the shock plays a crucial role for the generation of Dst decreasing, i.e. for the geomagnetic storm. While for the substorm disturbances (enhance of AE index) it is important the internal state of the magnetosphere after the shock impact.

Auroral substorms, electron fluxes in the magnetotail and equivalent currents associated with morning sector geomagnetic Pc5 pulsations

M.V. Uspensky¹, K. Kauristie¹, N.G. Kleimenova², O.V. Kozyreva², M. M. J. L. Van De Kamp¹, S.V. Dubyagin¹

¹*Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland*

²*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

We study four moderate substorm activations in the midnight and morning sectors together with Pc5 pulsations and electron flux enhancements observed in the magnetotail by the Themis P2-P5 satellite constellation. These events took place on Jan 18, 2008, at ~05:11 and 05:46 UT (a) and on Feb 19, 2008, at ~05:25 and 05:36 UT (b). Themis ground-based magnetometers and all-sky imagers (SNKQ, GILL, RANK), Scandinavian IMAGE magnetometers and Svalbard all-sky camera (NAL) data were used in substorm identifications. Inside ~1 min resolution the nighttime substorm activations (events (a)) were reasonably seen at the morning poleward side of auroral oval by NAL camera. Some three to five minutes after the substorm activations, the midnight magnetotail Themis P3-P5 satellites (with mutual separations in GSM X, Y, and Z directions ~ 1 Re) at the same time are dispersionless energetic (up to ~0.4 MeV) electron fluxes. The Themis P2 satellite (located in both cases (a) in early morning sector at a distance of ~6 Re from of the cluster of P3-P5 probes) registered energy-dependent delays (dispersion) of the electron fluxes due to their eastward gradient drift motion. The potential impact of midnight activity on morning sector Pc5 cannot be excluded in the two cases of event (a), because enhanced fluxes of electrons with high enough energies (~400 keV), could reach the region of Pc5 within the observed delay. The electron flux bursts were observed by Themis P2 at longitudes between the midnight and morning sector instrumentation.

Space and time variations of the ionospheric equivalent currents in the regions of morning sector Pc5 pulsations on the two days are studied with the help of IMAGE magnetometer data (MLT sector 05-07). In these cases abrupt changes in the Pc5 amplitudes, intensifications and/or weakenings, were recorded some minutes after auroral activations in the midnight sector. We analyse three examples of Pc5 changes with the goal to resolve whether substorm activity can have an effect on Pc5 amplitude or not. In two cases (event b) the most likely explanation for Pc5 amplitude changes comes from the solar wind (changes in the sign of IMF Bz). In one case (event a) equivalent current patterns in the morning sector show an antisunward propagating vortex which replaced the Pc5-related smaller vortices and consequently the pulsations weakened. We associate the large vortex with a field aligned current system due to a sudden, although small drop in solar wind pressure (from 1 to 0.2 nPa).

Демонстрация отражения динамики параметров солнечного ветра в процессе формирования суббури активности с помощью интеллектуального инструмента

Н.А. Бархатов¹, В.Г. Воробьев², С.Е. Ревунов¹, О.И. Ягодкина², А.Б. Виноградов¹

¹*Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина*

²*Полярный геофизический институт КНЦ РАН*

Началом активной фазы суббури является взрывной переход накопленной потенциальной энергии искаженного магнитного поля полярной магнитосферы в кинетическую энергию заряженных частиц заполняющих радиационные пояса и ионизирующих ионосферу. Процесс накопления потенциальной энергии возможен только при условии непрерывного поступления кинетической энергии частиц ($N \cdot V^2$) солнечного ветра на интервале подготовительной фазы суббури (плотности N – концентрация частиц, V – скорость потока солнечного ветра). Ключевым событием начала подготовительной фазы суббури, как правило, является поворот ММП к югу.

Накопление энергии в магнитосфере в период подготовительной фазы суббури обеспечивается усилением крупномасштабного западного электрического поля конвекции поперек хвоста магнитосферы. Постепенное накопление энергии невозможно учесть на основе мгновенных значений (B_z , N , V). Для описания этого процесса необходимо ввести интегральный параметр, например, в виде кумулятивной суммы $\sum [N \cdot V^2]$. Использование его динамики наравне с другими геоэффективными параметрами солнечного ветра применено нами для описания процесса формирования суббури с помощью интеллектуального инструмента в виде искусственной нейронной сети (ИНС).

Эффективность предлагаемого подхода продемонстрирована на численных нейросетевых экспериментах по восстановлению динамики AL-индекса по параметрам солнечного ветра и ММП в периоды развития суббури. Архитектура применяемой нейросети построена по принципу Элмана и содержит дополнительный слой нейронов, обеспечивающий «внутреннюю память» о предыстории восстанавливаемого динамического

процесса. На данном этапе исследования в качестве входных последовательностей нейросетевой модели, использованы два параметра – компонента ММП B_z и интегральный параметр $\sum[N*V^2]$, учитывающий предысторию процесса накачки кинетической энергии в магнитосферу в течение 2-3 часов в рамках 60 минутных окон. Единственный выходной нейрон генерировал последовательность значений AL-индекса. Обучающие последовательности включали в себя данные по 70 периодам развития суббурь. С целью минимизации эффекта «запоминания последнего обучающего образца» эти последовательности нормировались и подавались на входы ИНС в случайном порядке. Нейросетевые эксперименты выполнялись на 1-минутных данных AL, B_z , N, V, полученных с узла CDAWeb (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>). Исследования проведены на временных интервалах данных, каждый продолжительностью 8 часов, включающих в себя периоды 70 изолированных магнитосферных суббурь различной интенсивности, зарегистрированных по показаниям AL-индекса.

Выполненное исследование показало возможность успешного восстановления динамики AL-индекса или его краткосрочного прогнозирования при использовании онлайн данных патрульного космического аппарата. Созданный нами инструмент при учете физических явлений, приводящих к суббуре, оказался вполне интеллектуальным и дееспособным. И это произошло потому, что мы приняли во внимание процесс медленной загрузки авроральной магнитосферы кинетической энергией солнечного ветра. Дальнейшее улучшение результатов восстановления возможно при использовании предыстории AL, увеличении числа входных данных, предварительной обработки и усовершенствовании архитектуры ИНС.

Геомагнитная активность структуры магнитных облаков

Н.А. Бархатов¹, Е.А. Ревунова², Р.В. Романов¹, А.Б. Виноградов¹

¹Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

²Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Магнитные облака солнечного ветра согласно современным представлениям вызывают наиболее интенсивные геомагнитные бури. В зависимости от скорости облака относительно солнечного ветра на переднем фронте его тела может образовываться ударная волна, за которой следует турбулентная область, часто называемая оболочкой облака. Исследования показывают, что для большинства магнитных облаков начало соответствующих им геомагнитных возмущений приходится на ударную волну и оболочку [1]. В связи с этим при изучении геоэффективности магнитных облаков необходимо учитывать и потенциальную геомагнитную эффективность физических процессов на переднем фронте облаков.

В предлагаемой работе методами анализа Фурье-спектров флуктуаций модуля ММП зарегистрированные на патрульных космических аппаратах (ПКА) в диапазоне частот (0,001-0,1 Гц) в областях составляющих магнитные облака солнечного ветра удаляется низкочастотная или высокочастотная части спектра и на этой основе уточняются границы оболочки и тела облака, соответственно. Установлено также, что при переходе из солнечного ветра в турбулентную оболочку мощность спектра увеличивается в среднем на 2 порядка, при переходе из оболочки в тело магнитного облака мощность спектра напротив уменьшается на 2-4 порядка. Это согласуется с [2], где для рассматриваемых облаков были определены границы тел облаков.

Известно, что геомагнитная эффективность облака прямо зависит от ориентации межпланетного магнитного поля (ММП) в облаке подошедшего к границе магнитосферы. Более того, существует возможность возникновения геоэффективной ($B_z < 0$) величины магнитного поля в оболочке магнитного облака вследствие эволюции ММП среды солнечного ветра на ударном разрыве, опережающем облако. Учет этого обстоятельства важен при создании модели метода прогноза геомагнитных бурь. В связи с этим согласно методике [3] проводилось определение локальной ориентации плоскости ударной волны для 10 облаков по 5 минутным данным о компонентах ММП до и после ударной волны. Полученные сведения об ориентации ударного фронта позволили найти значения нормальных и тангенциальных компонент ММП, по отношению к ударной волне и получить выражение для вычисления значений геоэффективной B_z компоненты в оболочке облака в солнечно-магнитосферной системе координат. Учитывая зарегистрированные на ПКА параметры замагниченного солнечного ветра, предшествующие приходу ударной волны облака, выполняется расчет всей ожидаемой последовательности значений B_z компоненты ММП на трассе переноса солнечного ветра к магнитосфере. Сопоставление ожидаемой последовательности вычисленных значений B_z с динамикой индексов SYM/H и AL, соответственно, характеризующих глобальную и суббуревую геомагнитную активность, свидетельствует об отражении эволюции параметров натекающего на магнитосферу солнечного ветра в геомагнитной возмущенности. Это может быть положено в основу создания метода краткосрочного прогнозирования геомагнитной возмущенности.

Geomagnetic storms and substorms

1. N. A. Barkhatov, A. B. Vinogradov, A. E. Levitin, E. A. Revunova. Geomagnetic Substorm Activity Associated with Magnetic Clouds // *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 55. № 5. P. 596–602. 2015
2. Zhang J., Liemohn M. W., Kozyra J. U., Lynch B. J., Zurbuchen T. H. A statistical study of the geoeffectiveness of magnetic clouds during high solar activity years // *J. Geophys. Res.* 2004. V.109. A09101. doi:10.1029/2004JA010410
3. Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. М.: Мир. 1976. 302 с.

Исследование изолированных магнитосферных суббурь: условия генерации и характеристики различных фаз

В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, В.Л. Зверев

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия

Исследованы характеристики магнитных суббурь с четким, хорошо выраженным началом (T_0), которому предшествовал, по крайней мере, 3-х часовой магнитоспокойный период. Суббури отбирались сначала визуальным просмотром вариаций 1-мин значений AL индекса, а затем с использованием специального алгоритма автоматической обработки данных. Для изучения были отобраны суббури длительностью не более 3-х часов и амплитудой $250 \text{ нТл} < |AL| < 1500 \text{ нТл}$. За окончание суббури принималось время восстановления AL до значений равных $0.1 AL$ в максимуме суббури. Всего было отобрано 112 суббурь за период 1995-2012 гг.

Для анализа характеристик ММП и параметров солнечного ветра в периоды регистрации суббурь использованы данные, взятые на OMNI Web (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>). По характеру поведения Vz компоненты ММП в окрестности T_0 суббури были разбиты на несколько типов: 1 – суббури при $Vz < 0$; 2 – суббури при $Vz > 0$; 3 - суббури, инициированные поворотом Vz на север; 4 – суббури при знакопеременном Vz. Из всего набора данных только 4 суббури начались и развивались при $Vz > 0$, поэтому остановимся только на сравнительных характеристиках суббурь типа 1 и 3.

Вероятность наблюдения суббурь при $Vz < 0$ составила 54%, в то время как суббури типа 3 наблюдались лишь в 18% случаев. Обнаружено значительное число примеров, когда после длительного (> 30 мин) периода существования южного ММП и последующего резкого поворота Vz компоненты на север в авроральной зоне не наблюдалось каких-либо изменений уровня магнитной активности. Все эти данные свидетельствуют о том, что поворот Vz на север не является ни необходимым, ни достаточным условием для генерации суббурь. Однако при прочих благоприятных условиях северный поворот Vz может способствовать генерации суббурь, впрочем, как и изменение других параметров ММП и плазмы солнечного ветра. Из всех суббурь типа 1 четыре суббури начались одновременно с ростом динамического давления солнечного ветра (R_{din}), три – при повороте V_y ММП с отрицательных значений на положительные, две - при повороте V_y ММП с положительных значений на отрицательные и одна – при резком уменьшении R_{din} .

Средняя длительность существования южного ММП до T_0 и средняя интенсивность магнитного возмущения в максимуме примерно одинаковы для суббурь 1 и 3 типов и составляли ~ 80 мин и ~ 650 нТл, соответственно. Средняя длительность фаз развития также примерно одинаковы (20 и 25 мин, соответственно), однако, фаза восстановления суббурь при $Vz < 0$ несколько затянута относительно суббурь типа 3 наличием нескольких дополнительных интенсификаций. Вследствие этого средняя длительность суббурь типа 1 примерно на 0.5 часа больше, суббурь типа 3. Такая разница может быть обусловлена дополнительным притоком (выделением) энергии солнечного ветра в магнитосферу (ионосферу) для суббурь типа 1 при наличии отрицательной Vz ММП.

Влияние на вероятность срыва суббурь резких изменений симметрии магнитосферной конфигурации

Д.И. Кубышкина, В.С. Семенов, М.В. Кубышкина (*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия*)

Впервые предположение о влиянии степени изогнутости токового слоя в хвосте магнитосферы на порог срыва суббури было высказано в статье [Kivelson and Hughes, 1990]. Идея состоит в том, что при асимметричной конфигурации магнитосферы, и, соответственно, сильно изогнутом токовом слое, градиенты и плотность тока в хвосте возрастают, что делает условия более подходящими для возникновения пересоединения. В таком случае, даже малого внешнего воздействия может быть достаточно для срыва суббури, и, как следствие, ожидается увеличение числа (слабых) событий при изогнутом токовом слое.

В настоящем исследовании мы проанализировали возможность влияния асимметрии токового слоя на вероятность срыва суббури с точки зрения теории и наблюдений (статистического анализа числа суббурь). Наиболее очевидные причины изгибания токового слоя – это изменения угла наклона геодиполя и направления распространения солнечного ветра. При этом вариации угла наклона диполя - процесс достаточно медленный, и ожидаемый эффект от таких изменений мал, поэтому в данном исследовании мы фокусировались, в основном, на исследовании скачков направления солнечного ветра.

Теоретическая интерпретация эффекта основана на исследовании квазидинамической модели изогнутого токового слоя. Мы обнаружили, что в модельных конфигурациях токовый слой может утончаться или расширяться под действием индуцированного (вихревого) электрического поля, возникающего за счет быстрых изменений симметрии конфигурации, и результат согласуется со статистическим исследованием. Эффект наиболее заметен для периодов, когда угол наклона земного диполя близок к максимальному, поэтому мы полагаем, что он может быть ответственен за большее число слабых событий в данные периоды.

Определение длительности предварительной фазы магнитосферной суббури по данным глобального магнитогидродинамического моделирования

Г.А. Мачеев, Е.И. Гордеев, В.А. Сергеев

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Глобальное магнитогидродинамическое (ГМГД) моделирование позволяет воспроизводить основные структурные элементы и крупномасштабные процессы, происходящие в магнитосфере Земли. При наличии нескольких моделей, реализующих ГМГД процесс, до сих пор актуальным является вопрос о соответствии данных, полученных с помощью ГМГД моделей, с реальностью, и о том, какая из моделей является наиболее точной.

В данной работе определялись длительности предварительной фазы суббури, в ходе которой энергия солнечного ветра аккумулируется в хвосте магнитосферы, для четырёх ГМГД моделей: BATSRUS, OpenGGCM, LFM и GUMICS (Данные модели поддерживаются центром моделирования NASA CCMC и представлены на сайте <http://ccmc.gsfc.nasa.gov>). Для определения продолжительностей фазы использовались значения электрических потенциалов поперёк хвоста и поперёк полярных шапок, а также индукция магнитного поля в долях хвоста. Затем данные, полученные с помощью моделей, сравнивались между собой и с эмпирическими данными, взятыми из работ других авторов и из набора данных OMNI по суббурям за период 2001-2014 гг.

В результате работы были получены представления об особенностях, присущих каждой модели, а также их степени соответствия действительности. Согласно полученным данным, наиболее достоверной моделью является LFM.

Регистрация геоиндуктированных токов в региональной энергосистеме

Я. Сахаров¹, Ю. Катькалов², В. Селиванов³, А. Вильянен⁴

¹*Полярный геофизический институт, Россия*

²*Институт космической физики, Швеция*

³*Кольский научный центр, Россия*

⁴*Финский метеорологический институт, Финляндия*

В рамках проекта EURISGIC (*European Risk from Geomagnetically Induced Currents*) нами организована непрерывная регистрация геоиндуктированных токов (ГИТ) на пяти подстанциях энергосистемы на Северо-Западе России. В работе представлены результаты регистрации ГИТ в 2011-2015 гг., рассматриваются методы регистрации, сбора и представления информации, распределение максимальных значений токов от широты, уровня магнитной активности и локального времени, а также случаи возбуждения гармоник промышленной частоты в автотрансформаторах магистральной линии во время магнитосферных возмущений.

Работа выполнена при поддержке ЕС в рамках программы FP7/2007–2013, грант n260330.

Соотношение между магнитным потоком солнечных эрупций и Ар индексом геомагнитных бурь

И.М. Черток¹, М.А. Абунина¹, А.А. Абунин¹, А.В. Белов¹, В.В. Гречнев²

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН), г. Троицк, г. Москва*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ), г. Иркутск*

Солнечные корональные выбросы, наблюдаемые в белом свете при помощи коронографов, являются главным источником наиболее сильных нерекуррентных геомагнитных бурь. В крайнем ультрафиолетовом диапазоне СМЕs сопровождаются так называемыми диммингами (транзиентными корональными дырами) и постэруптивными аркадами. Анализ событий 23-его солнечного цикла показал, что суммарный магнитный поток диммингов и аркад на уровне фотосферы Φ тесно связан с интенсивностью (Dst-индексом), а также транзитными временами геомагнитных бурь. Это создает основу для самой ранней диагностики геоэффективности солнечных эрупций. В данной работе по тем же данным установлено, что имеет место также тесная корреляция между эруптивным магнитным потоком Φ и другим геомагнитным индексом Ар. При увеличении Φ от десятков 1020 Мкс до $(400-800) \times 1020$ Мкс интенсивность геомагнитных бурь, измеряемая трехчасовым Ар-индексом, возрастает в среднем от 50 нТл до максимально возможного значения Ар ≈ 400 нТл.

Observation of the intense convection and substorm manifestations in the evening MLT sector using the all-sky imager

I.B. Ievenko (*Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakutsk, Russia*)

It is known that the enhancement of magnetospheric convection owing to the turn of IMF Bz to the south is manifested more globally than the substorm expansion phase. In this work the observation of the aurora dynamics in the evening MLT sector at the Yakutsk meridian (130°E; 200°E, geom.) during a sharp strengthening of magnetospheric convection and two intensive substorms in the midnight sector of MLT in the event on January 7, 2015 using the all-sky imager (ASI) is analyzed.

ASI registers the westward motion of active aurora band with a wavy boundary in the 557.7, 630.0 and 486.1 (H β) nm emissions from ~09 UT (1710 MLT) after the beginning of the first substorm at ~0850 UT. The motion occurs with the angular speed of 1-1.2 degrees/min in the station zenith along the geomagnetic latitude of 58°N. At the same time the undulation of aurora strip along the meridian with the period of 8-9 minutes are observed.

After the onset of expansion phase of second substorm at ~1047 UT at the Yakutsk meridian (~ 1900 MLT) the intensification of aurorae in the range of geomagnetic latitudes of 56-61 °N is observed. ASI registers the intense SAR arc at the geomagnetic latitudes of 49-52 °N from 1112 UT. The measurements with the ECT HOPE Instrument aboard the Van Allen Probes A satellite show the sharp increase of fluxes of the energetic electrons and H⁺ O⁺ ions at 1105-1108 UT at the L~2.7 and meridian of ~2105 MLT (injection boundary).

It is assumed that the westward motion of active aurora band maps the electric drift of energetic plasma at the magnetic equator. The measurements of the particle flux aboard Van Allen Probes A and the ASI's observation of SAR arc testify to the penetration of energetic plasma up to L ~ 2.5-2.7 in evening sector of MLT in this event.

The research is supported by RFBR grant No 15-05-02372 a.

Electromagnetic sounding of the Earth's crust of the Svalbard archipelago

V.A. Lubchich (*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*)

The report deals with utilization of electromagnetic geophysical methods to study the geological structure of inaccessible Arctic islands. Possibility of applying the powerful transmitter of electromagnetic fields of extremely low frequency (ELF) range, located in the Northern part of Kola Peninsula, for electromagnetic sounding of the Svalbard archipelago was demonstrated. Results of experimental works have shown the usefulness of applying remote electromagnetic methods to study the geological structure of inaccessible islands in the Western part of the Arctic. But the depth of such studies is limited in conditions of the low-resistance, thick sediment cover. The integrated interpretation of magnetotelluric (MTS) data and electromagnetic sounding with controlled source data can significantly amplify the information about the geoelectric section of investigated arrays. Results of the electromagnetic sounding with controlled source are used as reference values for selecting least distorted MTS curves. The application of MTS data expands the interpretation range in low frequencies, that increases the depth of geophysical research.

Do Global Magnetospheric MHD Models correctly display the reality?

V.A. Sergeev, E.I. Gordeev, G.A. Macheev (*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*)

Global magnetohydrodynamic (GMHD) modeling is a powerful tool in space weather research, several advanced GMHD models are now publicly available for users via Community Coordinated Modeling Center's (CCMC) Run-on-Request system. Here we report the results of systematic testing of four such models each running over the same set of 19 artificial events with the north-then-south IMF BZ variation in which basic solar wind input parameters (Pd, IMF etc) covered their typical range observed in the solar wind. Performance of models has been evaluated quantitatively by analysing key magnetospheric system parameters, which were compared to predictions of statistical observation-based empirical relationships for these parameters.

Being tested in approximately similar conditions (similar inputs, comparable grid resolution etc) four models publicly available at the CCMC predict rather well the global structure, as well as absolute values and variations of those key parameters (magnetospheric size, magnetic field and pressure in the magnetotail) which are directly related to the large-scale magnetospheric equilibria in the outer magnetosphere, for which the MHD is supposed to be a valid approach. At the same time, the models show very different predictions for the global convection rate, total field-aligned current as well as for the magnetic flux loading into the magnetotail after the north-south IMF turning. In fact, only one of four tested models (LFM) was able to systematically reproduce the loading-unloading

Fields, currents, particles in the magnetosphere

substorm sequence resembling empirical loading rate and growth phase duration, whereas other models failed to compete in that. We discuss the basic feature of loading-unloading substorm behavior observed in GMHD runs and compare them to those inferred from magnetic field and plasma observations in the magnetotail.

On the relationship between the occurrence rate and intensity of the relativistic electron precipitation and geomagnetic activity

T.A. Yahnina, A.G. Yahnin, N.V. Semenova (*Polar Geophysical Institute, Apatity*)

On the basis of data from NOAA Polar operational Environmental Satellites we show that the occurrence rate of the relativistic electron precipitation (REP) observations has a tendency to grow with the increase of geomagnetic activity. This is, evidently, related to the fact that during enhanced geomagnetic activity the intensity of waves scattering the electrons onto the loss cone increases. At the same time, the intensity of REP fluxes exhibits a wide spread and does not depend on the activity. We explain this by the relationship between REP and the intensity of the trapped flux in the radiation belt, which in turn strongly depends on the pre-history of the radiation belt. Indeed, the formation of the trapped electron flux includes different mechanisms of the electron acceleration, their duration and intensity, the preceding losses, etc. However, the REP intensity averaged for a long enough time interval depends on the average geomagnetic activity. Evidently, the averaging “incorporates” the pre-history.

Магнитосферно-ионосферное взаимодействие в условиях авроральной полости

М.А. Волков

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия, volkovma@mstu.edu.ru

В работе рассматриваются механизмы обратной связи между движущейся плазмой в магнитосфере и ионосфере, приводящие к образованию авроральных структур. Плазма считается холодной, но концентрация плазмы изменяется как с высотой, вдоль магнитной силовой линии, так и с широтой. Высотное изменение концентрации плазмы задается ступенчатой функцией. Электромагнитные возмущения из ионосферы в магнитосферу и обратно распространяются в форме косых альвеновских волн. Электрическое поле в этой волне имеет продольную компоненту, направленную вдоль магнитного поля Земли. В работе исследуются периодические по времени возмущения, для которых стенки авроральной полости непрозрачны. Граница прозрачности для этих возмущений определяется из условия $|\Sigma_p Z| = 1$, где Σ_p – ионосферная интегральная проводимость Педерсена, Z – магнитосферный импеданс на уровне ионосферы.

Кинетическая структура диффузионной области магнитного пересоединения

А.В. Дивин, В.С. Семенов (*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*)
Д.Б. Коровинский (*Space Research Institute, Graz, Austria*)

Процессы, происходящие при солнечных вспышках и во время магнитных бурь в земной магнитосфере, характеризуются быстрым преобразованием магнитной энергии в тепловую и кинетическую энергию плазмы. Во время этих процессов происходит изменение конфигурации магнитных силовых линий, т. е. происходит их перезамыкание. Ядром магнитного пересоединения является диффузионная область, в которой частицы движутся по неадиабатическим траекториям, и существенным является вклад инерции частиц и давления в законе Ома. Численное моделирование и наблюдения магнитного пересоединения в магнитосфере Земли и солнечном ветре показывают, что диффузионная область в бесстолкновительной плазме обладает сложной внутренней структурой. Вблизи X-линии существует токовый слой с толщиной порядка ионного гирорадиуса (ионная диффузионная область, IDR), в котором ионы ускорены до скорости Альвена. В IDR вложен электронный джет (электронная диффузионная область, electron diffusion region, EDR), в котором частицы ускорены до электронной скорости Альвена. В настоящей работе особое внимание уделяется структуре тензора электронного давления P_e в окрестности EDR. Показано, что длина EDR зависит от анизотропии P_e в области втекания EDR. Негиротропное распределение электронов в EDR возникает вследствие ускорения частиц электрическим полем пересоединения. Построена модель электронного давления для внутренней и внешней частей EDR, имеющая хорошее согласие с результатами численного моделирования в двумерном кинетическом приближении кодом iPIC3D.

Исследование аналитического решения задачи о распаде разрыва посредством одномерного МГД моделирования

И.В. Зайцев, А.В. Дивин, В.С. Семенов (*Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия*)

Высвобождение энергии, накопленной в тонких токовых слоях, может происходить в форме магнитного пересоединения, что сопровождается изменением глобальной топологии линий магнитного поля, ускорением и нагревом плазмы. Под воздействием импульса электрического поля пересоединения в начальном токовом слое формируется нормальная компонента магнитного поля, приводящая к распаду токового слоя на последовательность разрывов и ударных волн. В работах *Семенова и Хейна* (1988), а также *Сасунова и Семенова* (2012) приводится МГД алгоритм вычисления параметров плазмы на образующихся разрывах, учитывающий асимметрию начального слоя, наличие ведущего поля и ширину скоростей. Алгоритм был использован для интерпретации разрывов в солнечном ветре ("Wind"), где магнитное пересоединение в значительной степени однородно и квазистационарно. В настоящей работе проводится исследование точности данного алгоритма и сравнение получаемых решений с результатами численного моделирования в МГД и кинетическом приближении. Было показано, что аналитический метод действительно дает надежные оценки параметров плазмы на МГД разрывах, но не позволяет разрешить такие явления, как эффект Холла, анизотропию ионного давления, а также распределение энергии между электронами и ионами (Ti/Te).

Математический подход к анализу аномалий и квазипериодических вариаций на временных рядах

Н.Р. Зелинский (*Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*)
Р.Ю. Архипов (*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*)

В анализе временных рядов основными задачами являются (а) выделение аномалий, в том числе отдельных выбросов, участков резкой смены статистических параметров, частотных аномалий и др., (б) выбор допустимого уровня аномальности, (в) определение статистических параметров шума (например, проверка на гетероскедастичность), (г) выделение крупномасштабных явлений -- трендов и крупных событий. Для выявления аномалий на временных рядах могут использоваться нейронные сети, регрессионный анализ, методы Дискретного Математического Анализа (ДМА), например, функционал «обобщенная дисперсия собственных векторов матрицы ковариации» и ряд других методов. Адаптивный выбор параметров аномальности в рассматриваемом подходе достигается с использованием инструмента нечетких границ. Актуальной также является задача кластеризации близковыделенных аномалий различными методами. Разделение временного ряда на трендовую и аномальную части позволяет изучать физически разные явления отдельно. Например, такой подход может быть применен к анализу данных наблюдений любых геофизических явлений, например, вариаций и пульсаций геомагнитного или электрического полей, риометрического поглощения и т.д.

Функции распределения ионов и электронов для одного тина стационарной конфигурации тонкого токового слоя с постоянной нормальной компонентой магнитного поля

О.В. Мингалев¹, И.В. Мингалев¹, М.Н. Мельник¹, Х.В. Малова^{2,3}, Л.М. Зеленый²

¹Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, mingalev_o@pgia.ru

²Институт космических исследований РАН, Москва

³Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

Разработан новый метод численного решения стационарного уравнения Власова в ограниченной области пространства для задач, в которых плотность тока поддерживается за счет падающих извне потоков плазмы. Типичными примерами таких задач являются токовые слои размерности 1D3V и 2D3V. Новый метод, в отличие от метода крупных частиц, удобен для эффективной организации массивно параллельных вычислений на кластерных суперкомпьютерах с выполнением основного объема вычислений на графических процессорах (GPU), а также имеет строгое и ясное математическое обоснование. В новом методе значение функции распределения в данном узле адаптивной сетки из фазового пространства одной частицы находится в результате расчета выпущенной из этого узла в прошлое фазовой траектории системы Ньютона-Лоренца (характеристики уравнения Власова) до момента её выхода из области моделирования, то есть до попадания фазовой траектории в область определения заданной на границе функции влета. Новый метод по сравнению с методом частиц, дает существенно лучшую аппроксимацию задачи. При этом новый

Fields, currents, particles in the magnetosphere

метод, хотя и требует на несколько порядков большего объема вычислений (в зависимости от специфики задачи), за счет эффективного использования графических процессоров (GPU) позволяет получить приемлемое время расчетов. В частности, применение нового метода позволило учитывать электроны в модели тонкого токового слоя, а также получить с приемлемым разрешением функции распределения ионов и электронов в токовом слое. В докладе представлены функции распределения ионов и электронов для одной стационарной конфигурации тонкого токового слоя.

Одновременные оптические и спутниковые наблюдения сияний в мантии: анализ отдельного события

В.В. Сафаргалеев, В.Н. Митрофанов, А.В. Ролдугин, С.В. Пильгаев (*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*)

Данные камеры всего неба в Баренцбурге (арх. Шпицберген) сравниваются с особенностями электронных и ионных высыпаний на спутнике DMSP F18 во время его пролета в поле зрения камеры 15 декабря 2012 г. Перед входением в касп со стороны мантии спутник обнаруживает два всплеска высыпающихся частиц. Всплеск мантийных высыпаний вдали от каспа наблюдается одновременно как в ионной, так и электронной компонентах. В области ионосферы, сопряженной со спутником, сияний при этом не обнаруживается, что объясняется слабой интенсивностью потока высыпающихся электронов и их небольшой энергией. Вблизи каспа более интенсивный всплеск высыпаний более энергичных электронов сопровождается практически полным «запиранием» ионов. Этот всплеск мантийных высыпаний сопряжен со слабой светящейся структурой в ионосфере. Запирание ионов свидетельствует о наличии ускоряющей разности потенциалов в силовой трубке, опирающейся на область свечения. Светящаяся структура является элементом так называемых «дрейфующих к полюсу авроральных форм», связываемых в литературе с пересоединением на дневной магнитопаузе. На возможную связь наблюдаемых явлений с пересоединившимися силовыми трубками, дрейфующими от каспа в антисолнечном направлении, указывает также дисперсия ионных высыпаний - возрастание энергии ионов по мере приближения спутника к каспу.

Давление ионов на полярной и экваториальной кромках ночного аврорального овала и их проецирование на экваториальную плоскость магнитосферы

О.И. Ягодкина¹, И.П. Кирпичев², В.Г. Воробьев¹, Е.Е. Антонова^{2,3}

¹Полярный Геофизический институт, Апатиты, Мурманская обл.

²ФГБУ науки Институт космических исследований РАН, г. Москва

³Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Определены значения давления ионов на полярной и экваториальной кромках ночного аврорального овала. Анализировались данные спутников DMSP F6 и F7, которые работали на круговых полярных орбитах с высотой —840 км. Используются данные электростатических анализаторов SSJ/4, регистрирующие потоки высыпающихся электронов и ионов в диапазоне энергий от 32 эВ до ~30 кэВ в 19 энергетических каналах для каждой популяции. Положения границ овала определялись в соответствии с моделью высыпаний, разработанной в ПГИ (<http://apm.pgia.ru/>). При определении положения границ аврорального овала в экваториальной плоскости магнитосферы использован метод морфологического проецирования без использования какой-либо модели магнитного поля. Учтены близость давления ионов к изотропному в авроральной магнитосфере и постоянство давления плазмы вдоль магнитной силовой линии в условиях магнитостатического равновесия. Проведено сравнение давлений ионов на высотах ионосферы с давлением ионов в экваториальной плоскости, полученным по данным пяти спутников миссии THEMIS. Показано, что зарегистрированные на высотах ионосферы значения давлений ионов превышают давления ионов в собственно плазменном слое. Экваториальная граница аврорального овала в полуночном секторе локализована на геоцентрических расстояниях ~7 RE, что хорошо соответствует положению границы инжекции энергичных частиц в экваториальной плоскости вблизи геостационарной орбиты. Полярная кромка овала локализована на геоцентрическом расстоянии ~ q_{w10} Re, что соответствует положению экваториальной границы области с высоким уровнем турбулентности в плазменном слое магнитосферы Земли.

Frequencies and Poynting flux directions of VLF chorus emissions in their source region as inferred from THEMIS data

A.G. Demekhov^{1,2}, U. Taubenschuss³, O. Santolik³

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, andrei@appl.sci-nnov.ru*

²*Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia*

³*Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic*

We present results of observations of VLF chorus emissions based on several events detected by THEMIS spacecraft within the source region. Using the THEMIS multicomponent wave data of parallel propagating chorus elements detected at some distance from the magnetic field minimum, we have found that the elements propagating equatorward had systematically higher frequencies and smaller amplitudes compared with simultaneously observed elements propagating away from the equator. The exponential growth of the elements propagating in both directions had close or equal values.

We propose an explanation of the observed feature on the basis of spatio-temporal evolution of the energetic electron distribution function in the course of VLF wave generation. The motion of electrons from the equator is accompanied by a decrease in their parallel velocity, which causes an additional increase in the wave frequency of the chorus elements generated by such electrons and propagating equatorward. The elements propagating in the opposite direction, i.e., from the equator, are formed by electrons whose parallel velocities are larger due to the adiabatic mirror force. Correspondingly, such electrons generate waves with lower frequencies. We present the results of numerical simulations confirming the proposed mechanism.

Resonant interaction of radiation belt electrons with oblique whistler-mode waves

V.S. Grach¹ and A.G. Demekhov^{2,1}

¹*Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We study the cyclotron and Landau resonant interaction of energetic electrons in the Earth's magnetosphere with whistler-mode waves having oblique direction of propagation with respect to the geomagnetic field. Acceleration in the regime of particle trapping by the wave field is considered, and we calculate particle motion for the cases where both Landau and the fundamental gyroresonance are present for the same particle. We demonstrate that the result of interaction in the Landau resonance can influence the subsequent interaction in the fundamental resonance, and vice versa.

SC-associated VLF emissions at two closely spaced auroral stations: Case study December 23, 2014

N.G. Kleimenova^{1,2}, I.A. Kornilov³, Yu.V. Fedorenko³, J. Manninen⁴, L.I. Gromova⁵

¹*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia*

²*Space Research Institute, Moscow, Russia*

³*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

⁴*Sodankylä Geophysical Observatory, Finland*

⁵*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Moscow, Russia*

The SC effects in VLF emissions have been studied based on the simultaneous VLF observations at Finnish station Kannuslehto (KAN) and Russian station Lovozero (LOZ) located at the same geomagnetic latitude but separated by ~400 km in the longitude. The considered SC has happened on December 23, 2014 at 11.14 UT under northward IMF direction that caused an absence of a strong particle input into the magnetosphere. Thus, geomagnetic and VLF effects in the magnetosphere were caused mainly by the enhancement of dynamic pressure. There was the daytime SC associated VLF burst (VLFsc) and the strong VLF hiss started ~20 min after SC. The sharp particle flux enhancement (typical for SC) was observed by THEMIS B (ThB) satellite, located in front of the magnetosphere at X=~50 Re and Y=~20 Re, about 10 min before the SC observed on the ground. The electron and ion increasing were observed as well by ThA, ThD, and ThE in the evening geotail (at X=~7 Re, Y=~10 Re). These satellites recorded strong pressure depletion between the VLFsc burst and the following VLF hiss onset. The VLFsc burst represented the composition of a high-frequency (~2-5 kHz) left-hand polarized part and a low-frequency (~0.5-1.5

Waves, wave-particle interaction

kHz) right-hand polarized part. According to the KAN data, the VLF signals arrived from meridional (North-South) direction. However, the LOZ system of the direction finding allows estimate the signal arriving azimuth. It was found that the VLF high-frequency part arrived from the South, but the VLF low-frequency part arrived mainly from overhead. The plasmopause location estimated by RBSP (A and B) satellites showed that KAN and LOZ were mapped outside of the plasmopause. We suppose that the 2-5 kHz hiss burst was originated inside of the plasmasphere and the 0.5-1.5 kHz hiss –outside of it. In spite of the general spectrogram and polarization similarity at KAN and LOZ, the small differences have been found.

Some kinds of MHD oscillations in the Geotail

A.S. Leonovich and D.A. Kozlov

Institute of solar-terrestrial physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk, Russia

Coupled modes can be formed by azimuthally small-scale Alfvén and slow magnetosonic (SMS) waves at the geomagnetic field lines crossing the plasma layer. It is shown that the linear transformation of these waves occurs in the current sheet on geomagnetic field lines stretched into the magnetotail. In most of the field line their structure is determined by the large-scale Alfvén wave structure. Near the ionosphere and in the current sheet, small-scale SMS wave field starts to dominate. Such modes are neutrally stable on the field lines that do not cross the current sheet, but switch to the ballooning instability regime on field lines crossing the current sheet. In the direction across magnetic shells the coupled modes are waves running away from the magnetic shell on which they were generated. At the field lines crossing the current sheet the structure of the field components of coupled modes has four singularities at the inflection points of a field line, that look like as resonance peaks.

Characteristics of the ion-cyclotron and whistler mode waves as revealed from the Van Allen Probe data

A.A. Lubchich, A.G. Demekhov, E.E. Titova, A.G. Yahnin

Polar Geophysical Institute, Apatity; e-mail: lubchich@pgia.ru

Using measurements of particle fluxes in a wide energy range, cold plasma density, and magnetic field onboard two VAP spacecraft during January 25 and 26, 2013, we calculate spatial and temporal growth rates of the ion-cyclotron and whistler mode waves. We demonstrate that the time intervals when our calculations suggest the highest values of the wave spatial growth rate correspond to enhanced wave activity detected by the spacecraft. The frequency range, which corresponds to the maximum growth rate is also in agreement with the frequency spectra of the observed electromagnetic waves. We analyze the influence of variations in the cold plasma density, energetic particle fluxes, and pitch-angle anisotropy on the wave generation. The relationship between the detected waves and precipitating energetic particles observed onboard low-orbiting NOAA POES spacecraft is discussed.

Daytime peculiar high-frequency VLF emissions at auroral latitudes

J. Manninen¹, T. Turunen¹, N.G. Kleimenova^{2,3}, Yu. Fedorenko⁴, A. Kozlovsky¹

¹*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

²*Schmidt Institute of the Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

³*Space Research Institute RAS, Moscow, Russia*

⁴*Polar Geophysical Institute RAS, Apatity, Russia*

Some puzzling VLF events, hidden behind the strong atmospherics, are discussed. The unusual daytime peculiar discrete VLF signals in the frequency range of ~4-10 kHz have been discovered after the applying a special filtration of impulsive sferics. We called them “bird-mode” emissions due to their spectral shape sometimes resembling flying birds. In the daily variations, these emissions demonstrate maximum of occurrence rate around the local magnetic noon. The emissions are typically observed during the winter. In December, they are recorded practically every day. The filtered VLF data obtained simultaneously at two closely located stations (KAN in Finland and Lovozero in Russia, L ~ 5.5) show very similar spectrograms. At both station, the “bird-mode” waves are right-hand polarized thus demonstrating that their ionospheric exit area is located not far from the receivers. Such behaviour is

typical for ducting whistler mode waves. Note, at $L \sim 5.5$, the equatorial gyrofrequency $f_{ce} \sim 65$ kHz, and the ducted whistler-mode is possible only if the wave frequency $f \leq 0.5 f_{ce}$, i.e. $f \leq 2.5$ kHz. However, the “bird-mode” emissions are observed at higher frequencies. The direction finding system at KAN and LOZ indicates that these emissions are arriving along meridian. The use of the vertical (Ez) antenna in LOZ revealed that some of these VLF waves arrived from South. The riometer data showed a small increasing of absorption at latitudes both higher and lower KAN. Thus, the mechanisms of generation and propagation of the “bird-mode” emissions still remain unknown.

Effect of large-scale artificial plasma inhomogeneity on the amplitude variations of ELF/VLF waves during their propagation in the Earth's ionosphere and magnetosphere

D.L. Pasmanik, A.G. Demekhov

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

We study geometric-optical trajectories of ELF/VLF waves in the Earth ionosphere and magnetosphere in the case where large-scale artificial plasma ducts are formed under the action of HF heating facilities like HAARP, Sura, or Arecibo. The profile of the plasma density and ion composition is calculated using the SAM12 ionospheric model, which was modified to take into account the influence of the high-power HF radiation on the ionosphere.

The ionospheric heating can produce a field-aligned region with perturbed plasma density which extends up to altitudes of several thousands km, or even along the whole field line in the case of heating at rather low latitudes. Its transverse scale is about 60-100 km at the ionospheric level, which is determined by a size of heating area.

We consider rays starting at an altitude of about 100 km from different points inside and near the magnetic tube at which the HF heating takes place. The sources of such waves could be due to lightning discharges or modulated HF heating.

We study the amplitude variation of the waves related to their refraction in the inhomogeneous plasma and compare the cases of heating facilities located at different latitudes. Our results demonstrate that the wave ducting inside the artificial plasma duct can lead to a significant (up to 10 times) increase in the amplitude of ELF/VLF signals.

Energetic proton precipitation equatorward of the isotropy boundary: Global distribution and comparison with EMIC waves

N.V. Semenova, T.A. Popova, T.A. Yahnina, A.G. Yahnin

Polar Geophysical Institute, Apatity; nadezhda.semenova@gmail.com

On the basis of NOAA POES observations we constructed a map of the global occurrence rate of energetic proton precipitation (EPP) equatorward from the isotropy boundary. One of the observed features is a separate EPP population on the dayside: This precipitation is observed within 10-17 MLT, and consists of wide ($>2^\circ$ in latitude) enhancements, which differ from the localized ($\leq 1^\circ$ in latitude) precipitation pattern in other MLTs. In contrast to localized EPP events, which tend to concentrate around $L=5-7$, the events on the dayside are spread at $L>7$. We compared the global distribution of EPP with observational statistics of EMIC waves revealed from magnetospheric spacecraft data, and found the remarkable similarity. To confirm the relationship between EPP and EMIC waves we considered simultaneous observations onboard THEMIS spacecraft and NOAA POES. The detailed consideration of few tens of conjugated events demonstrates that every EPP at low altitudes has an EMIC wave counterpart in the equatorial plane. Thus, both the statistical and case studies confirm that EPP events are the result of the ion-cyclotron instability in the equatorial magnetosphere.

Cold plasma density in the regions of the REP generation

T.A. Yahnina, A.G. Yahnin (*Polar Geophysical Institute*)

Observations of relativistic (~ 1 MeV) electron precipitation (REP) with the NOAA POES revealed two types of events, which are suggested to be related to wave-particle interaction. The first one is related to the energetic (>30 keV) electron precipitation and second one – to precipitation of energetic protons. Using cold plasma measurements onboard geosynchronous LANL spacecraft we tried to estimate the cold plasma density in the regions of the REP generation. We mapped REP onto the equatorial plane of the magnetosphere, and selected those events, which were

Waves, wave-particle interaction

originated close to the geostationary orbit. The density has been determined on the basis of measurements of two LANL spacecraft, one of which crossed the generation region before and another after the REP registration moment. Interpolation between these two values provides the estimation of the cold plasma density in the source region. We found ~70% of REP events related to energetic electrons were observed in connection with low-density ($<10 \text{ cm}^{-3}$) trough plasma, and some 30% of such events were within denser ($10\text{-}60 \text{ cm}^{-3}$) plasmaspheric plasma. Almost all REP events related to energetic protons were found within dense ($15\text{-}40 \text{ cm}^{-3}$) plasma. All dense plasma events were registered in the evening-night MLTs. We discuss how the obtained relation to cold, plasma density may help for determination of the wave modes responsible for scattering relativistic electrons into the loss cone.

Ускорение электронов до релятивистских энергий во внешнем радиационном поясе за счет взаимодействия с МГД колебаниями Pc5 диапазона

В.Б. Белуховский¹, В.А. Пилипенко²

¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты

²Институт физики Земли РАН, г. Москва

С использованием данных по магнитному полю и потокам заряженных частиц со спутников GOES, THEMIS детально исследовано ускорение электронов во внешнем радиационном поясе Земли с энергий от порядка 40 кэВ до энергий $> 2 \text{ МэВ}$. Для характеристики волновой активности магнитосферы в Pc5 диапазоне (1-7 МГц) использован ULF индекс. Возрастание величины потоков МэВ электронов происходит более чем на 1.5 порядка через 1-2 дня после роста ULF индекса и роста потоков кэВ электронов. Показано, что величина роста потоков электронов не зависит от интенсивности геомагнитной бури и может происходить без геомагнитной бури. При этом обнаружена связь величины потока МэВ электронов со скоростью солнечного ветра, наличием скачков в плотности солнечного ветра. В период роста ULF индекса происходит рост AE индекса. По-видимому, наличие “затравочных” электронов (50-100 кэВ), инжектируемых при суббуре, является необходимым условием появления релятивистских электронов. Рассмотренные события демонстрируют корреляцию между периодами с высокой скоростью солнечного ветра и ростом потоков релятивистских электронов, что подтверждает идею об ускорении электронов до МэВ энергий за счет дрейфового резонанса с МГД колебаниями Pc5 диапазона.

Связь дневных геомагнитных Pc5 пульсаций и вариаций авроральной светимости

В.Б. Белуховский¹, В.А. Пилипенко², О.В. Козырева², С.Н. Самсонов³, Д. Лоренцен⁴

¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты, belakhov@mail.ru

²Институт физики Земли РАН, г. Москва

³Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН, г. Якутск

⁴Университетский Центр на Шпицбергене, Норвегия

Исследованы одновременные Pc5 пульсации ($f \sim 3\text{-}5 \text{ МГц}$) в геомагнитном поле, интенсивности полярных сияний (в эмиссиях кислорода 557.7 нм и 630.0 нм, эмиссии азота 471.0 нм) и риометрическом поглощении по данным станций сетей CARISMA, CANMOS, NORSTAR. По наблюдениям на геостационарном спутнике GOES-8 эти геомагнитные Pc5 пульсации видны как несжимаемые волны с тороидальной поляризацией. Частоты Pc5 пульсаций в сияниях, геомагнитном поле, и риометрическом поглощении близки. Как для геомагнитных, так и для авроральных Pc5 пульсаций, наблюдается распространение к полюсу, а также уменьшение частоты с увеличением геомагнитной широты. При появлении авроральных Pc5 пульсаций отношение интенсивностей эмиссий 557.7/630.0 резко увеличивается, что свидетельствует о том, что авроральные пульсации являются следствием не просто модулированного высыпания частиц, а дополнительного периодического ускорения авроральных электронов полем альвеновской волны. Между Pc5 пульсациями в полярных сияниях и риометрическом поглощении не наблюдается высокой корреляции, что говорит об их общем источнике, но различных механизмах генерации. Предположительно, механизм модуляции авроральных эмиссий связан с взаимодействием резонансных альвеновских волн с областью продольного падения потенциала над авроральной ионосферой. Сопоставление широтной структуры дневных Pc5 пульсаций по данным сети магнитометров на Шпицбергене с данными сканирующего фотометра Longyearbyen показало, что широтный максимум спектральной мощности пульсаций находится на $3^\circ \pm 2^\circ$ градуса южнее границы открытых-замкнутых силовых линий, и механизм этих колебаний нельзя связать с колебаниями последней замкнутой силовой линии, как полагалось в ранних работах.

Модуляция параметров ионосферы глобальными Pc5 пульсациями, наблюдаемыми одновременно с помощью GPS-приемников и радара EISCAT

В.А. Пилипенко¹, В.Б. Белаховский², Д. Мурр³, Е.Н. Федоров¹, А.Е. Козловский⁴

¹*Институт физики Земли РАН, г. Москва*

²*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

³*Колледж Аугсбург, Миннеаполис, США*

⁴*Геофизическая обсерватория Соданкюля, г. Соданкюля, Финляндия*

Более ранние исследования показали, что полное электронное содержание ионосферы (ПЭС), определяемое по данным GPS приемников, достаточно чувствительно к наличию МГД возмущений. По данным GPS приемников в Скандинавии было показано, что во время появления мощных геомагнитных Pc5 пульсации наблюдаются пульсации в ПЭС с той же частотой. В данной работе проанализирован одновременный отклик ПЭС и ионосферных параметров, определяемых с помощью радара EISCAT, на глобальные Pc5 пульсации на восстановительной фазе сильной геомагнитной бури 31 Октября 2003 года. Сравнение Pc5 пульсаций в электронной концентрации для разных высот по данным радара EISCAT показало, что основной вклад в Pc5 пульсации в ПЭС обеспечивается нижней ионосферой, до высоты около 150 км, то есть E-слоем и нижней частью F-слоя. Этот факт говорит в пользу механизма появления Pc5 пульсаций в ПЭС за счет переноса плазмы вдоль геомагнитного поля альвеновской волной. Аналитические оценки и численное моделирование подтверждают эту точку зрения.

Новая модель распространения электромагнитных сигналов в литосфере

З.В. Суворова, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, О.И. Ахметов

Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН

Представлен новый метод численного моделирования распространения электромагнитных сигналов в литосфере, основанный на численном интегрировании уравнений Максвелла совместно с законом Ома и материальными уравнениями, в которых скалярные проводимость и проницаемости среды являются заданными функциями координат. Используется новая явная схема численного интегрирования уравнений Максвелла, которая позволила получить важные улучшения по сравнению с традиционной схемой (метод КРВО или FDTD в зарубежной литературе). Проводится сравнение результатов расчетов с точными решениями.

Квазипериодические ОНЧ излучения на спутнике Van Allen Probes и на Земле: наблюдения и моделирование

Е.Е. Титова¹, Б.В. Козелов¹, А.Г. Демехов^{1,2}, Д.Л. Пасманик², Ю. Маннинен³, О. Сантолик⁴, К. Клетцинг⁵, Дж. Ривс⁶

¹*ЛПИ, г. Апатиты, Россия, lena.titova@gmail.com*

²*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

³*Геофизическая обсерватория Соданкюля, Финляндия*

⁴*ИФА АН ЧР, г. Прага, Чешская Республика*

⁵*Университет Айовы, США*

⁶*Лос-Аламосская национальная лаборатория, США*

Квазипериодические ОНЧ сигналы (в диапазоне частот 2-6 кГц) наблюдались во время суббури 25.01.2013 на спутнике Van Allen Probe-A и на наземной станции в северной Финляндии. Спутник регистрировал ОНЧ сигналы вблизи геомагнитного экватора в ночном секторе на $L=3.0-4.2$; при этом он находился внутри плазмосферы. По мере движения спутника к более высоким широтам интервал между квазипериодическими элементами уменьшался от 6 мин до 3 мин. Было установлено однозначное соответствие между квазипериодическими элементами, зарегистрированными на земле и на спутнике, что доказывает временной характер наблюдаемых изменений интервала между элементами. Многокомпонентные измерения волновых электрических и полей на борту Van Allen Probe показали, что квазипериодические излучения

Waves, wave-particle interaction

представляли собой почти циркулярно поляризованные свистовые волны и в основном имели малые (менее 30°) углы распространения (между волновым вектором и геомагнитным полем). Вектор Пойтинга свистовых волн был направлен преимущественно от экватора. В вероятной области генерации этих сигналов ($L = 4$) наблюдались вариации функции распределения электронов с энергиями 10-20 кэВ, синхронные с квазипериодическими элементами. Во время паузы между элементами пич-угловое распределение электронов имело максимум около 90° , а во время формирования квазипериодического элемента распределение становилось более изотропным. Частотно-временная зависимость инкремента свистовых волн, рассчитанная для наблюдаемых на спутнике Van Allen Probe параметров холодной и горячей плазмы, включая пич-угловые распределения энергичных электронов, хорошо соответствует спектрам регистрируемых квазипериодических сигналов. Выяснено, что в области предполагаемого источника вариации магнитного поля с периодами, соответствующими периодам квазипериодических излучений, не наблюдались, что означает, что наблюдаемая модуляция ОНЧ излучений не связана с внешней модуляцией геомагнитной силовой трубки. В этом случае квазипериодические сигналы объясняются автоколебательными режимами циклотронной неустойчивости в магнитосферном мазере. В рамках модели проточного циклотронного мазера было выполнено численное моделирование таких режимов для параметров плазмы, близких к наблюдаемым, которое позволило получить независимую оценку характерного поперечного размера источника квазипериодических излучений, согласующуюся с наблюдениями.

On the origin of magnetic field of the Sun viewed as a star

Y.V. Strizhak, D.I. Ponyavin

Saint-Petersburg State University

Magnetic field of the Sun rotates with the Sun and changes during the 11-year cycle. It determines the interplanetary magnetic field structure of the solar wind and influences the Earth's magnetosphere. Origin of magnetic field variations on the Sun is still poorly understood. New data of high spatial and temporal resolution became available recently from space-based observatories. It allows to come close to solving the problem of identifying the sources of magnetic field variations

In the present work we used SDO data (Helioseismic and Magnetic Imager - instrument from the Solar Dynamics Observatory launched on February 11, 2010) and the data from the ground-based observatory WSO (Wilcox Solar Observatory). We analyzed magnetic fields of different scales, and found that the medium scale fields are significant in determining the global magnetic field of the Sun. In addition, the fields of opposite polarity are considered and contributions from southern and northern hemispheres are estimated.

Обособленные кластеры частиц с энергиями от десятков ГэВ в потоке космических лучей по данным нейтронных мониторов

Ю.В. Балабин

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

Нейтронные мониторы Баксан, Москва, Апатиты, Баренцбург оснащены скоростной системой сбора. Анализ данных, полученных на этих нейтронных мониторах, показывает, что в потоке частиц космических лучей высоких энергий (от десятков ГэВ) присутствуют обособленные сгустки частиц – транзиенты. Другими словами, нейтронные мониторы фиксируют кратковременные увеличения плотности потока частиц высоких энергий. Длительность таких увеличений составляет 20-40 сек. Плотность внутри транзиентов в два раза выше средней. Обособленность транзиентов выражена в том, что перед и после них наблюдается ”провал“ – кратковременное понижение плотности потока. Межпланетное пространство заполнено магнитным полем сложной структуры. В нем помимо регулярной части присутствуют магнитные облака, волны. Предполагается, транзиенты возникают в процессе фокусировки-дефокусировки частиц на магнитных неоднородностях в межпланетном пространстве. Ранее транзиенты не было возможности наблюдать, поскольку минимальное разрешение на нейтронных мониторах составляет 1 мин.

Новая глобальная сеть нейтронных мониторов

Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Л.И. Щур

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

Нейтронные мониторы Баксан, Москва, Апатиты, Баренцбург оснащены скоростной системой сбора, фиксирующей приход каждого импульса с точностью 1 мкс. Особенностью этой системы является возможность привязки системы к единому времени с той же точностью мкс. На трех станциях (Апатиты, Москва, Баксан) эта привязка выполнена с использованием специализированного приемника сигналов GPS. Таким образом, на трех мониторах регистрация каждого импульса (нейтрона) происходит не только в относительном времени (по часам компьютера), но и в едином мировом времени. До настоящего времени объединение нескольких разнесенных детекторов космических лучей с такой точностью не проводилось. Предполагается, новая сеть нейтронных мониторов позволит проводить наблюдения различных кратковременных явлений в космических лучах.

Поведение плотности космических лучей в начале Форбуш-эффектов

А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, М.А. Абунина, А.А. Абунин, В.А. Оленева, В.Г. Янке

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук

Исследуется поведение плотности космических лучей в начале Форбуш-эффектов, в первые часы после прихода межпланетной ударной волны. Используются данные о вариациях плотности КЛ с жёсткостью 10 ГВ, полученные по наблюдениям мировой сети нейтронных мониторов в 1957-2013 гг. методом глобальной съемки. Выявлено большое разнообразие поведения плотности космических лучей после прихода ударной волны. В целом, наблюдается корреляция начальной вариации плотности КЛ с полной величиной Форбуш-эффекта и мощностью сопутствующего геомагнитного возмущения, что может быть использовано для прогнозирования геофизической обстановки у Земли.

“Сверхмедленный” солнечный ветер

И.А. Васильева, Д.И. Понявин (*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*)

Явление “сверхмедленного” солнечного ветра представляет большой интерес, так как на данный момент существует предположение о наступлении гранд минимума. Одним из свидетельств которого, возможно являются учащающиеся события “космического штиля”. Вероятнее всего, это связано с активностью Солнца на определенной фазе солнечного цикла. Одна из гипотез, требующая проверки, гласит, что в результате перестройки поля на Солнце полностью или частично блокируется область, из которой до этого вытекал солнечный ветер. Таким образом, позади ранее выброшенного ветра (стартовавшего пока область была открытой) и образуется сильное разрежение.

По данным известной базы OMNI был проведен анализ скорости солнечного ветра за период 1963 – 2015 гг, с целью установления природы «сверхмедленного» солнечного ветра (скорости <300 м/с). Были также исследованы следующие параметры: температура, плотность и межпланетное магнитное поле.

Установлены закономерности появления “сверхмедленного” солнечного ветра в цикле солнечной активности.

Прикладное использование программного комплекса RUSCOSMIC в задачах расчета ионизации атмосферы Земли протонами первичных космических лучей

Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин (*Полярный геофизический институт, Анатиты*)

В наших более ранних работах по исследованию прохождения протонов космических лучей через атмосферу Земли с помощью численных методов Монте-Карло был описан программный комплекс RUSCOSMIC и представлены полученные с помощью него результаты. Целью данной работы является наглядная иллюстрация возможности применения этих данных для расчета скорости ионизации вещества атмосферы при прохождении через него протонов с энергетическими спектрами, соответствующими различным периодам (галактические без возмущений и в период возмущений). Также рассматривается расширение модели до способности расчета на различных географических координатах (задание «сетки»), что является предпосылкой к созданию так называемой near real-time модели.

Модуль сравнения результатов расчета RUSCOSMIC с экспериментальными данными

Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин (*Полярный геофизический институт, Анатиты*)

Помимо вычисления ошибки самого метода Монте-Карло, применяемого в нашем программном комплексе, необходимо также проводить постоянную проверку полученных расчетных данных с уже существующими экспериментальными. Это позволяет отладить модели взаимодействия, применяемые в программном комплексе, для более сложных задач и избежать ряда ошибок. Основными здесь являются база данных запуска шаров-зондов (высотные профили). В отличие от предыдущих работ, здесь представлен ряд сравнений.

О линиях магнитного поля, связывающих токовый слой с источниками жесткого рентгеновского излучения на фотосфере

А.И. Подгорный

Физический институт РАН им. П. Н. Лебедева, г. Москва, podgorny@lebedev.ru

Механизм солнечной вспышки объясняет первичный взрывной процесс в солнечной короне освобождением энергии, накопленной в магнитном поле токового слоя, образовавшегося над активной областью в окрестности особой линии магнитного поля X-типа. Электродинамическая модель солнечной вспышки объясняет источник теплового мягкого рентгеновского излучения нагревом плазмы, вызванным диссипацией магнитного поля. Источники жесткого рентгеновского излучения появляются вследствие торможения в нижних плотных слоях солнечной атмосферы пучков электронов, ускоренных в продольных токах, вызванных электрическим полем Холла в токовом слое. Поскольку конфигурацию магнитного поля в короне над активной областью невозможно определить из наблюдений, проводилось численное МГД моделирование, при котором все условия задавались из наблюдений. Не смотря на применение специально разработанных методов, которые реализованы в программе ПЕРЕСВЕТ, расчет удалось провести только в сокращенном масштабе времени при котором магнитное поле у фотосферной границы вычислялось неточно. Поскольку конфигурация поля над активной областью может быть настолько запутанной, что токовый слой невозможно найти простым способом, разработана графическая система поиска источников рентгеновского излучения по результатам численного МГД моделирования. Поиск токового слоя, в котором, согласно электродинамической модели солнечной вспышки, располагается источник мягкого рентгеновского излучения, основан на свойстве токового слоя, согласно которому, локальный максимум абсолютной величины плотности тока располагается в центре токового слоя. Графическая система поиска позволяет выбрать в расчетной области любую плоскость, как угодно ориентированную в пространстве, и наносит на неё проекции положений максимумов плотности тока. На плоскость наносятся так же линии равной плотности тока и плоские максимумы плотности тока, которые должны быть окружены этими линиями. Система позволяет найти положение каждого максимума плотности тока, а затем проанализировать конфигурацию магнитного поля в его окрестности, чтобы выяснить располагается ли здесь токовый слой, т. е. источник теплового рентгеновского излучения. Анализ МГД расчета над активной областью NOAA 10365 показал хорошее (с точностью до 8") совпадение положения токового слоя с наблюдаемым положением источника мягкого рентгеновского излучения для вспышки, произошедшей 27 мая 2003 г в 02:53. Источники пучкового жесткого рентгеновского излучения должны располагаться в местах пересечения с солнечной поверхностью силовых линий, выходящих из токового слоя. Для их поиска на любой плоскости с нанесенными на неё максимумами плотности тока и линиями равной плотности тока предусмотрена возможность построить проекцию любой силовой линии и нанести точки её пересечения с солнечной поверхностью. В рассчитанном магнитном поле, которое вблизи фотосферной границы может отличаться от реального вследствие возникающей у границы неустойчивости, силовые линии, проходящие на расстоянии – 3000 км от центра токового слоя, пересекают фотосферную границу в точках, расположенных вблизи самого мощного источника жесткого рентгеновского излучения с энергией 50 - 100 кэВ.

Модель солнечной вспышки и наблюдаемые источники рентгеновского излучения

А.И. Подгорный¹, И.М. Подгорный²

¹*Физический институт РАН им. П. Н. Лебедева, г. Москва, podgorny@lebedev.ru*

²*Институт астрономии РАН, г. Москва*

Солнечная вспышка представляет собой взрывной процесс, при котором в течение нескольких десятков минут освобождается энергия 10^{32} эрг. Вспышки происходят над активными областями, в которых магнитное поле достигает 3000 Гс. Во время вспышки освобождается магнитная энергия. Рентгеновские наблюдения на космическом аппарате RHESSI в мягком диапазоне 1-20 кэВ показывают, что первичное энерговыделение вспышки происходит в короне на высотах 15000 – 30000 км. Согласно результатам численного МГД моделирования вспышка происходит из-за накоплением магнитной энергии в магнитном поле токового слоя, который возникает в окрестности особой линии X-типа в магнитном поле над активной

The Sun, solar wind, cosmic rays

областью под воздействием возмущений, распространяющихся от солнечной поверхности. Предложена электродинамическая модель солнечной вспышки, объясняющая ее основные наблюдаемые проявления. Согласно этой модели, первичное освобождение энергии происходит в токовом слое солнечной короны, где появляется источник теплового мягкого рентгеновского излучения вследствие нагрева плазмы, вызванного диссипацией магнитного поля. Источники жесткого рентгеновского излучения появляются вследствие торможения в нижних плотных слоях солнечной атмосферы пучков электронов в продольных токах, вызванных электрическим полем Холла в токовом слое. Основным критерий. правильности модели солнечной вспышки состоит в объяснении возникновения соответствующей конфигурации поля в короне при реальной медленной эволюции поля на солнечной поверхности. Поскольку конфигурацию магнитного поля в короне над активной областью невозможно определить из наблюдений, проводилось численное МГД моделирование, при котором все условия задавались из наблюдений. Несмотря на применение специально разработанных методов, которые реализованы в программе ПЕРЕСВЕТ, расчет удалось провести только в сокращенном масштабе времени, при котором магнитное поле у фотосферной границы вычислялось неточно. Анализ МГД расчета над активной областью NOAA 10365 показал хорошее совпадение положения токового слоя с наблюдаемым на аппарате RHESSI положением источника мягкого рентгеновского излучения для вспышки, произошедшей 27 мая 2003 г в 02:53. Используемая расчетная сетка и сильно сокращенный масштаб времени для ускорения расчета позволили сделать предварительное заключение о расположении источников жесткого рентгеновского излучения в местах пересечения фотосферы линиями поля, выходящими из токового слоя. Полученные результаты дают независимое подтверждение механизма солнечной вспышки, основанной на быстром освобождении магнитной энергии токового слоя в солнечной короне. Однако, для более точного исследования проблемы, должен быть проведен расчет в реальном масштабе времени на суперкомпьютере, для чего необходимо распараллелить вычисления.

Солнечная вспышка – ускоритель протонов

И.М. Подгорный¹, А.И. Подгорный²

¹Институт астрономии РАН, г. Москва

²Физический институт РАН им. П. Н. Лебедева, г. Москва

100 летние исследования частиц высокой энергии, приходящих из далеких областей космоса, не привели к пониманию физики ускорения регистрируемых частиц. Наиболее популярные механизмы ускорения связываются с ударными волнами. Однако возможные механизмы ускорения протонов в ударных волнах остаются только гипотезами. Естественно, что обнаружение источников протонов с энергией до 20 ГэВ, генерируемых на Солнце, вселяет надежду на возможность выяснения механизма генерации космических лучей. Основная информация о солнечных космических лучах в настоящее время получается из мировой сети нейтронных мониторов. Анализ данных мировой сети, проведенный в ПГИ КНЦ РАН, показал возможность в некоторых случаях отдельно определять спектры ускоренных в источнике протонов и трансформированные спектры при переносе ускоренных ионов замагниченным солнечным ветром. Пути распространения протонов, ускоренных на Солнце, могут быть поняты из сравнения данных нейтронных мониторов с результатами измерений на аппаратах GOES. Данные предварительного анализа измерений на аппаратах GOES докладывались авторами на Апатитском семинаре в 2015 г. Для большинства протонных событий связь с конкретной вспышкой и конкретной активной областью сомнений не вызывает. Измерения на аппаратах GOES указывают на распространение энергичных протонов от вспышек на западной части диска Солнца без столкновений вдоль спиральной линии магнитного поля. К магнитосфере Земли могут подойти протоны от вспышек на обратной стороне Солнца. С запаздыванием на несколько часов приходит фронт потока протонов от восточных вспышек. Другая часть протонов приходит к магнитосфере Земли со скоростью солнечного ветра - длительность регистрируемого протонного импульса составляет около трех суток. Наблюдаются серии протонных событий продолжительностью 2 – 3 недели из нескольких больших протонных событий. Такие серии наблюдаются не чаще чем 2 – 3 раза в 11 летнем цикле активности. Природа триггера серии протонных событий не ясна.

Эволюция быстрых флуктуаций параметров плазмы при пересечении магнитослоя магнитосферы Земли

Л.С. Рахманова¹, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹

¹*Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия*

²*Научно-исследовательский Институт Ядерной Физики имени Д.В. Скобельцына Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; e-mail: rakhlud@gmail.com*

Магнитослой – турбулентная область перед магнитопаузой – является интерфейсом между солнечным ветром и магнитосферой Земли. Турбулентность плазмы выражается в флуктуации всех параметров плазмы и магнитного поля в магнитослое в широком диапазоне частот. На данный момент в области высоких частот (> 1 Гц) изучены только флуктуации магнитного поля в магнитослое из-за отсутствия спутниковых измерений параметров плазмы с достаточно высоким временным разрешением. В данной работе использованы данные прибора БМСВ на борту спутника Спектр-Р, который измеряет характеристики плазмы с временным разрешением до 31 мс. Рассматриваются несколько примеров пересечения спутником магнитослоя и исследуется динамика турбулентных свойств плазмы при удалении от границ магнитослоя – магнитопаузы и околоземной ударной волны. В работе проводится статистическое исследование уровня высокочастотных флуктуаций параметров плазмы магнитослоя и характеристик частотных спектров флуктуаций.

Изучение фронтов межпланетных ударных волн, зарегистрированных прибором БМСВ в солнечном ветре

О.В. Сапунова, Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sapunova_olga@mail.ru

Была исследована тонкая структура фронтов Межпланетных Ударных Волн (МУВ), зарегистрированных установленным на спутнике СПЕКТР-Р плазменным спектрометром БМСВ, позволяющем получать параметры плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением – 0.031 с. Это дало возможность подробно исследовать фронты МУВ. Значения магнитного поля были взяты со спутников WIND, THEMIS-B/-C, CLUSTER C1-4.

Показано, что толщина фронта МУВ лежит в пределах от 40 км до 600 км. В некоторых событиях сравнение толщины фронта по плазме и по магнитному полю дало разницу по порядку величины. Во многих событиях наблюдались колебания, опережающие фронт МУВ (как по параметрам плазмы, так и по значениям магнитного поля). Их длина составила от 70 до 400 км. Сравнение длин колебаний, определенных по плазме и магнитному полю показало хорошее соответствие – отличие составило не более 35%.

Ionosphere and upper atmosphere

A technique for improvement of multi-pulse HF radar sounding capabilities when simultaneously observing ionospheric processes with different temporal scales

O.I. Bergardt, K.V. Grkovich and R.R. Fedorov

ISTP SB RAS, Irkutsk, Russia

Multi-pulse radar sequences are known to be the most common approach to monostatic sounding of ionosphere in HF range. To increase efficiency the pulse separation within a sequence is based on a concept of Golomb rulers. However, this kind of sounding signals require balancing the accumulation time and life times of the observed ionospheric processes. Doubling a sequence by its inversion is shown to improve some sounding qualities. The present work describes a way of pulse sequencing and data processing technique that are going to allow varying temporal parameters and better corresponding to the scattering dynamics.

The study was supported by project #46.4.2 of Presidium of the Russian Academy of Science.

D-region ionosphere effective recombination coefficients from solar eclipse observations

S.M. Cherniakov

Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russia

The photochemistry of processes in the lower ionosphere is rather difficult and up to the end is not developed: it is necessary to specify photochemical schemes, exists big uncertainty in coefficients of separate reactions and concentration of small neutral components. Therefore, introduction of the effective coefficients determining the total speed of several reactions was widely adopted when modeling the lower ionosphere, especially the D-region. Experimental opportunities of obtaining of effective recombination coefficients are rather limited. By one of the methods allowing to define effective recombination coefficients it is based on the phenomenon of an solar eclipse and the changes of electron concentration in the ionosphere connected with it. During a solar eclipse there is a short-term and controlled change of intensity of solar ionizing radiation that allows to research photochemical processes at known input parameters. The temporary delay between the eclipse maximum (the sunlight minimum) and the electron concentration minimum at the chosen height during the "short night" is defined as the "sluggishness" (*Appleton E.V., Ratcliff J.A.*) and "relaxation time" (*Alpert Ya. L., Mitra A.*). Knowing the temporary delay at the considered ionosphere height at the known electron concentration value, it is possible to calculate an effective recombination coefficient for this height.

During solar eclipses on 1 August 2008, on 1 June 2011 and on 20 March 2015 at the partial reflection facility of the observatory "Tumanny" (69° N, 35.7 E) observations of the lower ionosphere behavior were made. On the basis of the obtained data profiles of electron concentration at heights of the lower ionosphere were received. Calculation of relaxation times allowed to define effective recombination coefficients at some heights of D region of the ionosphere.

Ionospheric effects during the 20 March 2015 total solar eclipse at high latitudes

S.M. Cherniakov, V.A. Tereshchenko, O.F. Ogloblina, E.B. Vasiliev, A.D. Gomonov

Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russia

The medium-wave facility of partial reflections of the Polar Geophysical Institute (obs. "Tumanny", 69 N, 35.7 E) has observed behavior of the lower high-latitude ionosphere during the 20 March 2015 total solar eclipse. There were several effects during the eclipse. On the height 60—80 km the ionosphere has shown the effect of a "short night", but at the higher altitudes local enhanced electron concentration regions were revealed and the behavior of the electron concentration had the wave-like form. It can be explained by influence of acoustic-gravity waves which originated after cooling of the atmosphere by the lunar shadow during its supersonic movement along the earth surface. The periods and behavior of waves during the eclipse were also calculated using data of the riometer at the obs. "Tumanny" and the magnetometer at the obs. "Loparskaya" (68.63 N, 33.38 E). The "short night" effect has given the opportunity to calculate effective recombination coefficients for the heights of the D region.

The latitudinal and longitudinal variability of the ionospheric electron density at sub-auroral and high latitudes during solstice conditions

A.T. Karpachev¹, V.V. Klimenko², M.V. Klimenko^{2,3}, N.V. Chirik³, P.A. Vasiliev³, I.E. Zakharenkova⁴, A.M. Vesnin⁵, K.G. Ratovsky⁵, I.A. Galkin⁶

¹*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS, Moscow, Russia*

²*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS, Kaliningrad, Russia, e-mail: maksim.klimenko@mail.ru*

³*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

⁴*Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France*

⁵*Institute of Solar-Terrestrial Physics, SB RAS, Irkutsk, Russia*

⁶*UML Center for Atmospheric Research, University of Massachusetts Lowell, Lowell, MA, USA*

The main objective of our study is to check the possibility of the first principles Global Self-consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere and Protonosphere (GSM TIP), International Reference Ionosphere (IRI), NeQuick and Main Ionospheric Trough (MIT) empirical models, and IRI Real-Time Assimilative Mapping (IRTAM) for reproduction the main morphological features of the latitudinal and longitudinal variations in the electron density of the ionosphere-plasmasphere system during quiet solstice conditions. For this purpose, we compared the GSM TIP, IRI, NeQuick, MIT, and IRTAM model results with ground-based ionosonde, topside sounding and radio occultation satellite data. We identified the main morphological features of the latitudinal and longitudinal variations in the F peak electron density, plasmospheric and total electron content during winter and summer solstice from mid- to high- latitudes. The Weddell Sea and Yakutsk anomalies and longitudinal structure of the main ionospheric trough (the light ion trough) in the total, ionospheric and plasmospheric electron content are considered. We discussed the formation mechanisms of these main morphological features of the sub-auroral and high-latitude ionosphere on the basis of detailed analysis GSM TIP model results.

This study was financially supported by RFBR Grants No. 15-35-20364 (M. V. Klimenko, V.V. Klimenko, I.E. Zakharenkova), 14-05-00788 (A.T. Karpachev, K.G. Ratovsky, N. V. Chirik) and 16-35-50047 (A.M. Vesnin).

Acoustic-gravity waves in the observations of tropospheric and ionospheric parameters in the Kaliningrad region

I.V. Karpov^{1,2}, O.P. Borchevkin¹, A.I. Karpov¹, A. V. Ilminskaya¹, E.S. Smirnova¹

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

²*KF IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

Hypotheses about the impact of the processes in the lower atmosphere on the state of the ionosphere and upper atmosphere are based on the concept of generation of acoustic-gravity (AGWs) and internal gravity (GWs) waves in the lower atmosphere, and their propagation in the upper atmosphere. Simultaneous observations of variations of the parameters of the lower atmosphere and ionosphere in terms of perturbations is interest to confirm the validity of such representations. Regular source of perturbations of all layers of the atmosphere is the solar terminator (ST). We present the results of the analysis of observations of variations of tropospheric and ionospheric parameters during periods of passing solar terminator. Observations of variations in the parameters of the lower atmosphere performed by lidar. Variations of the ionospheric parameters TEC (Total Electron Content) were determined by observation of signals from navigation satellites. The observations were made in Kaliningrad (54°N, 20°E) in the 2012-2015. Analysis of the observations revealed a number of features in the dynamics of the AGWs during periods of passage ST. In the troposphere, the passage ST is accompanied by increased harmonic amplitudes with periods of 4 - 10 min. The lidar observations clearly separated wave components corresponding acoustic and internal gravity waves. The ionospheric observations also noted an increase in the amplitudes of the harmonics TEC variations with periods of AGWs (8-14 min.) Continued for 1-2 hours in the illuminated region of the ionosphere. It is assumed that the gain variations in the ionosphere with such periods may be due to AGWs propagating from the field terminator in the lower atmosphere.

Ionosphere and upper atmosphere

The perturbations of ionospheric parameters during severe meteorological storms

I.V. Karpov^{1,2}, O.P. Borchevkina¹, R.Z. Dadashev¹, A.V. Ilminskaya¹

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

²*KF IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

Observations of variations in the parameters of the ionosphere during periods of cyclone activity detected gain variation of the ionosphere with periods of 2-20 min. Excitation of these components of ionospheric variations associated with local meteorological disturbances in the lower atmosphere. To analyze the state of the ionosphere during periods of weather disturbances have been selected for the most violent storms in the Kaliningrad region in the last five years that are not accompanied by geomagnetic disturbances. To characterize the meteorological conditions we used atmospheric pressure data. The characteristics of the ionosphere above the Kaliningrad region determined according vertical sounding of the total electron content (ionospheric parameters TEC). Results of the analysis of ionospheric observations have shown that during periods of meteorological disturbances decrease in the amplitude of the diurnal variations TEC, reaching about 50% in relation to meteorological calm days. The variations in the critical frequency of the F-region of the ionosphere observed decrease in the amplitude of the diurnal variations in the ~ 15%, and the emergence periods manifestations F - scattering. Analysis ionospheric data suggests that the disturbance identified by ionospheric conditions determined by the local meteorological conditions.

Development of the polarization jet during giant magnetic storms and during recurrent magnetic disturbances

V.L. Khalipov¹, A.E. Stepanov^{2,3}, G.A. Kotova¹, S.E. Kobayakova², V.V. Bogdanov⁴, A.V. Kaisin⁴

¹*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia, khalipov@iki.rssi.ru*

²*Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, SB of RAS, Yakutsk, Russia*

³*Technological Institute of the Northern-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia*

⁴*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB of RAS, Kamchatka region, Russia*

The data of the DMSP satellites and Doppler measurements on ionospheric stations DPS-4 in Yakutsk (L=3) and Zhigansk (L=4) were used to study vertical and horizontal drifts of plasma in the F2 region of the ionosphere during the development of polarization jet (PJ) in the course of giant world magnetic storms.

The ground-based data suggests that in the time periods of PJ observation, in the F region on the latitudes of the main ionospheric trough, vertical drift velocity increases up to 50 - 150 m/s while the horizontal westward drift velocity increases up to 300 – 700 m/s. The corresponding velocities measured by the DMSP satellites are 1 - 2 km/s and 2 - 3 km/s, respectively. The plasma upflowing is registered for many hours.

During the recurrent magnetic disturbances the early PJ appearance in the post noon sector is observed at 15 – 16 MLT. Besides, the magnetic data of the ground-based stations in Irkutsk, Khabarovsk, Yakutsk, Magadan, and Petropavlovsk-Kamchatsky are also analyzed.

The work is partially supported by the Program of RAS P7.

GSM TIP simulation of the ionosphere at high, middle and low latitudes using LC06 empirical model of field-aligned currents

V.V. Klimenko¹, R.Yu. Lukianova^{2,3}, M.V. Klimenko^{1,4}, N.V. Chirik⁴

¹*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Kaliningrad, Russia, e-mail: maksim.klimenko@mail.ru*

²*Geophysical Center RAS, Moscow, Russia*

³*Space Research Institute RAS, Moscow*

⁴*Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

Recently we presented the results of comparative analysis of the electric field distribution in the ionosphere during the geomagnetic storm on May 2–3, 2010. Two models utilizing the different approaches were used: the Global Self-consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonosphere (GSM TIP) and the two-hemisphere model of ionospheric electrodynamics (LC06). The main advantage of the LC06 model is that it uses as the input

parameters the realistic distribution of field-aligned currents predicted by the statistical model based on the measurements of magnetic field variations onboard the Magsat, Ørsted, and CHAMP low-orbit satellites. These measurements were carried out in both hemispheres for the different seasons and levels of solar and geomagnetic activity and combinations of the IMF BZ and BY components. In the present study we model the ionosphere under the quiet geomagnetic conditions. The LC06 model is used to establish the input parameters for the GSM TIP. The calculated global distributions of the ionospheric electric field and electron density at the F region height are examined in order to answer the question to what degree the utilization of LC06 is capable to improve the results of GSM TIP. For this purpose we perform several different runs of the GSM TIP model and then compare the modeling results with the results of statistical analysis of the radio occultation data obtained from the CHAMP, GRACE and Formosat-3/COSMIC satellites.

This work was supported by RFBR Grants №15-35-20364 and 14-05-00788.

Propagation properties of daytime tweek atmospheric

I. Kolmasova^{1,2}, O. Santolik^{1,2}, R. Lan¹, L. Uhlir¹

¹*Institute of Atmospheric Physics AS CR, Prague, Czech Republic*

²*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, Czech Republic*

We present results of recent measurements of daytime tweek atmospheric, which we have recorded in a favorable electromagnetic environment on the summit of La Grande Montagne (1028 m, 43.9410N, 5.4836E), Plateau d'Albion, France in 2015. Waveforms of the vertical electric field and two horizontal components of the magnetic field have been measured by a VLF/ELF analyzer with a sampling interval of 20 us which we are preparing for the Luna-resource and Resonance spacecraft missions. A ground-based version of the analyzer is coupled with a 10-cm spherical electric antenna located 2 m above the ground and two 12-turn magnetic loop antennas with an affective area of 4 m² (E-W and S-N components).

The observed daytime tweek atmospheric have a clear frequency dispersion which we are able to analyze above the first ionospheric cutoff. We estimate model parameters of the characteristic frequency dispersion as a function of time. Using the obtained parameters we are able to evaluate the reflection heights, attenuation factors, and propagation distances from the source lightning discharges which generate these unusual daytime tweek atmospheric.

Numerical simulation of the behavior of super-small-scale irregularities in the ionospheric F layer illuminated by powerful high-frequency radio waves

O.V. Mingalev, M.N. Melnik, V.S. Mingalev

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

The behavior of the magnetic field aligned super-small-scale irregularities in the concentration of charged particles, existing naturally in the near-Earth rarefied plasma, is studied with the help of the numerical simulation. The two-dimensional mathematical model, developed earlier in the Polar Geophysical Institute, is applied to study a time evolution of initially created irregularities. The mathematical model is based on numerical solution of the Vlasov-Poisson system of equations, with the Vlasov equations describing the distribution functions of charged particles and the Poisson equation governing the self-consistent electric field. The Vlasov equations are numerically solved applying a macroparticle method. The Poisson equation is solved using a finite-difference method. In the applied version of the mathematical model, a motion of the positive ions is taken into account.

The time evolution of the super-small-scale irregularities existent in the F-layer ionospheric plasma is studied with the help of the mathematical model not only under natural conditions but also under action of high-power high-frequency radio waves, pumped into the ionosphere by ground-based ionospheric heaters during the period of an active experiment. Calculations were made using the input parameters of the model typical for the nocturnal F2-layer ionospheric plasma. The dynamics of the irregularity is studied whose cross section is much less than the mean free path of particles between successive collisions and commensurable with a Debye length. The results of simulation indicate that, in the course of time, the irregularity vanishes and recovers periodically, with its parameters fluctuating. A presence of external electric field which represents a high-power high-frequency radio wave, pumped into the ionosphere, ought to influence significantly on the bulk flow velocities of electrons and positive ions, with the vectors of the mentioned velocities rotating.

Ionosphere and upper atmosphere

Parametric (riometric) model for calculating the intensity of the PCA absorption

D.D. Rogov, V.A. Uliev, A.V. Frank-Kamenetsky

Arctic and Antarctic Research Institute (AARI, St. Petersburg); e-mails: rogovdenis@mail.ru, vauliev@yandex.ru

After the powerful solar flares a significant increase in the absorption of short radio waves, called polar cap absorption type or PCA phenomenon, is recorded by riometers at high latitudes. The PCA absorption is heterogeneously distributed at high latitudes. Number of high-latitude stations of riometer observations is relatively few. Therefore, to determine the PCA absorption at any point at high latitudes model calculations are performed.

There are two basic types of models for the calculation of the PCA absorption: numerical and empirical. For these models, the input data are the values of the intensity of the fluxes of solar protons. [n this paper, we propose a new model of calculating the intensity of the PCA absorption called parametric (riometric) model. The starting point in this model are the experimental values of the PCA absorption at one station in the center of the polar cap. These values are recalculated into data of absorption at any point at high latitudes. For recalculation the two parametric coefficients of $K_{m\text{dr}}$ and K_{dnv} are used, which are the relative absorption during the PCA effects of the midday recovery (MDR) and of day-night variations (DNV). The PCA absorption values, obtained using the parametric model, agree well with the experimental data. The parametric model has a simple algorithm, and allows you to quickly calculate the absorption at any point at the high latitudes, construct a map of the PCA absorption at high latitudes and separate the two kinds of absorption: PCA and AA (auroral absorption).

Simultaneous observations of gravity waves in auroras and by partial reflection radar

V.C. Roldugin, S.M. Chernyakov, A. V. Roldugin (*Polar Geophysical Institute, Apatity*)

Some events of wave-like pattern of night sky intensity are revealed on data of all-sky camera in Lovozero. Its wave-length is about of several tens kilometers, their period is about 15 — 30 minutes, and we identify them as acoustic-gravity waves. Two cases are compared with data of partial reflection radar in Tumanny observatory. Peaks of reflection intensity at 80 – 90 km took places in these cases, and the intensity on this altitude oscillated with periodicity similar luminous one.

Dynamics of plasma-wave channels in the resonant frequency range in the Earth's ionosphere

E.A. Shirokov, Yu.V. Chugunov (*Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia*)

The report deals with an analytical model of dynamics of plasma-wave channels in the resonant frequency range in the Earth's ionosphere. A plasma-wave channel is a plasma density duct that is elongated along the geomagnetic field. It is formed due to ionization of a background plasma in the region of antenna's strong field. (We assume this antenna to be placed on a rocket.) The growth of channel is supported by the waves that are radiated by the antenna and propagated inside the channel. Therefore, the plasma-wave channel is a self-consistent discharge structure. The waves that support the channel are quasi-electrostatic ones under the resonant conditions. The proposed analytical model is based on the obtained self-consistent soliton-like electric field and plasma density distributions.

F-spread characteristics and their relation to the middle latitude magnetic activity level

V.A. Telegin^{1,4}, G.A. Zhibankov², V.A. Panchenko¹, V.G. Vorobjev³, O.I. Yagodkina³

¹*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the RAS, Moscow*

²*Institute of physics, southern Federal University, Rostov-on-Don*

³*Polar geophysical Institute, Apatity*

⁴*OAONPK"NIIDAR" Moscow*

We used the 15-minute ionograms of DPS-4 (Moscow, IZMIRAN) obtained during 2013-2014. The intensity of F-spread in MHz (parameter dF_s) and points (0, 1, 2, and 3) were determined according to [Gershman et al., 1984]. We used the authors developed automated algorithm for estimating the force of F-spread. After verification of the algorithm by comparing with the results of manual processing, it was concluded that the algorithm is suitable for mass data processing DPS-4 ionograms.

Diurnal variation in the probability of observing F-scattering of various types was examined. It is shown that the strong scattering (3 points) is most likely to be observed in midnight time, while the weak scattering of a point 0 is observed with a maximum probability in the daytime. The diurnal distribution of F-scattering of points 1 and 2 during winter season indicates the presence of additional peaks in intervals 14-17 UT and 03-06 UT, the appearance of which may be associated with a terminator.

The behavior of dFs in the winter season 2012-2013 was investigated. The main characteristic feature of diurnal values dFs is a well-pronounced nocturnal maximum. Additional features are a slight increase around local noon, and two additional peaks in prenoon and afternoon hours. The appearance of morning peak coincides with the beginning of the growth in the F2 layer electron concentration. The afternoon maximum is formed at a late stage of the electron concentration reducing that allows us to consider the appearance of such highs as the effect of the terminator associated. In the night sector the scattering layers were at altitudes of 300-380 km, and in the noon sector at altitudes 260-300 km. There is a clear trend towards an increased effect of F-spread (measured in MHz value dFs) with the increasing of the scattering height.

The processed data, despite the large amount of statistics and qualitative similarity between the curves for 2013 and 2014, do not allow to draw unambiguous conclusions about the dependence of the probability of occurrence F-spread on Kp index, or Dst, or AL. The practical absence of correlation between F-spread and these indexes does not mean that magnetic activity does not influence on the F-spread occurrence. So, the first detailed research shows that at the beginning of the storm March 17, 2015 positive phase in foF2 took place, and then March 18-20 — negative phase. The values of the frequency interval the scattering dFs both in night and daytime hours has increased dramatically, but not immediately after the beginning of the storm, and in the period of recovery (20-22 March).

Gershman B.N., Kazimirovsky E.S., Kokourov V.D., Chernobrovkina N.A. F-spread phenomenon in the ionosphere. Moscow. Nauka. 1984. 140 p.

Automatic data processing of spread-F

V.A. Telegin¹, V.A. Panchenko¹, G.A. Zhibankov², V.I. Rozhdestvenskaya¹

¹*IZMIRAN, Moscow, Russia*

²*Institute of Physics, N-Novgorod, Russia*

The algorithm was developed to identify and assess types of spread-F. The main attention is paid to the choice of a high-rise interval and the measurement of the intensity of spread-F. The results of the automated processing of spread-F were compared with those obtained manually for both summer and winter ionogram's 2012-2014. First results showed that application of algorithm of automatic detection, allow to obtain the characteristics of spread-F with an accuracy of 11-20% depending on the complexity of the observed spread-F.

Clouds and aerosol particles investigations in middle and upper atmosphere using all-sky polarization cameras during the twilight

O.S. Ugolnikov, I.A. Maslov (*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*)

B. V. Kozelov, V.I. Kirillov (*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*)

Polarization scattering properties of different types of particles in the atmosphere strongly depend on their size, shape, and optical characteristics. The dependence of polarization on the scattered angle can be measured by all-sky polarization cameras. The geometry of radiation transfer during the twilight allows to fix the definite layer of the atmosphere with the altitude increasing as the Sun depresses deeper below the horizon.

The work is based on the intensity and polarization measurements of the large number of twilight sky points by the cameras installed in Chepelevo (Moscow region, since 2011) and Apatity (since 2015) working in close spectral bands (effective wavelengths 540 and 530 nm, respectively). The most interesting layer for such analysis is the mesosphere where the highest clouds in the atmosphere (noctilucent clouds, NLC) appear during the summer cold season above 80 km. Polarization of light scattered by NLC was measured during three nights of bright NLC display in 2014 and 2015. Basing on the results, the size of ice particles (0.06 mkm and below) was estimated. It is in good agreement with Lidar, rocketborne and satellite data.

Another atmosphere layer with high occasional level of aerosol is lower stratosphere. Sulfate aerosol particles appear in Junge layer (around 20 km) after the strong volcanic eruptions and expand over large territories above the Earth. The polarization of light scattering by these particles were measured by older camera in Crimea in late 2006, after the Tavurvur (Rabaul) volcano, that also gave the possibility to estimate their size. In polar regions, the polar

Ionosphere and upper atmosphere

stratospheric (or nacreous) clouds appear during the winter. They have complicated angular dependencies of intensity and polarization of scattered light, that can be measured in by all-sky camera in Apatity in the case of clouds appearance in future.

The analysis of Rayleigh single scattering can be also used for temperature measurements in upper atmosphere conducted during all observation sessions.

The work is supported by Russian Foundation for Basic Research, grant №16-05-00170-a.

Процессы релаксации электронного возбуждения кислородных составляющих в атмосферах планет земной группы

О.В. Антоненко, А.С. Кириллов, Ю.Н. Куликов

Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Апатиты, Россия, antonenko@pgia.ru

Рассмотрены процессы возбуждения и гашения электронно-возбужденных состояний молекулярного кислорода в атмосферах планет земной группы на высотах свечения ночного неба. Обсуждаются принципиальные различия кинетики электронно-возбужденного кислорода в атмосферах Земли (доминирование газа N₂) и Венеры и Марса (доминирование газа CO₂). Рассмотрены процессы возбуждения и гашения атомарного кислорода в состоянии ¹D, ¹S при вторжении высокоэнергичных частиц в атмосферу Земли.

Учет геомагнитного поля при распространении гравитационных волн в среднеширотной ионосфере

О.М. Бархатова ^{1,2}, Н.В. Косолапова ², Н.А. Бархатов ², Ю.А. Главацкий

¹*ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет"*

²*ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина"*

Изучение ионосферно-магнитосферных электромагнитных и плазменных возмущений, обусловленных гелиогеофизической активностью, является важным элементом диагностики околоземного пространства. В ряде работ демонстрируется наличие связи между колебаниями концентрации ионосферных слоев и вариациями геомагнитного поля в периоды высокоэнергичных геофизических событий. В исследовании [Vorontsova et al., 2016] обнаружена модуляция ПЭС слоя F2 ионосферы геомагнитными пульсациями Pc 5 во время фазы восстановления сильной геомагнитной бури. Результаты [Бархатова и Косолапова, 2015] также свидетельствуют о наличии одновременных ионосферных и геомагнитных возмущений в периоды развития сильных землетрясений. Значительная часть волновых возмущений ионосферы обусловлена гравитационными волнами (ГВ), вызывающими изменения электронной концентрации ее слоев и регистрируются как перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) [Hocke et al., 1996]. Отмеченная тесная связь ионосферных и геомагнитных волновых возмущений требует учета магнитного поля при их анализе. В настоящей работе уточнены дисперсионные соотношения для ГВ для условий приэкваториальной ионосферы с конечной проводимостью при учете совместного влияния магнитного поля и силы тяжести. Анализ соответствующих МГД уравнений позволил получить дисперсионные выражения для высокочастотной (ВЧ) - и низкочастотной (НЧ) распространяющихся ГВ. В интервале длин волн ($\lambda \geq 230$ км) ВЧ мода может распространяться во всех направлениях без заметного затухания в частотном диапазоне 2.1 - 3.2 МГц, а НЧ мода существует при частотах меньших 1.8 МГц, но вдоль гравитационного поля не распространяется. Обе моды ГВ имеют возможность распространения вдоль магнитного поля, которое в рассматриваемой области ионосферы перпендикулярно гравитационному полю. Характерные скорости распространения для ВЧ моды лежат в интервале 4700 - 550 м/с, а для НЧ моды – 470 - 130 м/с. Скорости обеих мод уменьшаются при приближении направления распространения к горизонтальному, т.е. вдоль геомагнитного поля. Для всех направлений распространения скорости снижаются с уменьшением длины волны. Аналитическая оценка [Hocke et al., 1996] скоростей распространения крупномасштабных акустико-гравитационных волн дает значения от 400 до 1000 м/с. Таким образом, учет магнитного поля при анализе распространения ГВ в ионосфере дает значения скоростей ВЧ моды, заметно превышающие скорости акустико-гравитационных волн. Такие результаты находят свое подтверждение в экспериментальных данных. В работе [Liu et al., 2011] отмечены ПИВ, связанные с сильным землетрясением магнитудой 9.0. Их зарегистрированные скорости составляли 2.3-3.3 км/с. По всей вероятности, такой особенностью также

обладают среднеширотные ионосферные возмущения, обусловленные полярной суббуревой активностью.

Бархагова О.М. Косолапова Н.В. Обнаружение магнитогравиационных волн в интервалы сильных подземных землетрясений // Вестник ННГУ. Радиофизика. №3. С. 11-17. 2014.

Hocke, K., Schlegel, K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982-1995 // Ann. Geophysicae 14, p.917-940, 1996.

Liu J.Y., Chen C.H., Lin C.H., Tsai H.F. Ionospheric disturbances triggered by the March 2011 M9.0 Tohoku earthquake // Journal of Geophysical Research, V. 116, A06319, 2011.

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

О влиянии концентрации окиси азота на интенсивность эмиссии 557.7 нм

Ж.В. Дашкевич, В.Е. Иванов (*Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия*)

Численными методами исследовано влияние концентрации NO на интенсивность свечения эмиссии 557.7 нм. в электронных полярных сияниях. Показано, что основным каналом подавления интенсивности эмиссии 557.7 нм. является реакция $O^+_2 + NO$, которая уменьшает вклад диссоциативной ионизации O^+_2 в формирование 1S состояния молекулярного кислорода. Предложен метод оценки [NO] в полярных сияниях по данным фотометрических измерений эмиссий 391.4 нм., 557.7 нм. и 630.0 нм.

Особенности суточной динамики спектров УНЧ шумового фона на низких широтах

Е.Н. Ермакова¹, Т. Бозингер², А.В. Рябов¹

¹Научно-исследовательский радиофизический институт, Н. Новгород, Россия

²Университет Оулу, Финляндия

Исследована динамика спектров амплитуды и поляризационного параметра (epsilon) магнитного УНЧ шума по данным 6-летнего мониторинга горизонтальных магнитных компонент на низкоширотной станции на о. Крит (35.15 N, 25.20 E). Выявлены особенности в суточной динамике параметра epsilon, связанные с влиянием нижнего ионосферного резонатора суб-ИАР: а) появление в некоторых случаях более сложной, чем на средних широтах, структуры спектра epsilon, связанной с наличием двух различных значений граничной частоты f_g ; б) наблюдаемое в 70% случаев понижение f_{gp} вблизи локальной полуночи, сохранение в некоторых случаях знакопеременной зависимости в спектре поляризационного параметра после восхода солнца в зимний сезон. Анализ экспериментальных спектров и результатов численных расчетов позволил связать указанные особенности спектра поляризации с частым появлением спорадических слоев Es и промежуточных слоев, расположенных между E и F-слоями. Также исследовалась суточная динамика тонкой структуры спектра (ТСС), обнаруженной на этой станции. Были выявлены особенности ТСС на низкоширотной станции о. Крит: высокая вероятность появления в зимние месяцы (до 50%), малые частотные масштабы 0.15-0.18 Гц, большое число резонансных линий в суточной спектрограмме (до 16-18). ТСС наблюдалась большую часть темного времени суток. Сравнительный анализ спектральных особенностей ТСС на среднеширотных и низкоширотной станциях позволил предположить, что формирование этой структуры на средних и низких широтах имеет различную природу.

Исследование процессов релаксации энергии метастабильного молекулярного азота в атмосферах планет солнечной системы

АС. Кириллов (*Полярный геофизический институт, г. Анатиты, kirillov@pgia.ru*)

Молекулярный азот является основной составляющей атмосфер Земли, Титана, Тритона. Кроме того, в больших количествах он присутствует в атмосферах Венеры и Марса. При взаимодействии солнечных фотонов, высокоэнергичных электронов и протонов, фотоэлектронов с атмосферами указанных планет значительная доля вносимой энергии трансформируется в энергию электронного возбуждения молекул N_2 . В дальнейшем энергия электронного возбуждения трансформируется в энергию возбуждения триплетного метастабильного азота $N_2(A)$ при излучательных и столкновительных процессах. В рамках квантово-химических приближений проведен расчет скоростей гашения электронно-возбужденного азота $N_2(A)$ при

Ionosphere and upper atmosphere

неупругих взаимодействиях с молекулами N_2 , CO, O_2 и т.д., входящими в состав атмосфер планет Солнечной системы. При расчетах получены квантовые выходы продуктов неупругого взаимодействия. Исследованы процессы электронно-электронного и колебательно-колебательного обмена энергией при столкновениях возбужденных молекул N_2 с различными газами. Показана важная роль межмолекулярных процессов переноса электронного возбуждения при столкновениях молекул в возмущенных атмосферах планет Солнечной системы. Рассчитанные константы используются при моделировании населенностей колебательных уровней $N_2(A)$ в смеси молекулярного азота с другими газами.

Частотные спектры ОНЧ-атмосфериков во время солнечного затмения по данным обсерваторий Ловозеро и Баренцбург

В.И. Кириллов, В.В. Пчелкин, А.А. Галахов

Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия, kirillov_v@pgia.ru

Д-слой ионосферы (высоты менее 90 км) характеризуется как непостоянством самого существования, так и сильной изменчивостью свойств в зависимости от многих факторов, прежде всего, от интенсивности рентгеновского и ультрафиолетового излучений Солнца. Солнечное затмение – яркий пример масштабного явления, нарушающего регулярную суточную вариацию потока ионизирующего излучения, и, соответственно, резко меняющего параметры ионосферы. Не лишены оснований предположение о том, что затмения, приводящие к существенным изменениям условий освещенности на трассах, идущих от мировых центров гроз к высокоширотным пунктам расположения приемников излучений, могут сложным образом менять и регистрируемые спектры атмосфериков.

В данной работе было выполнено экспериментальное исследование вариаций спектральных кривых атмосфериков во время солнечного затмения 20 марта 2015 года по данным двух высокоширотных обсерваторий Ловозеро и Баренцбург.

Зависимость от солнечной и геомагнитной активности дневных значений N_mF_2 в январе 2012–2015 годов на средних и субавроральных широтах

М.В. Клименко^{1,2}, А.В. Марков², А.Р. Абдуллаев², К.Г. Ратовский³, Н.А. Коренькова¹, В.С. Лещенко¹, В.А. Панченко⁴

¹КФ ИЗМИРАН, Калининград, e-mail: maksim.klimenko@mail.ril

²БФУ им. И. Канта, Калининград

³ИСЗФ СО РАН, Иркутск

⁴ИЗМИРАН, Москва

Представлены результаты исследований зависимости от солнечной и геомагнитной активности дневной электронной концентрации в максимуме F_2 слоя ионосферы в январе 2012–2015 годов. Было произведено 27-дневное усреднение индексов $F_{10.7}$ и Ap за рассматриваемый период времени и получены $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$ и $\langle Ap \rangle_{27}$ соответственно. По данным девяти среднеширотных и субавроральных ионозондов из мировой сети станций получены 27-дневные медианные (с серединой 19 января) суточные вариации N_mF_2 для 2012–2015 годов. На основании этих данных был получен следующий парадокс: в январе 2014 года, когда значения индекса солнечной активности $F_{10.7}$ были больше, чем в 2015 году, дневные значения N_mF_2 были меньше. При усреднении за четыре часа дневного местного времени (10:00–14:00LT) для каждой выбранной станции были получены среднедневные январские значения $\langle N_mF_2 \rangle$ для каждого года. Построенные линейные регрессии $\langle N_mF_2 \rangle$ от $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$ по данным за 2012, 2013 и 2015 годы и за весь рассматриваемый период времени показывают, что учет данных за 2014 год приводит к наибольшим изменениям линейной зависимости $\langle N_mF_2 \rangle$ от уровня солнечной активности. Для решения данного парадокса была построена двойная линейная регрессия $\langle N_mF_2 \rangle$ от $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$ и $\langle Ap \rangle_{27}$, на основании которой сделан вывод о положительном вкладе геомагнитной активности в дневные январские значения $\langle N_mF_2 \rangle$.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-00578, и 15-35-20364.

Поведение субавроральной и высокоширотной F области ионосферы на фазе восстановления геомагнитных бурь

М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко¹, К.Г. Ратовский³, И.Е. Захаренкова¹, А.Е. Степанов⁴, Н.А. Коренькова¹, А.В. Подлесный³

¹КФ ИЗМИРАН, Калининград, e-mail: maksim.klimenko@mail.ru

²БФУ им. И. Канта, Калининград

³ИСЗФ СО РАН, Иркутск

⁴ИКФИА, Якутск

В исследовании отклика ионосферы на геомагнитные бури одним из наименее изученных является вопрос о ионосферных возмущениях на фазе восстановления геомагнитных бурь и о механизмах их формирования. В последнее время этот вопрос активно обсуждается как с использованием теоретических моделей, так и экспериментальных данных. В данной работе приводится интерпретация ионосферных эффектов геомагнитных бурь 26–30 сентября 2011 года и 17–23 марта 2015 года, наблюдавшихся на средних и высоких широтах, выполненная с использованием модели ГСМ ТИП. Проведено сравнение результатов модельных расчетов с данными наблюдений ионосферных параметров, полученными с использованием различных радиофизических методов. В восстановительную фазу бурь результаты модельных расчетов показывают усиливающийся день ото дня рост отношения $n(O)/n(N_2)$ и уменьшение $n(N_2)$ на средних и субавроральных широтах, что должно было бы приводить к положительным эффектам в $foF2$ как днем, так и ночью. Однако в восстановительную фазу бури на средних и субавроральных широтах положительные возмущения в электронной концентрации на высотах F области ионосферы формируются только в дневное время и только на определенных долготах. При этом в ночное время в эти же дни формируются значительные отрицательные возмущения $foF2$. Эти отрицательные возмущения связаны как с опустошением плазмосферного резервуара в главную фазу геомагнитных бурь за счет расширения к экватору области обмена плазмой между замкнутыми и разомкнутыми плазменными трубками, так и с изменениями нейтрального состава термосферы. Опустошение плазменных трубок проявляется в восстановительную фазу бури в ночное время, когда солнечный источник ионизации отсутствует, и диффузионные потоки плазмы из плазмосферы являются основным источником поддержания ночной F области ионосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-00578, 14-05-788 и №15-35-20364.

Исследование влияния магнитного поля на высокоширотных КВ трассах во время геомагнитной бури

Д.С. Котова^{1,2}, М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко², В.Е. Захаров¹

¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

²Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия

Ранее был представлен комплекс прикладных программ, включающий численный алгоритм проведения вычислительных экспериментов по моделям среды и распространения радиоволн. Для описания распространения коротких волн в ионосфере широко применяется приближение геометрической оптики. При моделировании лучевых траекторий и поглощения коротких волн в трехмерно неоднородной анизотропной ионосферной плазме использовался численный алгоритм, реализованный в комплексе прикладных программ, разработанный в 2006 г. (БФУ им. И. Канта). Среда распространения задается Глобальной Самосогласованной Моделью Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП, КФ ИЗМИРАН). Использование динамической модели ГСМ ТИП позволило учесть изменение среды при переходе от спокойных условий к возмущенным во время геомагнитной бури.

Проведено исследование влияния магнитного поля на распространение радиоволн в высоких широтах. Результаты проведенных исследований отражают анализ поведения угла между векторами импульса и индукции геомагнитного поля в зависимости от выбора частоты, положения передатчика, направления излучения и геофизических условий. Показано, что наибольшая скорость падения значений угла достигается в окрестности точки поворота траектории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00590 мол_а, гранта РФФИ №14-05-00578. Работа проводилась в рамках проекта "Физические механизмы формирования реакции верхней атмосферы и ионосферы на процессы в нижней атмосфере и на поверхности Земли" (Государственное задание Министерства образования и науки РФ, конкурсная часть, задание № 3.1127.2014/К).

Эффекты распространения электромагнитных возмущений от молниевых разрядов по данным наземных наблюдений в СНЧ диапазоне

А.В. Ларченко, О.М. Лебедь, С.В. Пильгаев, Ю.В. Федоренко

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
alexey.larchenko@gmail.com*

Нижняя ионосфера влияет на условия распространения естественных электромагнитных возмущений СНЧ диапазона, порождаемых молниевыми разрядами, в волноводе Земля-ионосфера. Приходящие от Солнца потоки высокоэнергичных протонов во время солнечных вспышек изменяют профиль электронной концентрации нижней ионосферы, особенно в авроральной области. Экспериментальное исследование скорости распространения электромагнитных возмущений в СНЧ диапазоне дает возможность исследовать влияние солнечных протонных событий на характеристики высокоширотной нижней ионосферы. Для прикладных задач важно, что такие измерения ведутся на частотах, практически совпадающих с частотами электромагнитного зондирования литосферы и частотами, используемыми для организации связи с подводными лодками.

Методами математического моделирования проведен анализ отличий групповой и фазовой скоростей распространения, рассчитанных для профилей проводимости ионосферы, измеренных в ракетных экспериментах, и аппроксимирующего их экспоненциального профиля. Рассмотрено влияние горизонтальных неоднородностей проводимости на структуру электромагнитного поля на земной поверхности. Приведены результаты измерений групповой скорости распространения и волнового импеданса атмосфериков от дальних разрядов молний на высокоширотной трассе «Ловозеро-Баренцбург» в СНЧ диапазоне во время вспышек на Солнце.

Влияние солнечного затмения 20 марта 2015 г. на распространение сигналов передатчиков РСДН-20 по данным обс. Ловозеро и Баренцбург

А.В. Ларченко, А.С. Никитенко, С.В. Пильгаев, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
alexey.larchenko@gmail.com*

Солнечное затмение представляет собой уникальное явление, позволяющее изучить влияние быстрого изменения интенсивности солнечного излучения на ионосферу Земли. Наиболее чувствительной к эффектам солнечных затмений характеристикой является фаза сигнала. Это связано с тем, что изменение эффективной высоты отражения ОНЧ радиоволн при затмении Солнца приводит к изменению фазового пути волн данного диапазона при пересечении области затмения. Результаты экспериментальных исследований связанных с солнечными затмениями эффектов могут служить источником дополнительной информации о влиянии Солнца на параметры волновода Земля-ионосфера и поведение ионосферы.

Данная работа посвящена исследованию влияния полного солнечного затмения, произошедшего 20 марта 2015г., на распространение ОНЧ сигналов передатчиков («Краснодар», «Новосибирск», «Комсомольск-на-Амуре»), зарегистрированных в обсерваториях ПГИ «Ловозеро» и «Баренцбург». Проведено сравнение экспериментальных результатов измерений фаз сигналов передатчиков системы РСДН-20 («Альфа») и результатов моделирования.

Метод подавления шума волновода Земля-ионосфера в сигналах СНЧ/ОНЧ регистраторов

А.С. Никитенко (*Полярный геофизический институт г. Апатиты, Россия; alex.nikitenko91@gmail.com*)

В настоящее время обработка СНЧ/ОНЧ сигналов, зарегистрированных на поверхности земли, осложнена наличием в волноводе шумов естественного и искусственного происхождения. Одной из составляющих шумов является помеха от высоковольтных линий электропередач (ЛЭП), наводимая на магнитные и электрические антенны ОНЧ приемников. Значительный вклад в общий уровень шума волновода вносят естественные шумы, основным источником которых являются грозовые разряды. Мощность шума волновода Земля-ионосфера зачастую превышает мощность ОНЧ всплесков, пришедших к точке регистрации.

В данной работе представлен метод подавления “подстилающего” шума волновода Земля-ионосфера в сигнале, зарегистрированном на станции геофизических наблюдений в обл. Ловозеро, и примеры, подтверждающие работу метода.

Оценка применимости метода подталкивания упругой нити для расчета радиотрасс в высокоширотной ионосфере с учетом перемещающихся ионосферных возмущений

И.А. Носиков¹, П.Ф. Бессараб², М.В. Клименко^{1,3}, Г.А. Жбанков⁴, О.С. Рубцов¹

¹*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград, Россия
e-mail: igor.nosikov@gmail.com*

²*Королевский технологический институт, г. Стокгольм, Швеция,*

³*Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Калининград, Россия*

⁴*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

В работе представлено дальнейшее развитие модели расчета радиотрасс основанной на принципе Ферма. Метод подталкивания упругой нити, являющийся разновидностью методов оптимизации и широко используемый в различных областях науки, применен в данных исследованиях для решения граничной задачи о расчете радиотрасс волн КВ-диапазона в приближении геометрической оптики. Показаны возможности построения радиотрасс с использованием данного метода для модельной ионосферы, заданной по международной справочной модели IRI. Проверка полученных результатов осуществлялась на основе сравнения с радиотрассами, полученными стандартным методом трассировки лучей. Рассмотрены случаи высокоширотного распространения КВ-радиоволн, в том числе в среде с учетом модельных перемещающихся ионосферных возмущений. Показано, что результаты расчетов радиотрасс методом подталкивания упругой нити хорошо согласуются с известными решениями, в том числе при наличии ионосферных возмущений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00590 мол_а, гранта РФФИ № 15-35-20364 мол_а_вед. Работа проводилась в рамках проекта "Физические механизмы формирования реакции верхней атмосферы и ионосферы на процессы в нижней атмосфере и на поверхности Земли" (Государственное задание Министерства образования и науки РФ, конкурсная часть, задание № 3.1127.2014/К).

Методика измерения абсолютной задержки аналого-цифрового преобразования в системах регистрации электромагнитных эмиссий

С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, А.В. Ларченко, Ю.В. Федоренко

*Полярный геофизический институт, г. Анатиты, Россия
pilgaev@pgia.ru*

В Полярном геофизическом институте ведётся непрерывная регистрация вариаций электромагнитного (ЭМ) поля в КНЧ-ОНЧ диапазоне синхронизированными с мировым временем идентичными приёмниками. Для исследования параметров распространения ЭМ сигналов, таких как фазовая и групповая скорости, по данным сети станций необходимо знать абсолютное время задержки аналого-цифрового преобразования каждого прибора. Это связано с тем, что невозможно создать абсолютно одинаковые приемные станции ввиду несовершенности электронных компонентов. Временная задержка, вносимая аналого-цифровым преобразованием, не может быть смоделирована и рассчитана с точностью выше 1 мкс.

Для решения проблемы разработана методика абсолютной фазовой калибровки и эталонное специализированное программно-аппаратное устройство для проведения такой калибровки. Устройство способно генерировать гармонический сигнал заданной частоты, причём начальная фаза генерируемого сигнала известна и совпадает с секундным импульсом GPS приемника. Сигнал с выхода устройства подается на аналоговые входы каналов синхронизированного с мировым временем аналого-цифрового преобразователя регистратора вариаций ЭМ поля. Поскольку начальная фаза входного аналогового сигнала известна, можно определить сдвиг фазы оцифрованного сигнала относительно входного. В настоящее время проводятся испытания данной методики. Планируется рассчитать задержки вносимые процессом преобразования каждого регистратора сети станций.

Сопоставление ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы с моделью горизонтального ветра HWM07

Н.Ю. Романова

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Мурманск

Проведено сопоставление данных спутникового радиопросвечивания об ориентации поперечной анизотропии Ψ_A мелкомасштабных (с размерами сотни метров) неоднородностей электронной плотности в F-области среднеширотной ионосферы и направления горизонтального ветра, рассчитанного на основе электронного варианта модели HWM07. Численное сопоставление показало, что гипотеза о связи вытянутости неоднородностей поперек магнитного поля с направлением ветра в среднеширотной F-области непротиворечива. Показано, что в большинстве случаев мелкомасштабные неоднородности в перпендикулярной к магнитному полю плоскости вытягиваются вдоль направления горизонтального ветра. Модель HWM07 также позволила объяснить существенные (десятки градусов) различия значений Ψ_A , нередко получаемые на соседних станциях, расстояние между которыми относительно невелико (3-3,5° по широте). В таких случаях, согласно модели HWM07, направление ветра существенно менялось с высотой. Таким образом, мелкомасштабные неоднородности с различными параметрами, вероятнее всего, также были расположены на разных высотах в F-слое.

Изучение явления F-рассеяния по данным ИК-19 в период равноденствия

В.А. Телегин ^{1,2}, А.Т. Карпачев ¹, И.В. Суровцева ³, В.О. Скрипачев ³

¹*Институт земного магнетизма и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, (ИЗМИРАН), г. Москва, Россия, telvika@gmail.com*

²*ОАО «НПК «НИЦАР», г. Москва, Россия*

³*НТЦ «Космонит» ОАО «Российские космические системы», г. Москва, Россия, irinavsur@yandex.ru*

Явление F-рассеяния на ионограммах наземного зондирования изучалось ранее как экспериментальными средствами, так и теоретически. На ионограммах внешнего зондирования F-рассеяние наблюдается еще чаще, чем на наземных. Поэтому исследование этого явления во внешней ионосфере в глобальных масштабах представляется важным, как с физической, так и с методической точки зрения. В первом случае наиболее интересно детальное исследование характеристик разных типов F-рассеяния и понимание механизмов, отвечающих за образование того, или иного типа рассеяния. Во втором - важно научиться правильно интерпретировать сложные, диффузные ионограммы.

По ионограммам внешнего зондирования ионосферы на спутнике Интеркосмос-19 авторами изучены и классифицированы разные типы F-рассеяния. Выявлены отличия для летних и зимних периодов по разным типам этого явления.

Анализ ионограмм показывает, что эти данные позволяют проводить глобальное исследование явления F-рассеяния, а также детально изучить особенности характеристик этого явления на всех долготах и широтах, т.е. в разных областях ионосферы, в том числе и в области низких широт, и над океанами, где станций наземного зондирования очень мало.

Таким образом, в результате работы впервые построены карты глобального распределения вероятности наблюдения F-рассеяния на основе анализа 70.000 ионограмм ИК-19 для равноденствия при высокой солнечной активности в период 1979-1981 гг. Построены широтно-долготные вариации трех типов F-рассеяния в верхней ионосфере в зависимости от времени для этого периода (март, апрель, сентябрь, октябрь). Найдены и проанализированы отличия для северного и южного полушарий.

Показана зависимость различных типов F-рассеяния от инвариантной широты спутника ИЛАТ для ночного и дневного времени суток.

Дальнейшая работа нацелена на анализ результатов исследований F-рассеяния по данным внешнего зондирования для совокупности зимних, летних и равноденственных условий при высокой солнечной активности. Огромный массив данных спутника ИК-19 и разработанный программный аппарат позволяют сделать это максимально возможным.

Анализ экспериментальных данных по наблюдению радиоавроры на РЛС метрового диапазона во время геомагнитной бури 30 мая 2005 года

И.В. Тютин, В.Б. Оводенко, С.А. Пушай (ОАО "НПК "НИИДАР", Москва, Россия)

В работе приведен анализ радарных отметок, зарегистрированных на РЛС ДО метрового диапазона. Сильная геомагнитная буря 30 Мая 2005 года вызвала существенное увеличение области активных полярных сияний. Радар в это время фиксировал ракурсное рассеяние радиоволн (PPP) на всех азимутальных направлениях в секторе обзора. Анализ распределения помеховых и целевых отметок по дальности и азимуту позволяет детально рассмотреть эволюцию области PPP в зоне действия радара и проанализировать ее связь с индексом авроральной активности AE.

Вариации амплитудного фактора по данным ионозонда вертикального зондирования "Парус-А"

М.Ю. Филиппов (Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва)

Ионограмма вертикального зондирования сетевого ионозонда «Парус-А» рассматривается как амплитудно-высотно-частотная зависимость. На её основе, в частотном диапазоне одного ионосферного слоя, рассчитывается параметр «амплитудный фактор» (АФ), который характеризует ионосферное поглощение радиоволн. Показан возможный алгоритм перехода к результатам традиционного (A1) метода определения поглощения. Исследуется массив ионограмм 2011-2015 годов, приводится сравнение вариаций различного временного масштаба основных геофизических индексов с АФ, рассчитанным для слоев E и F2. Исследуется реакция АФ на периодические и непериодические изменения излучения Солнца, а также особенности проявления характерной зимней аномалии.

Наблюдения дневного полярного каспа на авроральных станциях б. Тикси и Норильск

В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов^{2,3},

О.М. Пирог ⁴

 В.А. Телегин^{5,6}, В.А. Панченко⁵

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия, khalipov@iki.rssi.ru

²ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия

³Технологический институт северо-восточного федерального университета, г. Якутск, Россия

⁴ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

⁵ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

⁶НИИДАР, г. Москва, Россия

В дневном секторе полярной ионосферы наклонные радиоотражения в КВ-диапазоне могут возникать в нескольких различных областях: вблизи резкой экваториальной границы дневного полярного каспа, от дискретных дуг полярных сияний в дневном клевте и на экваториальной границе дневной диффузной авроральной зоны.

Наблюдения с помощью техники возвратно-наклонного зондирования осуществляются в Тикси в течение длительного периода, что позволяет на основании большой статистики измерений установить область локализации дневных радиоотражений. Сравнение с аналогичными спутниковыми данными о положениях дневного полярного каспа и дневной диффузной авроральной зоны показывает, что два вида измерений этих структур дают хорошо согласующиеся между собой результаты.

Проведен анализ синхронных измерений положения дневного полярного каспа станциями наклонного зондирования бухта Тикси и Норильск. Наблюдается хорошее согласие в положении экваториальных границ каспа при регистрации с двух станций

Установка на авроральной станции Тикси современного цифрового ионозонда DPS-4, оснащенного дополнительной горизонтальной ромбической антенной, позволит осуществлять непрерывный (on-line) мониторинг положений дневного полярного каспа и клевта в течение 5-6 часов в околополуденном секторе и изучать их динамику в зависимости от параметров межпланетного магнитного поля.

Детально обсуждаются другие возможности ионозонда DPS-4 при работе на авроральной станции.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы РАН П7.

Low atmosphere, ozone

About one possibility of weather and climate change by active experiments

S.V. Avakyan^{1,2,3}, A.V. Troitsky⁴, S.A. Chernouss⁵

¹*All-Russian Scientific Center "S.I. Vavilov State Optical Institute",*

²*St. Petersburg State Politechnical University,*

³*Central (at Pulkovo) Astronomical Observatory RAS,*

⁴*Radiophysical Research Institute, N. Novgorod, Russia*

⁵*Polar Geophysical Institute, Apatity Branch*

The report based on the results of experiments of NIRFI on sporadic appearance of the microwave radiation of ionospheric nature during periods of solar flares and geomagnetic storms, and also during work of the "Sura" ionospheric heating facility. Leningrad State University measurements in 1990-1991 at altitude about 2100 m proved the impact of microwave radiation from solar radiobursts on the amount of water vapor in the upper troposphere column. 25 - 40% of the vapour are involved into the formation of clusters decreased an atmospheric transparency. Papers of State Optical Institute (2008) proposed to account the electron-stimulated precipitation from the radiation belts over powerful radio transmitters (registered on the spacecraft DEMETER) as an additional source of microwave radiation of the ionosphere. This source can participate in the condensation-cluster mechanism changes of atmospheric transparency by the same way as natural geomagnetic storm. (*Grach et al*) also recorded stream microwave ionospheric disturbance stimulated by HF heating in an experiment at the "Sura" even earlier (2002). This led to the appearance of Rydberg states excited by the accelerated electrons impact.

(*Troitsky et al.*) found that at the threshold of sensitivity of radiometric measurements in 0.006 g/cm² observed a decrease in the water vapor content in the troposphere at 0.05 g/cm² at a total natural content 1.8 -2.1 g/cm² in a special experiment on the basis of "Sura" facility to study the cluster-condensation mechanism. These reductions were observed almost simultaneously with the work of facility and time delay was about 1 minute. It should be noted that the heating power was 20 times less than the maximal reached power in such facilities. The extending of the experimental possibilities on the clustering in the troposphere by ionospheric microwave radiation (SPbSU) supposedly can give us the same result as an active impact on the ionosphere by heating facilities and power transmitters. We believe that manifestation of the described effects give a contribution to change of climatic characteristics: cloud formation, cyclogenesis, temperature anomalies and precipitation. This follows from the results of the analysis of correlation between cloud cover, temperature and precipitation and solar-geomagnetic activity over secular and annual (2 - 5 years) scales. Authors propose to use an optical method for detecting emissions of atomic oxygen in those electronic transitions between Rydberg states, which wavelengths are located in the atmospheric spectral windows in the visible and IR ranges. It will be the test for contribution of the Rydberg excitation processes in the formation of the flux of microwave active effects of the ionosphere.

Corresponding lines for the visible region of the spectrum in low-lying Rydberg levels (with principal quantum number n of about 10) are in the blue region of the spectrum: 448.4 nm (the electronic transition is 11d - 3p), 452,3 nm (10d - 3p), and 457.7 nm (9d - 3p). Observation of these effects demand high resolution optical spectral equipment with wide spectral range simultaneously. This device, named SISAM was made in the Leningrad State University by Kozlov and Lopatin and tested in the Polar Geophysical Institute (Petrunkin L., Petrunkin M. and Chernouss) and showed acceptable characteristics in spectral range, resolution and sensitivity.

Application of the optical recording channel in active experiments (i.e., at a fixed space-time artificial ionospheric disturbances) allow to confirm experimentally the Rydberg channel of generating microwave fluxes from the ionosphere at its perturbations; to offer remote monitoring as international control of sources of artificial influence on weather and climatic characteristics.

Instabilities of aerosol flows in thunderclouds

V.S. Grach (*Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*)

The fine structure of electrical field and space charge in thunderclouds is studied. It is assumed that the structure is generated by instabilities of aerosol flows. The relative motion of charged heavy and light components (large drops and hail and ice crystals and small drops, respectively) is caused by simultaneous influence of gravity and convective air updraft.

The linear stage of a dissipative instability, developing in such system, is studied with the allowance for size distribution of large aerosol particles. The quantitative estimates are made for the aerosol threshold charge, necessary for instability to develop, as well as for time and space scales.

The spectral composition of the atmospheric electric field variations at Vostok station in Antarctica

A.V. Frank-Kamenetsky (*Arctic and Antarctic research institute, S. Petersburg, Russia*)

The observations of the atmospheric electric field at Vostok st. in Antarctica are carried out almost continuously since 1998. These data sets provide an opportunity to examine the spectral composition of the variation of the electric field.

We prove the existence of high-frequency oscillations ($T < 2$ min) in the summer with a typical power spectrum (Kolmogorov spectrum). In addition, in atmospheric electric field variations are observed oscillations with periods typical for acoustic-gravity and planetary waves.

Volcanic impacts on atmosphere and climate of Kola Peninsula and Finnish Lapland

E.A. Kasatkina¹, O.I. Shumilov¹, M. Timonen² and A.G. Kanatjev¹

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Natural Resources Institute Finland (LUKE), Rovaniemi, Finland*

It is known that, throughout the Holocene, global climate changes have occurred under the influence of powerful natural factors (solar activity and volcanic eruptions). Which of these factors plays a dominant role is currently under discussion. However, it should be noted that according to the materials of the Kyoto Protocol the most substantial contribution to climate changes in recent decades is due to man-made impacts. In connection with this, there has been a growing interest in recent years in a controlled climate impact through emissions of sulfate aerosols into the stratosphere (geoengineering or climate intervention). Volcanic eruptions can be considered a natural analog of this impact. The emission of huge amounts of volcanic dust, sulfur dioxide, and water vapor into the stratosphere during volcanic eruptions reduces atmospheric transparency and prevents the penetration of solar radiation to the earth's surface. As well known the atmospheric and climatic impacts of volcanic activity vary regionally, and major volcanic eruptions do not always result in regional cooling. To identify volcanic impacts we analyzed two pine (*Pinus sylvestris* L.) polar tree-ring records collected nearby the northern timberline: the 561-year Kola Peninsula tree-ring chronology and the ~7500 supra-long chronology from Finnish Lapland. The data were processed using modern techniques adopted in dendrochronology (cross dating and standardization). A superposed epoch analysis of 18 powerful events (Volcanic Explosivity Index, VEI>5) revealed a significant ($P < 0.05$) suppression of tree growth at both sites for up to 8 years following volcanic eruptions. High-latitude Icelandic volcanoes have no significant impact on the climate of the Kola Peninsula and Finnish Lapland. Our results showed that polar tree-ring chronologies can be used for classifying past strong volcanic eruptions and assessing the efficiency of the controlled climate impact through emissions of sulfate aerosols into the stratosphere.

Prospects of microwave monitoring of the middle atmosphere ozone in polar latitudes

Y.Y. Kulikov (*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*)

We represent some results of the last years for discussion which were executed in ground-based microwave observations of polar ozone at frequencies of about 110836.04 MHz. The basic purpose of microwave those observation was an estimation of influence geomagnetic active period on behavior of ozone in the upper stratosphere and the mesosphere.

Prospects of the future microwave observations in the polar latitudes are the following. These observations should be based on realization of simultaneous microwave measurements of the ozone content in the middle atmosphere at the St. Petersburg station (60N, 30E) and at the Apatity station (67N, 33E). The choice is based on the fact that these stations are located in the zones in which the influence of charged components on the upper atmosphere is different. The organization of a network of measuring points became possible because of the development of the new mobile ozonemeter [1]. It is very important that the devices will be equipped with identical techniques of observation and algorithms for an estimation of vertical ozone profiles in the middle atmosphere. Either ozonemeters consists of an uncooled millimeter-wave receiver and multichannel spectrometer. System noise temperature (single band) – about 2000K. The spectrometer represents a bank of filters (31 channels) with spectral bandwidth 240 MHz and the variable frequency resolution: 1.0 — 10 MHz. Parameters of the instrument allow to receiving the information (for 15-20 minutes – time resolution) on vertical distribution of ozone at altitudes from 22 to 60 km. The measurements of spectra of atmospheric emission were carried out by the method of its calibration on hot and cold reference loads.

Low atmosphere, ozone

Work was supported by the grant 15-05-04249 of Russian Foundation for Basic Research.

I. Y.Y Kulikov, A.M. Krasilnikov, A.M. Shchitov. New mobile ground-based instrument for research of stratospheric ozone (some results of observation). The Sixth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'07) Proceedings, Kharkov, Ukraine, June 25-30, 2007. V. 1, P. 62-66, 2007.

Solar signatures in polar tree ring records

O.I. Shumilov¹, E.A. Kasatkina¹, M. Timonen² and A.G. Kanatjev¹

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Natural Resources Institute Finland (LUKE), Rovaniemi, Finland*

A role of solar activity in climate change is still a subject of scientific discussion. Polar tree-ring chronologies represent the major interest for assessment of climate change, since, as is known, trees, growing nearby northern timber line, possess the increased sensitivity to external impacts. Here we present an analysis of tree ring chronologies collected from living trees at the northern timberline of Kola Peninsula (67.77-68.63N; 33.25-36.52E): a 561-year (1445-2005 AD) pine (*Pinus sylvestris* L.) and a 676-year (1328-2004 AD) juniper (*Juniperus Sibirica* Burgst.) tree-ring records. Tree rings measured with a precision of 0.01 mm by using an image analysis system (scanner and relevant software). The samples were cross-dated using standard dendrochronological practices and the COFECHA program. A negative exponential curve was used to remove the age trend from individual annual ring series prior to construction of the chronology using the ARSTAN modeling. We have observed that the polar tree-ring records are correlated with the surface air temperature in Europe over a long time scale. The coldest conditions over the last 700 years in Europe, as well as in polar region, were in the XVII century during the "Little Ice Age" period. It was shown that the past climatic variations at Kola Peninsula were fairly strongly connected to solar variability. For example, all solar minima: Wolf (up to 1350 AD), Sporer (1416-1534 AD), Maunder (1645-1715 AD) and Dalton (1801-1816 AD) were accompanied by temperature and tree growth decreases. Some recent decreases in solar activity, even in XX century (around 1900 and 1960) seemed to be linked to the period of reduced tree growth. Results of MTM spectrum and wavelet analysis of polar tree-ring records allowed us to select the main periods of solar activity (11-year, 22-year and 80-90-year cycles). We have also noticed that the 22-year solar cycle is stronger and more pronounced in tree-rings than the 11-year signal is. It should be noted that the Kola tree-ring chronologies did not show any great warming at the end of XX century. The results obtained give us information on regional climate change in the very important area influenced by Gulf Stream and Arctic Ocean and located in the vicinity of the Northern Sea Route.

Метеорологические эффекты в приземном гамма-излучении

А.В. Германенко, Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский (*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*)

Мониторинг приземного гамма-излучения, приходящего из атмосферы, несколько лет ведется в ПГИ на двух станциях: в Апатитах и Баренцбурге. Энергетический диапазон, регистрируемого на обеих станциях, гамма-излучения составляет 20–400 кэВ. Представлены результаты анализа вариаций гамма-излучения, не связанных с выявленными ранее эффектами вариаций излучения во время осадков. В первую очередь это вариации, связанные с атмосферным давлением и температурой атмосферы. Поскольку гамма-излучение возникает в атмосфере от космических лучей, также проведен анализ связи вариаций космических лучей с вариациями в гамма-излучении.

Влияние облачности на вертикальное распределение озона в нижней тропосфере

В.И. Демин (*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*)

Для изучения воздействия облачного водного аэрозоля на вертикальное распределение парциального отношения смеси озона (ПОСО) предложено использовать данные вертикального озонзондирования, которое сопровождается одновременной регистрацией озона, температуры и влажности воздуха. Выделение границ облачных слоев в этом случае можно проводить по методике, принятой в авиационной метеорологии по характеру вертикального профиля температуры и дефицита точки росы.

Были проанализированы данные 200 озонзондирований на арх. Шпицберген (Нью-Олесунд), проведенных

в летний период (июнь-август). Обнаружено, что вхождение озонозонда в облачный слой не всегда сопровождается уменьшением ПОСО за счет взаимодействия озона с водным аэрозолем. Гораздо чаще ПОСО при этом не меняется или даже увеличивается. Нередко изменения различны по знаку в разных (вертикальных) частях одного и того же облачного массива. Резкий скачок ПОСО при выходе из облака наблюдается при наличии приподнятой (надоблачной) инверсии. Однако аналогичный скачок имеет место и при пересечении озонозондом инверсии при отсутствии облачного слоя.

Сравнение скоростей современного потепления на вершинах Хибин, на окружающей предгорной равнине и в свободной атмосфере

В.И. Демин¹, А.В. Волков²

¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты

²Управление по ПО и ОТ ОАО «Апатит», г. Кировск

Изменения сезонных температур на г. Ловчорр сопоставлены с изменениями температуры на ближайших равнинных гидрометеорологических станциях (Мончегорск, Ловозеро, Кандалакша). Несмотря на несовпадения численных значений, ни в одном из сезонов не обнаруживается статистически значимого различия в углах наклона линейной регрессии, описывающих долговременный тренд температуры в выбранных пунктах. Нет также значимого различия между изменениями температуры воздуха на г. Ловчорр и в свободной атмосфере на ближайших изобарических поверхностях 925 и 850 ГПа. Это позволяет считать, что в центре Кольского п-ова современное потепление в приземном слое и на высотах (по крайней мере, в пределах нижнего 1.5 км слоя) идет с примерно одинаковой скоростью и вызывается, очевидно, единими механизмами.

Геоморфологические факторы формирования «острова тепла» в г. Апатиты

В.И. Демин¹, Б.В. Козелов¹, Н.И. Елизарова², А.В. Волков³

¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты

²АМСГ "Апатиты" СЗ ФГБУ "Авиаметтелеком РГМ", г. Апатиты

³Управление по ПО и ОТ ОАО «Апатит», г. Кировск

На основе параллельных метеорологических наблюдений в г. Апатиты (Академгородок), аэропорту «Хибины» и гидрометеорологической станции в Тик-Губе, проведенных в 2014-2016 гг., установлено, что в зимний период центральная часть города Апатиты оказывается теплее пригорода, причем при ясном небе и слабом ветре разность может достигать нескольких градусов. Однако нет убедительных оснований для заключения, что обнаруженное явление является проявлением антропогенного городского «острова тепла» так как центр города оказывается приподнятым на 50-80м относительно окрестностей. Разность температур не превосходит по величине диапазон естественной изменчивости зимней температуры в условиях слабовсхолмленного рельефа. Близкие по величине разности температур между вершинами холмов и его подножиями в зимний период обнаруживаются и вне городской черты.

Синхронизированный с мировым временем жидкостный микробарограф

С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, А.В. Ларченко, С.П. Носков

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия; e-mail: pilgaev@pgia.ru

Для непрерывной регистрации вариаций атмосферного давления с характерными временами от 0.5 с до нескольких часов в Полярном геофизическом институте был разработан, создан и введен в эксплуатацию синхронизированный с мировым временем жидкостный микробарограф. Отличительной особенностью данного прибора является возможность управления, настройки параметров работы и обновления микропрограммы прибора через WEB интерфейс. Датчиком вариаций атмосферного давления служит барокамера, заполненная трансформаторным маслом. Колебания жидкости в камере приводят к изменению электрической ёмкости, которая оцифровывается и записывается в энергонезависимую FLASH память.

Low atmosphere, ozone

Описанный микробарограф обладает следующими характеристиками: разрешение регистрируемых вариаций атмосферного давления не хуже 0.02 Па; динамический диапазон 96 дБ; частота оцифровки от 4.6 Гц до 45.5 Гц; диапазон рабочих температур -40..+85 °С; точность привязки данных к мировому времени не хуже 1 мкс; питание 5 В, 200 мА.

Некоторые методические вопросы в проблеме о высокоширотных потоках ультра-энергичных релятивистских электронов (100 МэВ)

Г.Ф. Ременец, А.М. Астафьев

Кафедра радиофизики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: g.remenets@spbu.ru

Утверждение о том, что аномальные СДВ- возмущения (10–16 кГц), регистрировавшиеся М.И. Белоглазовым в ПГИ КНЦ РАН на целиком высокоширотной радиотрассе (наземные измерения) были порождены крупномасштабными высыпаниями (несколько тысяч кв. км) ультра-энергичных релятивистских электронов (УРЭ), основывается в определяющей степени на решении обратной СДВ-задачи самосогласованным методом [1, 2]. По причине ее нелинейности и по причине существенного ухудшающегося отношения сигнал / шум во время возмущения сигналов (от 10 к нескольким единицам в интерференционных минимумах) методу присуща вычислительная неустойчивость. Она преодолевается с помощью достаточно большого числа измеряемых величин по сравнению с числом искомых параметров (как функций времени), которые характеризуют электрические свойства ионизированной атмосферы спорадического Ds-слоя [1]. Наш численный анализ показал, что в условиях указанного эксперимента это превышение должно быть не менее, чем в 3 раза.

Следующий методический вопрос связан с влиянием высыпающихся УРЭ на содержание озона в авроральной зоне [3]. Эту работу необходимо продолжить в следующем направлении. После ее публикации пришло понимание того, что в случаях обсуждаемых возмущений часть атмосферы, расположенная существенно ниже регулярного D-слоя ионосферы, ионизируется тормозным рентгеном от потока УРЭ. Поэтому, дополняя указанную работу, необходимо исследовать изменения озона не только через 3 суток, как это сделано в статье, но и во все предыдущие сутки, начиная с максимумов возмущений.

Недавно была определена южная граница высыпания УРЭ – не экваториальнее 61 градуса магнитной широты (не южнее 64 градуса северной широты в районе скандинавских и кольских долгот) [2]. Поэтому при планировании новой регистрации геофизического явления УРЭВ и источник, и приемник должны быть ближе к полюсу на несколько градусов, чем указанная широта.

1. Remenets G.F., and M. I. Beloglazov, 2013. Ultrarelativistic electrons in the near cosmos and X-ray aurora in the middle polar atmosphere // JGR – space Physics. V. 118. Issue 11. PP. 6829-6838. DOI: 10.1002/2013JA018822.

2. Remenets G. F., and A. M. Astafiev, 2015. Southern boundaries of ultraenergetic relativistic electron precipitations in several cases from 1985 – 1986 years // J. Geophys. Res. - Space Physics, 120(5), 3318-3327. DOI: 10.1002/2014JA020591

3. Roldugin V. C., M. I. Beloglazov, G. F. Remenets, 2000. Total ozone decrease in the Arctic after REP events // Annales Geophysicae, Vol. 18. №3. PP. 332-336.

Влияние атмосферного аэрозоля на потоки собственного излучения атмосферы

Е.А. Федотова, И.В. Мингалев, К.Г. Орлов

Полярный геофизический институт РАН

Представлены результаты эталонных расчетов потоков собственного излучения атмосферы Земли в дальнем, среднем и ближнем ИК диапазонах с разрешением по частоте излучения 0.001 см^{-1} при различных распределениях аэрозолей в атмосфере. При расчетах использовалось приближение горизонтальной однородной атмосферы и учитывалось молекулярное и аэрозольное рассеяние. Для численного решения 1-мерного по пространству уравнения переноса излучения использовался один из вариантов метода дискретных ординат. В расчетах использовались равномерная сетка по высоте с шагом 200 метров и равномерная сетка по зенитным углам с шагом менее 9 градусов. Коэффициенты молекулярного поглощения рассчитывались с использованием спектроскопической базы данных HITRAN 2012.

Comparison of geomagnetic storm manifestations in cardiogram of Yakutsk and Tiksi inhabitants

L.P. Shadrina, S.N. Samsonov, V.I. Manykina

Academy of Sciences of Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, Yakutsk, Russia

The analysis of changes in parameters characterizing a state of human cardiovascular system – a symmetry coefficient of a T-wave of the electrocardiogram (parameter T) – for the inhabitants of Tiksi and Yakutsk during geomagnetic storms was fulfilled. It is shown that the growth of parameter T for Arctic zone inhabitants often observed two days before the beginning of a storm, but maximum values of the parameter achieved the second or third day after the beginning of a storm – at the recovery phase. For the mid-latitude city inhabitants (Yakutsk) the increase of parameter T two days before the beginning of the storm is shown not always, but more clearly appears maximum in the storm first day, i.e. during main phase of a storm.

The cyclic dynamics of northern trees photosynthetic capacity

P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva, V.K. Zhironov (*Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Apatity, Russia*)

The contemporary approaches to registration means of the local biological responses on global biosphere changes simultaneously with possible cosmic fine effects on terrestrial biota life suggest the wide use of remote-sensing and noninvasive, but sensitive methods. Such state-of-the-art technique provides an investigator by current data with minimal disturbance of the living objects.

Long-term monitoring for photosynthetic capacity of indicator flora species was carried out in terms of noninvasive optical method which have been included chlorophyll fluorescence measurements in situ emitted up the surface of native foliage. The pulse amplitude modulated PAM-2100 portable chlorophyll fluorometer from Heinz Walz Effetrich (Germany) was used. The parallel daily PAR, UV, temperature and humidity measurements for the plant vegetation local points were carried out also. The ran current data were as follows: Fo and Fm – minimal dark and maximal chlorophyll fluorescence, respectively; derivative parameter Fv/Fm which is a measure of the maximal quantum yield of photosystem II and some other indices.

The midday and evening chlorophyll fluorescence measurements of *Salix caprea* L., *Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth, *Lonicera edulis* Turcz. Ex Freyn., *Lonicera tatarica* L., *Syringa josikaea* Jacq. fil arboreal deciduous plants were carried out daily, starting of June to October/ Both 2014 yr and 2015 yr seasons are considered.

The photosynthesis capacities of the plants throughout whole vegetation season were compared between different biological species and with UV, PAR, temperature. A number of cycles in Fo, Fm and Fv/Fm seasonal dynamics were revealed in terms of spectral analysis for the rows obtained. The most robust periods registered were as follows: circaseptan (about 7-day) and circasemiceptan (about 3,5-day), the cycles about 14-day, a number of larger period cycles were found also. The relation of the plant photosynthesis capacity with climatic, geophysical indices and plausible cosmic provenance of the cycles found are discussed.

Функциональные перестройки периферической крови в высоких широтах при вариациях геофизических агентов

Н.К. Белишева, Т.С. Завадская, Д.А. Петрашова, Р.Е. Михайлов

ФГБУН Кольский научный центр РАН, г. Анапты, natalybelisheva@mail.ru

Проведено исследование по выявлению функциональных перестроек периферической крови, ассоциированных с эффективностью лейкоцитарных механизмов воспаления и иммунных реакций, в различные годы и фазы солнечной активности (СА), характеризующихся определенным уровнем интенсивности ионизирующей компоненты вторичных космических лучей и геомагнитной активностью (ГМА). Исследование было выполнено на препаратах периферической крови (1335 образцов крови), полученных от 564 человек разного пола и возраста при разной интенсивности нейтронной компоненты вторичных космических лучей и разным уровне геомагнитной активности (1991 г., 2007, 2008 г., 2010 г., 2011 г., 2012 г., 2013 г., 2014 г.). Показано, что функциональные перестройки периферической крови определяются «дозовым» соотношением воздействия космических лучей и геомагнитной активности (Belisheva et al, 2007). Обнаружено, что уровень интенсивности нейтронов (или ионизирующей компоненты

природного происхождения) определяет соотношение клеточного состава периферической крови и характер (знак связи) между клетками крови. Впервые установлено, что между лейкоцитами крови существуют как устойчивые связи, сохраняющие свой знак независимо от пола, возраста испытуемых, уровня интенсивности нейтронов и геомагнитной активности, так и лабильные связи, знак которых определяется текущим состоянием организма и внешним воздействием. Отрицательные связи между лимфоцитами (ЛФ) и сегментами (Сег), и ЛФ и моноцитами (Мн) (при высокой интенсивности нейтронов) у здоровых испытуемых относятся к устойчивым. Знаки других связей могут меняться в зависимости от уровня СА, геомагнитных возмущений (ГМВ) и интенсивности КЛ. Оценка фагоцитарной активности и НСТ (Нитро Синий Тетразолий) -теста выявила, что фагоцитарный индекс возрастает с возрастанием интенсивности КЛ, в то время как завершённый фагоцитоз (НСТ-тест) более эффективен при возрастании ГМА. Впервые обнаружено, что показатель энтропии лейкоцитарной формулы модулируется ионизирующей компонентой КЛ и ГМА и отражает эффективность неспецифической иммунорезистентности организма. Это означает, что эффективность иммунных реакций можно прогнозировать: при возрастании интенсивности ионизирующей компоненты КЛ, эффективность иммунных реакций становится ниже, а воспалительные процессы могут иметь хронический, вяло текущий характер. Проведенный статистический анализ (Белишева, 2014) подтвердил выводы, полученные в экспериментальных исследованиях. Такие классы болезней как: новообразования, болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм, болезни системы кровообращения, болезни кожи, подкожной клетчатки, болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения, травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин, осложнения беременности, родов и послеродового периода значимо связаны с интенсивностью космических лучей у поверхности Земли. Распространенность же некоторых инфекционных и паразитарных болезней возрастает в годы высокой СА и геомагнитной активности. Известно, что лейкоциты, к которым относятся нейтрофилы (Нт), включая палочкоядерные (ПяН) и сегментоядерные (СяН) нейтрофилы, лимфоциты (Лф), моноциты (Мн), эозинофилы (Эоз) и базофилы (Баз), являются основными клеточными компонентами воспаления и иммунной реакции. Вариации геофизических агентов в высоких широтах, фактически, модулируют функциональное состояние периферической крови посредством изменения характера связей между лейкоцитами и их содержанием. В свою очередь, функциональные перестройки крови отражают эффективность иммунных реакций, определяющих гомеостаз. Исследования показали, что гомеостаз и оптимальный уровень эффективности иммунных реакций поддерживается на основе индивидуальной стратегии изменения характера связи между клеточными элементами крови в соответствии с «дозой» возмущающего воздействия (Белишева, Конрадов, 2005).

Влияние вариаций космофизических агентов на рост микрофлоры в организме женщин, проживающих в Евро-Арктическом регионе

Т.С. Завадская¹, Е.Н. Чеботарева², Р.Е. Михайлов¹, Н.К. Белишева¹

¹ФАНО ФГБУ КНЦ РАН г. Апатиты, Россия

²ГОБУЗ АКЦГБ г. Кировск, Россия

Green.myrtal@mail.ru

Исследование было направлено на определение качественного состава микробиоты женского организма в разных возрастных группах и выявление характера зависимости обилия микрофлоры мазка из цервикального канала в организме женщин, проживающих в высоких широтах, от вариаций космофизических агентов. Проведен анализ характера связи между видовым разнообразием, обилием микробиоты и сезонами года, поиск видовых особенностей связи между микрофлорой и вариациями космофизических агентов.

В исследовании использовались данные результатов анализов цервикальной жидкости женщин, проживающих в Апатито-Кировском районе Мурманской обл. и, проходивших обследование в микробиологической лаборатории ГОБУЗ АКЦГБ г. Кировска.

В результате анализа записей микробиологических исследований, были определены качественные особенности состава микробиоты и выявлены наиболее встречаемые бактерии. Был проведен сравнительный анализ качественного состава микробиоты у женщин разного возраста, было показано, что геокосмические агенты модулируют видовой и численный состав микрофлоры цервикальной жидкости женщин, проживающих в Евро-Арктическом регионе, предопределяя тем самым распространенность определенных инфекций. Знание характера связи между инфекционными возбудителями и вариациями космофизических агентов позволяет на основе прогнозов СА и ГМА принимать превентивные меры для снижения риска инфицированности и заболеваемости женщин.

Возможный вклад высокоширотных вариаций геомагнитного поля в особенности волновой структуры сердечного ритма у жителей Заполярья

А.А. Мартынова, С.В. Пряничников, Р.Е. Михайлов, Н.К. Белишева (ФГБУН Кольский научный Центр РАН, Анапиты, martynovaalla@yandex.ru)

В работе проведено сравнение особенностей волновой структуры сердечного ритма у лиц, проживающих на Северо-западе (Мурманская и Ленинградская обл.) России и в республике Коми (г. Сыктывкар). Волновая структура сердечного ритма оценивалась на основе спектрального анализа variability сердечного ритма (ВСР). Спектральные компоненты сердечного ритма были представлены высокочастотными (дыхательные волны, 0,15–0,4 Гц; 2,5 – 6,5 сек- HF ms²), низкочастотными (медленные волны 1-го порядка, 0,04–0,15 Гц; - 6,5 – 25 сек - LF ms²), очень низкочастотными (медленные волны 2-го порядка, 0,003–0,04 Гц; 25 - 333 сек - VLF ms²) колебаниями. При спектральном анализе для каждого из компонентов вычисляли абсолютную суммарную мощность в диапазоне, и относительное значение в процентах от суммарной мощности во всех диапазонах (Total Power - TP ms²). При этом TP обычно определяется как сумма мощностей в диапазонах HF, LF и VLF. Кроме того, вычисляли значение индекса вагосимпатического взаимодействия (LF/HF). При сравнительном анализе волновой структуры в группах сравнения были использованы данные собственных исследований (382 человека, проживающих в Мурманской обл., из них 273 мужчины и 109 женщин), данные по Санкт-Петербургу: 393 человека, в том числе 275 мужчин и 118 женщин (Бойцов и др., 2002), данные по г. Сыктывкару, 60 мужчин (Логина, 2006). Было показано, что для лиц, проживающих в Северо-западном регионе (Мурманская и Ленинградская обл.) характерны низкие показатели суммарной мощности частотного спектра (TP), причем у жителей Мурманской обл., расположенной в авроральной зоне, отмечаются самые низкие показатели спектральных составляющих ВСР. Анализ экспериментальных данных, полученных при мониторинге ВСР у волонтеров в период, характеризующийся высокой геомагнитной активностью (ГМА), 24 сентября-18 октября 2012 г. выявил связь между индексами ГМА и волновой структурой сердечного ритма. Было показано, что мощность спектральных составляющих (HF, LF) компонент, а также суммарная мощность во всех спектральных диапазонах частот (TP) уменьшаются при возрастании ГМА. Так были показаны значимые ($p < 0.05$) обратные корреляции между абсолютной мощностью HF, LF –компонент, TP и индексами ..AE, ap, PC, локальными индексами ГМА (K и Ak, данные обсерватории Соданкуля). При этом, возрастание ГМА сопровождалось снижением вклада HF- компоненты (HF,%) и возрастанием вклада LF-компоненты (LF,%) в суммарную спектральную мощность. Полученные результаты позволяют предположить, что частые и интенсивные геомагнитные возмущения могут быть одной из возможных причин снижения мощности спектральных составляющих волновой структуры сердечного ритма у жителей Заполярья. Снижение вклада HF- компоненты и возрастание вклада LF-компоненты в суммарную спектральную мощность во время геомагнитных возмущений свидетельствует о напряжении механизмов регуляции сердечного ритма, когда адаптация достигается путем активизации энергозатратных механизмов, связанных с возрастанием вклада центрального звена (симпатической нервной системы) в регуляцию сердечного ритма. Такая связь может свидетельствовать также о нарастании с возрастом «усталости» сердечно-сосудистой системы, в результате воздействия высокоширотных вариаций геомагнитного поля (ГМП). Проявлением вклада высокоширотных вариаций ГМП в особенности волновой структуры сердечного ритма может быть снижение мощности всех спектральных составляющих волновой структуры сердечного ритма.

Оценка биоэффективности высокоэнергетических нейтронов вторичных космических лучей у поверхности Земли

Д.А. Петрашова¹, Н.К. Белишева¹, Ю.В. Балабин², Е.А. Маурчев²

¹ФГБУН Кольский научный центр Российской академии наук

²ФГБУН Полярный геофизический институт КНЦ РАН, petrashova@admksk.apatity.ru

Изучение биоэффективности нейтронной компоненты вторичных космических лучей (КЛ) у поверхности Земли в широком энергетическом диапазоне может внести вклад в понимание особенностей воздействия нейтронов на организм человека в условиях космического полета. Для выявления вклада нейтронной компоненты с высокими энергиями, (способных вступать в ядерные взаимодействия с веществом) в индукцию генетических нарушений у различных биологических объектов при фоновых вариациях КЛ, нами была использована специальная установка, «отсекающая» энергетический спектр нейтронов с энергиями <50 МэВ. Установка представляет собой парафиновый октаэдр с внутренней «борированной» камерой для инкубации биологических объектов. Толщина стенок экранирования была рассчитана с применением

моделирования условий прохождения нейтронов через вещество с использованием метода Monte Carlo PLANETOCOSMICS (*Monte-Carlo N-particle transport code*), на основе пакета GEANT4 (*Maurchev et al., 2013*). Сравнение частоты и характера цитогенетических нарушений в исследуемых объектах при фоновом воздействии КЛ у поверхности Земли и в условиях экранирования позволит понять роль КЛ для функционирования биосистем и возможные эффекты КЛ в период космических миссий.

В качестве объекта исследования был выбран Лук репчатый (*Allium cepa* L.), который рекомендован экспертами ВОЗ, как стандарт в цитогенетическом мониторинге окружающей среды. Цитогенетические нарушения в клетках этого объекта, при тестировании степени генотоксичности воздействий, хорошо коррелируют, при сходных воздействиях, с цитогенетическими нарушениями в клетках млекопитающих и человека (*Fiskesjo, 1985; Barbetrio et al., 2011*).

Эксперимент включал три этапа исследований: 1. Анализ динамики возможных нарушений митоза и ядерной структуры в клетках меристемы; 2. Определение всхожести семян и интенсивности роста проростков; 3. Оценка уровня возможных нарушений митоза и ядерной структуры в клетках меристемы после недельной экспозиции в парафиновой камере. Методика эксперимента подробно описана в статье (*Петрашова и Белишева, 2015*).

Установлено, что при инкубации в парафиновой камере проростков *A. cepa* в условиях воздействия высокоэнергетической нейтронной компоненты КЛ с энергиями >50 Мэв, наблюдается снижение скорости деления (пролиферации) клеток, возрастает частота разнообразных нарушений генетического материала (встречаемость мостов в анафазе и телофазе и микроядер в клетке), возникают такие эффекты как агглютинация (слипание) хромосом и появление двуядерных клеток. Такие летальные для клетки нарушения, как агглютинация хромосом, наряду с запаздыванием деления клеток (цитокинеза) могут быть специфическими показателями биоэффективности высокоэнергетической нейтронной компоненты КЛ. В работе представлены предварительные результаты, свидетельствующие о проявлении феноменов, ассоциированных с воздействием высоко энергетических нейтронов в составе вторичных КЛ. Привлечение дополнительных растительных тест-объектов, например, использовавшихся в других наших работах (*Vigna radiata*), позволит оценить степень универсальности нарушений генетического материала, возникающих вследствие взаимодействия нейтронов с клеточным веществом.

Микроядра в лимфоцитах периферической крови у жителей высоких широт

В.В. Пожарская (*ФГБУН Кольский научный центр РАН, г. Анатумы, vika_pozharskaja@mail.ru*)

Проведенные ранее исследования показали, что население Севера по ряду показателей отличается более высокой заболеваемостью, чем в среднем по России (*Белишева, Петров, 2013*). При этом определенный вклад в заболеваемость жителей арктического региона вносят высокоширотные космо- и гелиофизические агенты, ассоциированные с солнечной активностью (*Белишева, Мельник, Талькова, 2011*). Проживание на Севере повышает чувствительность к воздействию высокоширотных факторов среды и сужает адаптационный диапазон. Одним из наиболее широко используемых в практике оценки генотоксических свойств факторов окружающей среды является микроядерный тест на лимфоцитах периферической крови. Данный цитохнетический метод является одним из методов оценки особенностей адаптации человека к арктической среде. Материалом исследования послужили результаты определения спонтанной частоты образования микроядер в бинуклеарных лимфоцитах периферической крови жителей Мурманской области (250 человек), инкубированной после стимуляции фитогемагглютинином в CO₂-инкубаторе в течение 72 часов при 37°C, цитокинез которых был блокирован питохалазином Б.

Среднее число двуядерных клеток без идентифицированных нарушений, составляло 988,2±2,5 на 1000 двуядерных клеток (96-99%). Среднее число лимфоцитов с микроядрами достигало 15,9±6,8 клеток (0,5-3,5%), что соответствует значениям для жителей российских городов – от 8,6 до 17,7 (*Мельнов, 2000; Серебрянный и др., 2011; Ахмадуллина, Аклеев, 2013*). При сравнении группы обследованных горняков, в возрасте от 20 до 30 лет (стаж 1-7 лет) с одновозрастной группой жителей города Апатиты не занятых в горнорудном производстве установлено, что у подверженных хроническому облучению лиц наблюдается большее число клеток с микроядром (13,6±2,5 против 8,9±1,3 в контрольной группе).

Микроядра в лимфоцитах являются маркером различных типов хромосомных нарушений (*Kirsch-Volders, Fenech, 2001*), поскольку известно, что микроядра являются небольшими структурами, образующимися в результате отставания хромосом и их фрагментов в процессе митотического деления (*Lindberg et al., 2007*). Проанализированные препараты добровольцев показывают, что у людей подверженных хроническому воздействию повышенной концентрации радона степень поврежденности генома выше относительно одновозрастной группы лиц, не имеющих в анамнезе факторов радиационных воздействий. В контрольной группе отмечено меньшее число полиядерных клеток, что свидетельствует о большей продолжительности клеточного цикла относительно группы добровольцев подверженных хроническому облучению. Это подтверждается индексом пролиферации.

AUTHOR INDEX

- A**
- Abdulaev A.R.42
 Abunin A.A. 18, 30
 Abunina M.A. 18, 30
 Ahmetov O.I.27
 Alexeyev V.N. 11
 Antonenko O.V.40
 Antonova E.E. 12, 22
 Arhipov R. Yu.21
 Astaf'ev A.M.52
 Avakyan S.V.48
- B**
- Balabin Yu.V.29, 30, 50, 55
 Barkhatov N.A. 14, 15, 40
 Barkhatova O.M.40
 Belakhovsky V.B.26, 27
 Belisheva N.K. 53, 54, 55
 Belov A.V. 18, 30
 Berngardt O.I.34
 Bessarab P.F.45
 Bogdanov V.V.36
 Borchevkina O.P.35, 36
 Borodkova N.L.33
 Bosinger T.41
- C**
- Chebotareva E.N.54
 Cherniakov S.M. 34, 38
 Chernouss S.A. 10, 48
 Chertok I.M. 18
 Chirik N.V. 35, 36
 Chugunov Yu.V.38
- D**
- Dadashev R.Z.36
 Dashkevich Zh.V.41
 Demekhov A.G. 23, 24, 25, 27
 Demin V.I. 50, 51
 Despirak I.V. 10, 11
 Divin A.V. 20, 21
 Dremukhina L.A. 12, 13
 Dubyagin S.V. 14
- E**
- Efishov I.I. 10
 Elizarova N.I.51
 Ermakova E.N.41
 Eroshenko E.A.30
- F**
- Fedorenko Yu.V. 23, 24, 44, 45
 Fedorov E.N.27
 Fedorov R.R.34
 Fedotova E.A.52
 Filatov M.V. 10, 45, 51
 Filippov M.Yu.47
 Frank-Kamenetsky A.V. 38, 49
- G**
- Galakhov A.A.42
 Galkin I.A.35
 Germanenko A.V.29, 50
 Glavatsky Yu.A.40
 Golovchanskaya I.V. 10, 11
 Gomonov A.D.34
 Gordeev E.I. 17, 19
 Grach V.S.23, 48
 Grechnev V.V.18
 Grkovich K.V.34
 Gromov S.V.12
 Gromova L.I. 12, 23
 Guineva V.11
 Gvozdevsky B.B.29, 50
- I**
- Ievenko I.B. 11, 19
 Ilminskaya A.V.35, 36
 Ivanov V.E.41
- K**
- Kaisin A.V.36
 Kalacheva N.V.53
 Kanatjev A.G.49, 50
 Karpachev A.T.35, 46
 Karpov A.I.35
 Karpov I.V. 35, 36
 Kasatkina E.A.49, 50
 Kashulin P.A.53
 Katkalov Yu.17
 Kauristie K.14
 Khalipov V.L.36, 47
 Kharchiladze A.F.13
 Kirillov A.S.40, 41
 Kirillov V.I.39, 42
 Kirpichev I.P.22
 Kleimenova N.G. 10, 12, 14, 23, 24
 Kletcling K.27
 Klimenko M.V. 35, 36, 42, 43, 45
 Klimenko V.V. 35, 36, 43
 Kobyakova S.E.36
 Kogai T.G.10
 Kolmasova I.37
 Koltunen E.M.10
 Koren'kova N.A.42, 43
 Kornilov I.A. 10, 11, 23
 Kornilova T.A. 10, 11
 Korovinsky D.B.20
 Kosolapova N.V.40
 Kotova D.S.43
 Kotova G.A.36
 Kozelov B.V. 11, 12, 27, 39, 51
 Kozelova T.V.12
 Kozlov D.A.24
 Kozlovsky A.E.24, 27
 Kozyreva O.V. 14, 26
 Kubyshkina D.I.16
 Kubyshkina M.V.16
 Kulikov Y.Y.49
 Kulikov Yu.N.40

L	
Lan R.	37
Larchenko A.V.	44, 45, 51
Lebed O.M.	44
Leonovich A.S.	24
Leshchenko V.S.	42
Levitin A.E.	12
Lorencen D.	26
Lubchich A.A.	10, 24
Lubchich V.A.	19
Lukianova R.Yu.	36

M	
Macheev G.A.	17, 19
Malova H.V.	21
Malysheva L.M.	12
Manninen J.	23, 24, 27
Manykina V.I.	53
Markov A.V.	42
Martynova A.A.	55
Maslov I.A.	39
Maurchev E.A.	30, 55
Melnik M.N.	13, 21, 37
Mikhailov R.E.	53, 54, 55
Mingalev I.V.	21, 27, 52
Mingalev O.V.	21, 27, 37
Mingalev V.S.	37
Mitrofanov V.N.	22
Murr D.	27

N	
Nikitenko A.S.	44
Nosikov I.A.	45
Noskov S.P.	51

O	
Ogloblina O.F.	34
Oleneva V.A.	30
Orlov K.G.	52
Ovodenko V.B.	47

P	
Panchenko V.A.	38, 39, 42, 47
Parnikov S.G.	11
Pasmanik D.L.	25, 27
Pchelkin V.V.	42
Petrashova D.A.	53, 55
Pilgaev S.V.	22, 44, 45, 51
Pilipenko V.A.	26, 27
Pirog O.M.	47
Podgorny A.I.	31, 32
Podgorny I.M.	31, 32
Podlesny A.V.	43
Ponyavin D.I.	29, 30
Popova T.A.	25
Pozharskaya V.V.	56
Pryanichnikov S.V.	55
Pushay S.A.	47

R	
Rakhmanova L.S.	33
Ratovsky K.G.	35, 42, 43
Remenets G.F.	52

Revunov S.E.	14
Revunova E.A.	15
Rivz J.	27
Rogov D.D.	38
Roldugin A.V.	12, 13, 22, 38
Roldugin V.C.	12, 13, 38
Romanov R.V.	15
Romanova N.Yu.	46
Rozhdestvenskaya V.I.	39
Rubtsov O.S.	45
Rudneva N.M.	13
Ryabov A.V.	41
Ryazantseva M.O.	33

S	
Safargaleev V.V.	22
Sakharov Ya.A.	17
Samsonov S.N.	26, 53
Santolik O.	23, 27, 37
Sapunova O.V.	33
Selivanov V.	17
Semenov V.S.	16, 20, 21
Semenova N.V.	20, 25
Sergeev V.A.	17, 19
Shadrina L.P.	13, 53
Shagimuratov I.I.	10
Shirokov E.A.	38
Shumilov O.I.	49, 50
Shur L.I.	29
Shvec M.V.	10
Skripachev V.O.	46
Smirnova E.S.	35
Stepanov A.E.	36, 43, 47
Strizhak Y.V.	29
Surovtseva I.V.	46
Suvorova Z.V.	27
Svidsky P.M.	13

T	
Taubenschuss U.	23
Telegin V.A.	38, 39, 46, 47
Tepenitsyna N.Y.	10
Tereshchenko V.A.	34
Timonen M.	49, 50
Titova E.E.	24, 27
Troitsky A.V.	48
Turunen T.	24
Turyanskiy V.A.	12
Tyutin I.V.	47

U	
Ugolnikov O.S.	39
Uhlir L.	37
Uliev V.A.	38
Uspensky M.V.	14

V	
Van De Kamp M.M.J.L.	14
Vasil'eva I.A.	30
Vasiliev E.B.	34
Vasiliev P.A.	35
Vesnin A.M.	35
Viljanen A.	17
Vinogradov A.B.	15
Volkov A.V.	51

Volkov M.A.	20
Vonogradov A.B.	14
Vorobjev V.G.	14, 16, 22, 38

Y

Yagodkina O.I.	14, 16, 22, 38
Yahnin A.G.	20, 24, 25
Yahnina T.A.	20, 25
Yakimova G.A.	10
Yanke V.G.	30

Z

Zakharenkova I.E.	35, 43
Zakharov V.E.	43
Zastenker G.N.	33
Zavadskaya T.S.	53, 54
Zaytsev I.V.	21
Zeleniy L.M.	21
Zelinsky N.R.	12, 21
Zhbankov G.A.	38, 39, 45
Zhirov V.K.	53
Zverev V.L.	16

Научное издание

PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

Proceeding of the 39th Annual Seminar

Abstracts

Технический редактор В.Ю. Жиганов

Подписано к печати 12.02.2016

Формат бумаги 60x84 1/8. .

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic

Усл. печ. л. 6,85. Заказ N2 6. Тираж 50 экз.

Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14

КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
183010, г. Мурманск, ул. Халтурина, 15

KOLA SCIENCE CENTRE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE
15, Khalturina str., Murmansk, 183010, RUSSIA

