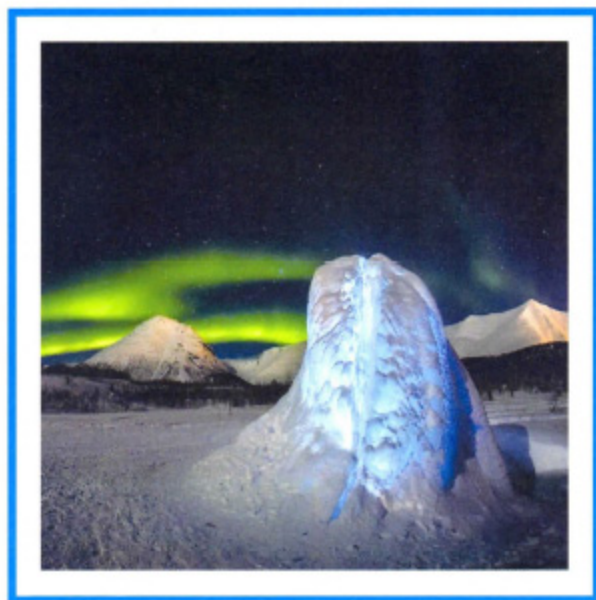


*Russian Academy of Sciences*

# PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

41<sup>st</sup> Annual Seminar  
12 – 16 March 2018

Abstracts



*Russian Academy of Sciences*  
Polar Geophysical Institute

PGI-17-01-136

With support from:



РОССИЙСКИЙ  
ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ



**PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA**

41<sup>st</sup> Annual Seminar

Abstracts

12 – 16 March 2018

Apatity  
2018

This publication is supported by RFBR (grant № 18-05-20006 Г)

The organizing committee:

Andris Lubchich (chair)

Irina Despirak

Nadezhda Semenova

Victor Yurov

Konstantin Orlov

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>

Научное издание

Технический редактор: В. Ю. Жиганов

Подписано к печати 01.03.2018. Формат бумаги 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 9,06. Заказ № 3. Тираж 70 экз.

ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН

184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Фермана, 14

© Polar Geophysical Institute  
Russian Academy of Science, 2018

## CONTENTS

### SESSION 1. GEOMAGNETIC STORMS AND SUBSTORMS

I.V. Despirak, A.A. Lubchich, N.G. Kleimenova	Supersubstorms appearance and the solar wind conditions	13
N.P. Dmitrieva, M.A. Shukhtina, A.G. Yahnin	On the substorm development under different solar wind conditions	13
L.A. Dremukhina, Yu.I. Yermolaev, I.G. Lodkina	Correlation relations between parameters of the Solar wind of different types and geomagnetic activity indices for the period 1995-2016	14
M.A. Evdokimova, A.A. Petrukovich	Analysis of methods for estimating equivalent ionospheric current from meridian magnetometer chain data	14
L.I. Gromova, N.G. Kleimenova, S.V. Gromov	High-latitude daytime magnetic bays in the September 2017 strong magnetic storm	14
V. Guineva, I.V. Despirak, A.A. Lubchich, R. Werner	Simultaneous observations of a substorm by THEMIS and by MAIN camera system in Apatity	15
Desheng Han	A review of dayside diffuse aurora and throat aurora	15
T.G. Kogai, O.V. Khabarova	Testing of technique of medium-term forecast for magnetic storms in the solar maximum conditions	16
T.A. Kornilova, I.V. Golovchanskaya	Interpretation of auroral arc fading before substorm onset in terms of Alfvén resonance scenario	16
T.V. Kozelova, B.V. Kozelov	High-speed plasma flows and dipolarization in the magnetosphere during substorm	16
V.A. Pilipenko, V.B. Belakhovsky, Ya.A. Sakharov, V.N. Selivanov	Impulsive disturbances of the geomagnetic field as a cause of induced currents in electric power lines	17
V.C. Roldugin, A.V. Roldugin	Spectrometric observations of 630.0 nm emission equatorwards auroral oval during undisturbed days in Lovozero	17
V.C. Roldugin, V.G. Vorobjev, A.V. Roldugin, O.I. Yagodkina, S.M. Cherniakov	Nighttime auroral transient event occurred on April 23, 2017 over Kola Peninsula	18
M.A. Shukhtina, E.I. Gordeev, V.A. Sergeev	Magnetotail magnetic flux evolution during the substorm growth phase	18
I. Uvarov, O. Nikiforov, A. Petrukovich, T. Podladchikova	Development of the "Aurora-Arctica" information system with use of the GEOSMIS cartographic web platform	18
V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, E.E. Antonova, V.L. Zverev	Solar wind plasma control of isolated substorm intensity	19
N.V. Yagova, N.S. Nosikova, E.N. Fedorov	Non-triggered substorms and long-period ULF waves in the magnetosphere	19

Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, О.И. Ягодкина, Ю.А. Главацкий	Суббуревая активность и ориентация фронта ударной волны межпланетного магнитного облака	20
О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, М.Н. Мельник, П.В. Сецко, Л.М. Зеленый	Стационарные конфигурации тонкого токового слоя с учетом замагниченных электронов	20
О.В. Никифоров, А.А. Петрукович, И.А. Уваров	Геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния ионосферы в арктической области «Аврора - Арктика»	21
В.А. Пархомов, Н.Л. Бородкова, А.Г. Яхнин, С.Ю. Хомутов, Б. Цэгмэд, А.Ю. Пашинин, Т. Раита	Два типа отклика магнитосферы в геомагнитных пульсациях Psc на взаимодействие с межпланетными ударными волнами	22
Я.А. Сахаров, В.И. Косолапенко	Геомагнитные наблюдения в обс. Ловозеро	22

## SESSION 2. FIELDS, CURRENTS, PARTICLES IN THE MAGNETOSPHERE

A.Y. Boldar, E.I. Gordeev, S.V. Apatenkov, V.A. Sergeev	Estimation of energy from solar wind to the magnetosphere according to the results of global MHD simulation	23
I.B. Ievenko, S.G. Parnikov, D.G. Baishev	Dynamics of the proton aurora and SAR arc as a result of eastward propagation of Pc1 wave excitation region along the plasmapause. Case study	23
O.V. Kozyreva, V.A. Pilipenko, A.A. Soloviev	Virtual magnetograms – new tool for the study of solar wind-magnetosphere coupling	24
M.B. Krainev, G.A. Bazilevskaya, B.B. Gvozdevsky	On some possibilities of the regular balloon monitoring of cosmic rays in Apatity and Dolgoprudny for studying the magnetospheric effects in cosmic ray intensity	24
A.S. Lavrukhin, I.I. Alexeev, E.S. Belenkaya	Analytical model of the Jovian magnetodisc: the choice of the current density azimuthal component dependence on distance from the planet.	24
A.S. Lavrukhin, I.V. Tyutin	Modeling of the charged particles precipitation region from Earth's radiation belts using the Stormer's theory	25
V.A. Lubchich, A.E. Sidorenko	The determination of the location of geoelectric inhomogeneities in the earth's crust by using dual-frequency radioholographic method	25
A.S. Lukin, I.U. Vasko, A.V. Artemyev, E.V. Yushkov	Two-dimensional self-similar plasma equilibria	26
A.A. Petrukovich, A.S. Lukin	Detailed regression model of plasma sheet $B_y$	26
V.A. Sergeev, E.I. Gordeev, V.G. Merkin, M.I. Sitnov	Does local B-minimum appear in the tail current sheet during substorm growth phase?	26
P.I. Shustov, A.V. Artemyev, E.V. Yushkov, A.A. Petrukovich	Sub-ion magnetic holes in the dipolarized magnetotail: Satellite observations and theoretical models	27

T.A. Yahnina, A.G. Yahnin, N.V. Semenova	Dependence of relativistic electron precipitation on geomagnetic activity	27
E.V. Yushkov, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Current sheet thinning in near and distant magnetotail by Cluster and THEMIS statistics	28
Е.Е. Антонова, М.В. Степанова, И.П. Кирпичев, И.Л. Овчинников, В.В. Вовченко, М.С. Пулинец, С.С. Знаткова, Н.В. Сотников, С.К. Мить, П.С. Казарян	Каппа распределения и особенности магнитосферной динамики	28
М.А. Волков	Структуры «косых» альвеновских волн в неоднородном двумерном магнитосферном резонаторе	28
И.А. Золотарев, В.В. Бенгин, О.Ю. Нечаев, М.И. Панасюк, В.Л. Петров, И.В. Яшин, А.М. Амелюшкин	Возрастания потоков релятивистских электронов 1-3 сентября 2016 года в авроральных областях по данным прибора ДЭПРОН	29
О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, Л.М. Зеленый	Система кинетических уравнений для бесстолкновительной космической плазмы в приближении силового равновесия электронов вдоль магнитного поля	30
О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, М.Н. Мельник, П.В. Сецко, Л.М. Зеленый	Система уравнений модели тонкого токового слоя с постоянной нормальной компонентой магнитного поля с учетом замагниченных электронов	30
Н.В. Семенова, Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин, А.Г. Демехов	Зависимость высыпаний энергичных протонов внутри анизотропной зоны от геомагнитной активности	31

### SESSION 3. WAVES, WAVE-PARTICLE INTERACTION

A. Divin, V. Semenov, I. Zaytsev	Numerical simulations of asymmetric kinetic magnetic reconnection: A case of realistic crossing	32
E.N. Fedorov, N.G. Mazur, V.A. Pilipenko, N.V. Yagova	Excitation of the electromagnetic waves in the atmosphere by an Alfvénic beam	32
F.Z. Feygin, N.G. Kleimenova, L.M. Malysheva, Yu.G. Khabazin	Complicated Pc1 emissions in the late recovery phase of the last strong magnetic storm in September 2017	32
A.S. Nikitenko, O.M. Lebed, Yu.V. Fedorenko	First results of exit point location estimation at high latitudes using probability density of Poynting vector and the circular polarization index at the ground	33
T.A. Yahnina, A.G. Yahnin, T.A. Popova	Dayside proton aurora equatorward of the proton aurora oval, EMIC waves, and plasmasphere	33
I.V. Zaitsev, A.V. Divin, V.S. Semenov	Evolution of slow-mode shocks and rotational discontinuities in kinetic simulations	34
Н.Г. Клейменова	Геомагнитные пульсации и роль В.А. Троицкой в создании российской школы их исследований	34

Ю.А. Копытенко, В.С. Исмагилов, М.С. Петрищев, П.А. Сергушин, А.В. Петленко	Широкополосные УНЧ возмущения электрического поля в прибрежной зоне Охотского моря	35
А.А. Любчик	Несколько слов о взаимодействии малых возмущений с ударной волной в вязкой среде	35
Т.А. Попова, А.А. Любчик, А.Г. Демехов	Питч-угловая диффузия энергичных протонов при их взаимодействии с ЭМИЦ волнами: сравнение результатов расчетов с данными спутников THEMIS и Van Allen Probes	36
В.В. Сафаргалеев, П.Е. Терещенко	Аномальные пульсации герцового диапазона на фазе восстановления магнитной бури в сентябре 2017 г.: динамика пульсаций в контексте изменения параметров межпланетной среды	36
Е.Е. Титова, А.Г. Демехов, Ю. Маннинен, А.А. Любчик, Д.Л. Пасманик, А.В. Ларченко	Локализация источников квазипериодических ОНЧ излучений в магнитосфере по результатам одновременных наблюдений на спутниках Van Allen Probes и на Земле	37

#### SESSION 4. THE SUN, SOLAR WIND, COSMIC RAYS

V.S. Anashin, G.A. Protopopov, N.V. Balykina, A.U. Repin, V.I. Denisova, A.V. Tsurgaev	Results of solar cosmic rays flux observation on several spacecraft at different orbits in September 2017	38
A.V. Borisenko	The study of coronal holes and related space weather phenomena in the CRAO	38
B.B. Gvozdevsky, A.V. Belov, R.T. Gushchina, O.A. Danilova, E.A. Eroshenko, V.G. Yanke	Peculiarity of long-term changes in the geomagnetic cutoff rigidity of cosmic rays of inclined directions	38
M.B. Krainev, G.A. Bazilevskaya, M.S. Kalinin, N.S. Svirzhevsky, A.K. Svirzhevskaya	On the trend in the heliospheric characteristics and galactic cosmic ray intensity in the minima of the last solar activity cycles	39
P. Stoeva, A. Stoev, S. Kusin, B. Marzouk, A. Pertsov, M. Semeida	Structure and dynamics of the solar corona observed during different phases of the solar cycle	39
A.I. Podgorny, I.M. Podgorny	The configuration of the magnetic field in the corona above the active region in which the energy is accumulated for solar flares	40
I.M. Podgorny, A.I. Podgorny	On the possibility of prognosis of solar flares and proton events from behavior of the ultraviolet emission	40
L.S. Rakhmanova, M.O. Riazantseva, G.N. Zastenker, M.I. Verigin	Kinetic-scale plasma turbulence in the Earth's magnetosheath affected by the bow shock and the magnetopause	41
O.V. Sapunova, N.L. Borodkova, G.N. Zastenker, Yu.I. Yermolaev	Fine structure of the interplanetary shocks observed by BMSW experiment onboard the SPEKTR-R	41
V.A. Shishaev, M.I. Suhovey, G.F. Remenets	Diurnal variations of the bottom edge of the ionosphere during the proton precipitations on and after 29 September 1989	42

A.A. Vinogradov, I.Y. Vasko, A.V. Artemyev, E.V. Yushkov	Kinetic scale current sheets in solar wind	43
V.G. Yanke, B.B. Gvozdevsky, A.V. Belov, R.T. Gushchina, E.A. Eroshenko	The role and technique of accounting of penumbra at estimation of the effective geomagnetic cutoff rigidity of cosmic rays	43
A.A. Абунин, М.А. Абунина, А.В. Белов, С.П. Гайдаш, Е.А. Ерошенко, Е.А. Маурчев, В.А. Оленева, И.И. Прямушкина, В.Г. Янке	Уникальная база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде	43
Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко	Событие GLE 10 сентября 2017	44
Н.А. Бархатов, Е.А. Ревунова, Р.В. Романов, В.Г. Воробьев	Солнечные источники и характеристики магнитных облаков солнечного ветра	44
Е.А. Маурчев, А.А. Абунин, П.Г. Кобелев	Диаграмма направленности и геометрический фактор телескопических систем заряженных частиц с учетом реальных толщин детекторов и их эффективностей и сравнение с приближением геометрической оптики	45
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин	Использование пакета RUSCOSMICS в задачах оценки скорости ионизации атмосферы Земли протонами космических лучей	45
Е.А. Михалко, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко	Мобильный малогабаритный детектор вторичной электронно-мюонной компоненты	45

## **SESSION 5. IONOSPHERE AND UPPER ATMOSPHERE**

J.O. Adeniyi, B.W. Joshua	The response of the ionospheric F2 layer peak parameters around the crest of the EIA to some space weather events	46
E.S. Andreeva, E.D. Tereshchenko, M.O. Nazarenko, I.A. Nesterov, A.M. Padokhin	The structural pattern and degree of perturbation in the ionosphere based on the radio tomography data under different geomagnetic activity levels	46
O.V. Antonenko, A.S. Kirillov, Yu.N. Kulikov	Production and quenching of Herzberg states of molecular oxygen in the nightglow of Venus, Mars, Earth	46
A.M. Astafiev, G.F. Remenets	Estimation of the mode conversion effect for a VLF inverse problem solution in the cases of ultra-energetic relativistic electron (~ 100 MeV) precipitations	47
V.B. Belakhovsky, Y. Jin, W.J. Miloch	The influence of different ionospheric disturbances on the GPS scintillations at high latitudes	47
S.M. Cherniakov, R.A. Rakhmatulin, S.V. Nikolashkin	Reaction of the geomagnetic field to the flights of the Vilyuisk and Sayanogorsk meteors	48



S.M. Cherniakov, V.A. Turyansky, A.D. Gomonov	Ionospheric effects of meteor explosion over North Finland on November 2017	48
S. Chernouss, I. Shagimuratov, M. Filatov, I. Efishov	Comparison of occurrence of the TEC irregularity oval and the optical auroral oval model	48
Y. Duann, L.C. Chang, Y.C. Chiu, I.V. Medvedeva, K. Ratovsky	Photochemical model for atomic oxygen ion retrieval from ground-based observations of airglow	49
A.D. Gomonov, Yu.A. Shapovalova	A comparative analysis of the electron concentration from the observations of the partial reflections facility and the IRI model	49
K. Iluore, F.N. Okeke	Performance of NeQuick-2 model and IRI-Plas 2017 model during solar maximum year in 2013-2014 over global equatorial and low latitude regions	50
V.A. Ivanova, A.V. Podlesnyi, B.G. Salimov, A.A. Naumenko	Study of HF radio waves absorption effects during X-ray solar flares using amplitude characteristics of chirp signals	50
V.L. Khalipov, G.A. Kotova, M.I. Verigin, A.E. Stepanov, D.V. Chugunin	Formation of high density regions in the plasmasphere by vertical fluxes of cold ions from the ionosphere	50
V.L. Khalipov, A.E. Stepanov, G.A. Kotova, E.D. Bondar	Geophysical verification of mechanisms for the polarization jet formation	51
A.S. Kirillov	Vibrational populations of electronically excited states of molecular nitrogen in the atmosphere associated with sprites	51
A.S. Kirillov, R. Werner, V. Guineva	Intermolecular electron energy transfer processes in upper atmospheres of Titan, Triton, Pluto	51
M.V. Klimenko, V.V. Klimenko, I.E. Zakharenkova, K.G. Ratovsky, R.V. Vasiliev, R.Yu. Lukianova, I.V. Despirak, B.V. Kozelov, S.M. Cherniakov, A.V. Dmitriev, A.V. Suvorova, E.S. Andreeva, A.M. Vesnin, E.D. Tereshchenko	Ionospheric response to 2015 St. Patrick geomagnetic storm	52
B.V. Kozelov, V.E. Ivanov, Z.V. Dashkevich	Triangulation of auroral rays in Apatity by MAIN system	53
A.V. Larchenko, Yu.V. Fedorenko, O.M. Lebed, S.V. Pilgaev	The ionospheric ELF/VLF source electromagnetic field and the lower ionosphere electron density profile by ground-based observations in ionosphere heating experiments	53
O.M. Lebed, Yu.V. Fedorenko, N.F. Blagoveshchenskaya, A.V. Larchenko, S.V. Pilgaev	High-latitude lower ionosphere sounding using results of heating experiment in October 2016	53
I.A. Nosikov, M.V. Klimenko, P.F. Bessarab, G.A. Zhabankov, E.R. Somina	Simulation of oblique sounding ionogram at high latitudes	54

A.M. Padokhin, N.A. Tereshin, G.A. Kurbatov, A.S. Yasyukevich, Yu.V. Yasyukevich	BDS-GEO TEC variability at different time scales	54
S. Priyadarshi, Q.-H. Zhang, Y. Wang	An empirical scintillation model for a mid-latitude station, Weihai, China	55
V.E. Pronin, V.A. Pilipenko, V.I. Zakharov, D.L. Murr	The response of the ionospheric TEC on travelling convection vortices	55
Yu.V. Romanovskaya, O.V. Zolotov, M.A. Knyazeva, E.V. Parkhimovich	Software detection of ionosphere precursors to earthquakes: problem statement	55
A.Yu. Schekotov, N.V. Yagova, E.N. Fedorov, V.A. Pilipenko, N.S. Nosikova	IAR pulses and regional thunderstorms	56
I.I. Shagimuratov, G.A. Yakimova, S.A. Chernouss, I.I. Efishov, L.M. Koltunenکو	Occurrence of the Main Ionospheric Trough in GPS-TEC measurements	56
J. K. Shi, G. J. Wang, Z. Wang, X. Wang, G. Zherebtsov, K. Ratovsky, N. Polekh	Study on the types of ionospheric spread-F at different low latitudes	57
A.E. Stepanov, A.Yu. Gololobov, V.L. Khalipov, I.A. Golikov	Ion upward flows in subauroral polarisation jet	57
O.V. Zolotov	An analysis of one approach to model electric currents of seismic origin floating between the Earth and ionosphere	57
O.V. Zolotov, M.V. Rybakov, A.A. Namgaladze, M.A. Knyazeva, B.E. Prokhorov, M.I. Karpov, S.A. Parfenov	UAM and another models intercomparison for subauroral ionosphere: Preliminary results	58
О.И. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, З.В. Суворова, Ю.В. Федоренко	Моделирование процессов распространения электромагнитных волн в волноводе Земля-ионосфера с учетом анизотропной ионосферы	58
О.М. Бархатова, Н.В. Косолапова, Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев	Ионосферная и геомагнитная возмущенность на фоне суббуриевых процессов	58
Л.Б. Волкомирская, О.А. Гулевич, А.С. Кюрегян, А.М. Мёрзлый, А.Е. Резников, В.И. Сахтеров, В.В. Тихонов	О связи пространственной глубины фронта зондирующего электромагнитного импульса в среде с дисперсией с эффективностью обнаружения объектов	59
Ж.В. Дашкевич, В.Е. Иванов	Оценка концентрации окиси азота в полярных сияниях по данным наземных фотометрических наблюдений	60

Д.С. Котова, М.В. Клименко, В.В. Клименко, Д.В. Благовещенский, В.Е. Захаров	Анализ высокоширотных ионограмм наклонного зондирования в период геомагнитной бури 17 марта 2015 г.	60
В.А. Мартинес-Беденко, В.А. Пилипенко, В.И. Захаров	Возмущения верхней ионосферы и геомагнитного поля над тайфуном VongFong 2014 г. по данным спутников SWARM	61
И.В. Мингалев, З.В. Суворова, В.С. Мингалев	Модель расчета лучевых траекторий коротких радиоволн с учетом анизотропии ионосферной плазмы и отклоняющего поглощения	61
И.В. Мингалев, З.В. Суворова, А.М. Мёрзлый, В.В. Тихонов, В.В. Никишов, В.С. Мингалев, О.В. Мингалев	Прикладная модель расчета распространения коротких радиоволн	61
И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, А.Н. Ляхов, А.М. Мерзлый, В.В. Тихонов, В.В. Трекин, В.С. Мингалев, М.В. Клименко, В.В. Клименко	Возможность создания самосогласованной совместной модели магнитосферы и ионосферы	62
Д.Б. Рождественский, В.А. Телегин, В.И. Рождественская	Выделение высокочастотных составляющих вариаций критической частоты методами спектрального анализа	62
Н.Ю. Романова, В.А. Панченко, В.А. Телегин	Корреляция между направлением дрейфа и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в ионосфере над Москвой	62
Н.Ю. Романова	Наблюдение мелкомасштабных неоднородностей 8 сентября 2017 г. в период геомагнитного возмущения	63
В.А. Телегин	Два новых аспекта применения КВ-радиолокации в Арктике	63
В.А. Телегин, В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, В.И. Рождественская, Е.В. Осипенкова	Анализ ионограмм внешнего зондирования ИК-19 в области аврорального овала для условий равноденствия	63
В.А. Телегин, В.А. Гарбацевич, И.И. Иванов, А.А. Каптюг	Учет особенностей диаграмм направленности для ретроспективного анализа и соответствующей интерпретации ионограмм внешнего зондирования	64
В.А. Телегин, А.Т. Карпачев, Н.А. Дятко, С.О. Галкин	Исследование явления F-рассеяния по данным спутника ИК-19 в период равноденствия	64
В.А. Ульев, Д.Д. Рогов, А.В. Франк-Каменецкий	Аномальное изменение поглощения ППШ в период дневной фазы эффекта день-ночь вариации	64
В.Л. Халипов, И.Б. Иевенко, В.В. Безруких, А.Е. Степанов	Измерения красной дуги и плазмосферы во время развития поляризационного джета 10 января 1997г.	65

## SESSION 6. LOW ATMOSPHERE, OZONE

K.S. Golubenko, I.A. Mironova	The contribution of bremsstrahlung effect to the ionization of the polar atmosphere during the relativistic electron precipitation	66
B.V. Kozelov, V.I. Demin	Microclimatic variations of air temperature in the Spitsbergen archipelago	66
Y.Y. Kulikov, A.F. Andriyanov, V.I. Demin, A.S. Kirillov, B.V. Kozelov, S.I. Osipov, A.V. Poberovsky, V.G. Ryskin, V.A. Shishaev	Simultaneous monitoring of middle atmosphere ozone at Apatity and Peterhof in the winter 2017/2018	66
P. Stoeva and A. Stoev	Influence of the solar activity on cave air temperature regimes	67
R. Werner, B. Petkov, D. Valev, A. Atanassov, V. Guineva, A. Kirillov	Determination of the total ozone column with consideration of the cloud optical depth	67
Ю.В. Балабин	Типы профилей возрастных гамма-фона при осадках и их связь с атмосферными явлениями	68
Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко, Л.И. Щур	Возрастания гамма-фона при осадках: характеристики событий и их статистические особенности	68
Ю. Балабин, А. Луковникова, А. Торопов, А. Германенко, Б. Гвоздевский	Еще раз о сезонных вариациях мягкого гамма-излучения в нижней атмосфере	69
Ю.В. Балабин, А.А. Торопов	Суточная вариация мягкого гамма-излучения в нижней атмосфере	69
В.И. Демин, Е.А. Заров	Микроклиматические вариации температуры воздуха в условиях слабовсхолмленного рельефа	70
В.И. Демин, Б.В. Козелов, А.П. Собакин	О роли тепловой энергии в формировании острова тепла в г. Апатиты	70
И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, В.С. Мингалев	Применение математической модели для исследования влияния рельефа Земли на глобальную циркуляцию ее средней атмосферы	70
И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, В.С. Мингалев, Е.А. Федотова	Газодинамическая модель общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли с высоким пространственным разрешением	71
Е.А. Федотова, К.Г. Орлов, И.В. Мингалев	Параметризации оптических параметров в дальнем и среднем ИК диапазонах в нижней и средней атмосфере Земли	71

## SESSION 7. HELIOBIOSPHERE

E.A. Kasatkina, O.I. Shumilov, M. Timonen, A.G. Kanatjev	Footprints of volcanic activity in polar tree rings	72
P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva, E.Y. Zhurina	The advanced vascular plant reactions on the large-scale Earth directed Solar CMEs	72
O.I. Shumilov, M. Krapiec, E.A. Kasatkina, J. Chochorowski, A.G. Kanatjev	Dendrochronological dating of Russian Pomor stations at South Spitsbergen	73
N.V. Yagova, E.N. Fedorov	Biological effects of natural geomagnetic disturbances. A review of possible physical mechanisms	73
В.Ф. Григорьев, А.П. Яковлев	Количественная оценка двигательной активности серых тюленей при воздействии на них низкочастотных электромагнитных полей	74
Author index		75

## **Supersubstorms appearance and the solar wind conditions**

I.V. Despirak<sup>1</sup>, A.A. Lubchich<sup>1</sup>, N.G. Kleimenova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Schmidt Institute of the Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

It is carried out the comparative analysis of the space weather conditions for supersubstorms (SSS) appearance. For this purpose, the data of SuperMAG global magnetometers network and the data of IMAGE magnetometers network were used. SSS events, the so-called supersubstorms, are particularly intense substorms (SML < - 2500 nT; AL < - 2500 nT). The solar wind and IMF parameters were taken from the OMNI database and the catalog of large-scale solar wind types (<ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/>). Total 131 SSS events were registered for 1998-2016 years at SuperMAG network and 26 SSS events at IMAGE network. It is shown that the SSS substorms were observed mainly during the magnetic cloud (MC) of the solar wind (in 42% of cases) and during plasma compression region before MC or EJECTA (SHEATH) (in 45.2% of cases). Sometimes SSS events were registered during EJECTA (in 8.3% of cases) and during plasma compression region before high-speed streams CIR (in 2.5% of cases). Thus, it is seen that the SSS events were associated only with interplanetary displays of the coronal mass ejections (Sheaths, magnetic clouds and EJECTA) and almost did not observed during high speed streams from coronal holes (FAST). Perhaps, this is happened due to the fact that SSS can occur during super ( $Dst < -250$  nT) and intense ( $-100$  nT  $> Dst > -250$  nT) magnetic storms. On the other hand, it is well known that these storms are usually caused by southward interplanetary magnetic field component  $B_s$  during MCs or Sheaths. However, sometimes SSS events were registered during intervals with  $Dst > -50$  nT (in 13.4% of cases). But there are mainly events during storm onset (10.8%) and recovery phase (1.2%) and only two SSS events were registered during non-storm conditions (1.2%).

Moreover, the considered SSS events demonstrated two types of the spatial-temporal dynamics: (a) similar to the "expanded" substorms (in 39.3% of cases), that is, the spatial-temporal propagation of the distributions from auroral to high geomagnetic latitudes and (b) similar to "classical" substorms (without high-latitude expansion) (in 60.7% of cases).

We believe that the most likely space weather conditions for the SSS appearance are associated with enhanced values of the solar wind speed and dynamic pressure, as well as the magnitude of the Interplanetary Magnetic Field (IMF) under the southward direction of the IMF.

## **On the substorm development under different solar wind conditions**

N.P. Dmitrieva<sup>1</sup>, M.A. Shukhtina<sup>1</sup>, A.G. Yahnin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg*

<sup>2</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity*

Longitudinal extent of the substorm current wedge calculated on the basis of data of mid-latitude ground-based magnetometers was compared for the substorm events developing under strong southward component (negative  $B_z$ ) of the interplanetary magnetic field and for the events under high-speed solar wind conditions. Those events were selected for which the intensity of loading during the preliminary phase (additional magnetic flux in the magnetotail) was approximately the same. It is shown that the current wedge longitude dimension is much larger and the maximum latitude of its polar shift is smaller in the case of strong negative  $B_z$ . Earlier it was shown that strong negative  $B_z$  during the substorm preliminary phase leads to the significant longitudinal expansion of the magnetic field stretching region in the magnetotail. We conclude that morphology differences of the substorms are not related to their energy characteristics, but to the magnetic field configuration of the nightside magnetosphere.

## **Correlation relations between parameters of the Solar wind of different types and geomagnetic activity indices for the period 1995-2016**

L.A. Dremukhina<sup>1</sup>, Yu.I. Yermolaev<sup>2</sup>, I.G. Lodkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Moscow, Troitsk, Russia*

<sup>2</sup>*Space Research Institute, Moscow, Russia*

We investigate correlation relations between planetary indices of geomagnetic activity and coupling-functions for four types of the solar wind (SW): interplanetary manifestation of coronal mass ejection (ICME), including magnetic cloud (MC) and Ejecta, compression region before ICME (Sheath), and compression region before high-speed stream of the SW (corotating interaction region CIR). For the analysis, we use data from the catalog of identified types of the SW, presented at the web-site <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/>, for the period 1995-2016 covering full 23rd and most of the 24th solar activity cycles. During the period under study, 744 CIR events, 118 MC, 501 Sheath and 843 Ejecta were identified. For all events ten coupling-functions (FC) were calculated on the basis of 1-hour parameters of the SW and IMF from the OMNI data set (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>), which contains also the values of the Dst, Kp and Ap. The analysis showed that the results do not depend on the interval of used data and have practically the same values for the 23rd and 24th cycles of the solar activity. Correlation coefficients obtained as a result of the analysis vary from 0.3 to 0.82, depending on indices. The highest values were obtained for the Ap index, while the lowest values corresponded to the Dst index. Coefficients of linear regression between the indices and the FC were used to quantify the efficiency of impact of each FC on the magnetosphere. The analysis reveals that relationships between efficiencies for different types of the SW vary depending on used FC.

## **Analysis of methods for estimating equivalent ionospheric current from meridian magnetometer chain data**

M.A. Evdokimova, A.A. Petrukovich

*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

This work presents the investigation of methods for estimating equivalent ionospheric current using magnetic field observations along a meridian chain of ground-based magnetometers. This problem is interesting because the data of the magnetic field are given in the finite, rather small number of points. An overview of existing linear models was given in the prior articles (A.L. Kotikov *et al.*, 1987 and V.A. Popov *et al.*, 2001). First of them describes current as a number of infinitely thin and long current wires evenly disturbed. In the second model current is presented as a number of evenly disturbed current stripes. Large number of model parameters provides best result for large number of stations. In case of small number of stations these models give large errors. The best approach is to use nonlinear model with small number uncorrelated parameters. The model of one current stripe with three parameters (current and boundaries) was suggested. The analysis is carried out for several substorms.

## **High-latitude daytime magnetic bays in the September 2017 strong magnetic storm**

L.I. Gromova<sup>1</sup>, N.G. Kleimenova<sup>2</sup>, S.V. Gromov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation, Moscow, Troitsk, Russia*

<sup>2</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia*

The magnetic storm on 7-8 September 2017 was one of the greatest storm in the declining phase of the 24-th solar activity cycle. We present a study of magnetic bays occurred in the dayside sector of the polar geomagnetic latitudes on 7 and 8 September under different IMF and the solar wind conditions basing on the data collected from the Scandinavian IMAGE magnetometer chain. Typically, high-latitude daytime magnetic bay-like disturbances are observed under the positive Bz component of IMF. However, during the initial phase of the storm of 7-8 September 2017, the dayside polar magnetic bay was recorded at the high latitude IMAGE observatories at 09-11 UT (12-14

MLT), when the IMF Bz component slightly varied around zero. The appearance of this bay was preceded by a long interval when the IMF Bz was negative and rather stable during 1.5 hours; that caused the night substorm activity enhancement at the YKC, MEA stations (~200 nT). At the same time, the high-latitude IMAGE stations showed a sequence of irregular short-term alternating bay-like disturbances. Around 09 UT, the IMF Bz changed from negative to positive values modifying between -5 nT and +2 nT. In this time (near local noon), at the high-latitude IMAGE stations NAL, LYR, HOR there was the negative polar magnetic bay occurred with the amplitude of ~400 nT simultaneously with strong (up to -800 nT) night side substorms at BRW, CMO. The ground-based observed magnetic data, the equivalent ionospheric current distribution modeled by of European Cluster Assimilation Technology (ECLAT), and the AMPERE data upward and downward currents demonstrated the poleward shift of the closed magnetosphere boundary under decreasing of the solar wind dynamic pressure (Psw) from 9 to 2 nPa. At the first storm recovery phase (8 September, 08-11 UT), the steady positive IMF Bz (~ 5 nT) led to development of a typical dayside magnetic bay at the high latitude which was observed at the IMAGE chain (11-14 MLT). Contrary to the previously considered dayside polar bay on 7 September, during the 8 September bay there were no night side magnetic disturbances ( $AL < -100$  nT).

### **Simultaneous observations of a substorm by THEMIS and by MAIN camera system in Apatity**

V. Guineva<sup>1</sup>, I.V. Despirak<sup>2</sup>, A.A. Lubchich<sup>2</sup>, R. Werner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Space Research and Technology Institute BAS, Stara Zagora Department, Bulgaria*

<sup>2</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

In this work we studied the development of a substorm during the geomagnetic storm on 23 December 2014 by data of THEMIS D (THD) satellite, ground based magnetic field measurements and auroras observations by the Multiscale Aurora Imaging Network (MAIN) in Apatity. Solar wind and interplanetary magnetic field parameters were taken from the OMNI data base. THD was located at  $X/\sim 7R_E$  from 18:30 to 19:30 UT in the time interval 23-24 December 2014 and the projection of its orbit crossed Kola peninsula in this time. A substorm was observed over Apatity from 19:19:50 UT on 24 December 2014. A comparative analysis between ground based and satellite data was carried out. High energy electrons (1-10 keV) injections and reduction of the less energetic electrons flux (~100 eV) were observed during the substorm. Particles density reduction was found at the time about the auroras intensifications. Plasma fast flows were identified during the consecutive auroras intensifications.

### **A review of dayside diffuse aurora and throat aurora**

Desheng Han

*School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai, China*

Svalbard Island located in north of Europe is one of a few points where can make longtime optical auroral observation at the cusp latitude on the dayside during the boreal winter season on Earth. Chinese Yellow River Station (YRS) is situated at Ny-Alesund in Svalbard. Since November 2003, an optical observation system consisting of three identical all-sky imagers supplied with the narrow band filters centered at 427.8 nm, 557.5 nm and 630.0 nm, has been continuously operated at YRS up to now. Based on these observations, we have obtained new results on two aspects. One is about dayside diffuse aurora and another is about a newly defined auroral form, called 'throat aurora'. These new results have shed new light on many topics, such as how the cold plasmas in the dayside outer magnetosphere are distributed, generated, and interacting with the magnetopause, and how the transient processes generated in the magnetosheath can affect the solar wind-magnetosphere coupling. We thus proposed some new suggestions on these topics, although all of these suggestions need to be confirmed in the future study. In this annual seminar for physics of aurora phenomena, we would like to review our recent studies in detail and wish to explore the potential collaborations with attendees from different fields and different groups.

The relevant publications are as follows:

Han, D.-S., et al. (2017), Coordinated observations of two types of diffuse auroras near magnetic local noon by Magnetospheric Multiscale mission and ground all-sky camera, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL074447.



## ***Geomagnetic storms and substorms***

- Han, D.-S., H. Hietala, X.-C. Chen, Y. Nishimura, L. R. Lyons, J.-J. Liu, H.-Q. Hu, and H.-G. Yang (2017), Observational properties of dayside throat aurora and implications for the possible generation mechanisms, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, doi:10.1002/2016JA023394. (Cover image paper for Issue 2, 2017).
- Xiangcai Chen, De-Sheng Han, Dag, A. Lorentzen, Kjellmar Oksavik, Joran, Idar Moen, Lisa, Jane Baddeley (2017), Dynamic Properties of Throat Aurora Revealed by Simultaneous Ground and Satellite Observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, DOI:10.1002/2016JA023033.
- Han, D.S., Y. Nishimura, L. R. Lyons, H. Q. Hu, and H. G. Yang (2016), Throat aurora: The ionospheric signature of magnetosheath particles penetrating into the magnetosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1819-1827, doi:10.1002/2016gl068181.
- Han, D.S., X. Chen, J. Liu, Q. Qiu, K. Keika, Z. Hu, J. Liu, H. Hu, and H. Yang (2015), An extensive survey of dayside diffuse aurora based on optical observations at Yellow River Station, *J. Geophys. Res.*, 120, 7447-7465, doi:10.1002/2015JA021699. (Cover image paper for Issue 9, 2015).

## **Testing of technique of medium-term forecast for magnetic storms in the solar maximum conditions**

T.G. Kogai<sup>1</sup>, O.V. Khabarova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Space Research Institute, Moscow, Russia*

The technique of medium-term (1-3 days) forecast of magnetic storms developed by *Khabarova* [2003] has been approved for magnetic storms during solar maximum conditions (2011-2015) with using Wind satellite data. The technique is based on the previous finding that magnetic storms are preceded by two peculiar variations in the solar wind density  $n$  typically persisting for a few days before storm commencement (both are here examined). One is a smooth density growth. This becomes an alert of magnetic storm when characterized by the time derivative  $dn/dt$  greater than  $0.005 \text{ cm}^{-3}\text{min}^{-1}$ . The other is an increase in the density oscillations with periods in the range 1-100 min. When the total wavelet power of such oscillations exceeds  $250 \text{ cm}^{-6}\text{min}$ , this signifies that magnetic storm will occur with high probability in the following few days. We show that the forecast technique employing variations in the solar wind density, as described above, is applicable for magnetic storms occurring under both negative and positive  $B_z$  IMF. The role of other solar wind disturbances is discussed.

## **Interpretation of auroral arc fading before substorm onset in terms of Alfvén resonance scenario**

T.A. Kornilova, I.V. Golovchanskaya

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

ULF oscillations of brightness of preonset auroral arc with amplitude growing in time is the principal feature allowing for the interpretation in terms of Alfvén resonance scenario. Here we demonstrate that in addition to other characteristics of preonset auroral arc this scenario enables to explain its fading before onset. Namely, it appears that the last half-period of the oscillations just before  $T_0$  tends to be that of brightness minimum. In the schematics of oscillating field-aligned currents associated with Alfvén resonance, this half-period corresponds to predominantly downward field-aligned current, ineffective in producing optical emissions.

## **High-speed plasma flows and dipolarization in the magnetosphere during substorm**

T.V. Kozelova, B.V. Kozelov

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We analyzed the magnetospheric disturbances in the midnight sector during the substorm on November 14, 2014, starting at 18:05 UT. The data used were observed by the THEMIS-D and THEMIS-E satellites located in the (~23:30-00:00 MLT) sector of the magnetosphere at 10-11 Re, as well as recording of Pi2 pulsations at Lovozero station and

ground magnetic data near the conjugated to the satellite ionospheric points. The beginning of the substorm was associated with the bursty bulk flow (BBF) at a speed greater than 500 km/s, lasting about 5 minutes, recorded by two THEMIS satellites (D and E).

To study the evolution of the near-Earth current sheet disturbances the contribution of current perturbations in connection with substorms and to examine evaluate the role of currents related to BBF, it is necessary to study independently the properties of the dynamics of the magnetic field and the perturbation of the flow.

Large-scale dipolarization of the magnetic field at longitudes of satellites lasted 40 minutes and consisted of several small-scale activations/dipolarizations, of which three initial dipolarizations were observed with the onsets at 18:04:30 UT, 18:07:30 and 18:09 UT during the increasing of the growth phase of BBF. The dynamics of these dipolarizations was analyzed in more detail using the construction of differential current perturbation vectors on the equatorial plane of the magnetosphere.

Two types of small-scale dipolarizations were identified.

The first type of dipolarization is associated with the beginning of fast plasma flows enhancement toward the Earth. This type represents the first short increase in Z-component of the magnetic field ( $B_z$ ), followed by the thinning of the current sheet (decrease of  $B_z$ ) and the oscillation of the magnetic field. In the considered substorm, the period of these oscillations was 60 s.

The second type of dipolarization is associated with reconfiguration of the near-Earth part of the tail currents from the state of a thin layer with oscillating magnetic field in 40 s to a more dipole configuration. The increase of  $B_z$  is more noticeable on the satellite located closer to the Earth. This transformation extends from the Earth to the tail and in the azimuth direction. This dipolarization type is observed in places where the plasma flows slowed by encountering an area with large values of the magnetic field and pressure. It is in this region that ballooning instabilities and other types of current instabilities are usually observed, with which the beginning of the explosive phase of the substorm is often associated.

Analysis of the substorm on November 14, 2014 shows that the perturbations leading to a substorm take place in the perturbed current sheet at  $\sim 10 R_e$  and can be stimulated by an increase in  $B_z$  associated with the BBF.

## **Impulsive disturbances of the geomagnetic field as a cause of induced currents in electric power lines**

V.A. Pilipenko<sup>1,2</sup>, V.B. Belakhovsky<sup>2</sup>, Ya.A. Sakharov<sup>3</sup>, V.N. Selivanov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Geophysical Center, Moscow*

<sup>2</sup>*Institute of the Physics of the Earth, Moscow*

<sup>3</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity*

<sup>4</sup>*Kola Scientific Center RAS, Apatity*

Influence of impulsive magnetosphere disturbances such as SC/SI impulses, TCV events, and impulses embedded into substorms, and irregular Pi3 pulsations on geomagnetically induced currents (GIC) has been considered. GIC were registered in electric power lines of Kola Peninsula and Karelia by the system of Polar Geophysical Institute and Kola Scientific Center. Geomagnetic field variability was examined using data from the IMAGE magnetometer array. Contrary to classic point of view it is found for some events that noticeable GIC can better correlate with geomagnetic field variations  $B$  than with its derivative  $dB/dt$ . A relative contribution into GIC variations by temporal variations of the geomagnetic field and by spatial variations of the vortex-like ionosphere current structures has been examined.

## **Spectrometric observations of 630.0 nm emission equatorwards auroral oval during undisturbed days in Lovozero**

V.C. Roldugin, A.V. Roldugin

*Polar Geophysical institute, Apatity, Russia*

Spectral observations in Lovozero observatory reveal the cases of 630.0 nm emission enhancement in dusk during quiet magnetic conditions and lack of 1NGN2+ or hydrogen emissions. The intensity of the red line reduces for one – two hours to usual value after start of the observation. The DMSP satellites show strong intensification of electron

## ***Geomagnetic storms and substorms***

flux under the electron energy decrease from 100 to 30 eV electron energy; the last value is limit of energy measurements. The influence of the sunlight in F-region on the emission intensity is discussed.

## **Nighttime auroral transient event occurred on April 23, 2017 over Kola Peninsula**

V.C. Roldugin, V.G. Vorobjev, A.V. Roldugin, O.I. Yagodkina, S.M. Cherniakov

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Murmansk Region, Russia*

On April 23, 2017 a strange aurora has been observed over Kola Peninsula according to all-sky camera observations in Lovozero: it appears as faint glow in the south horizon at 20:57 UT, becomes bright arc at 21:00, spreads out over sky with big intensity, and vanishes to 21:05 UT. It looks as a brief auroral substorm by 5-6 minutes duration. For this event satellite data, ground magnetic records and observations of the radar of partial reflections in the observatory Tumanny are studied. We connect this “substorm” with 10 minutes change of sign of Bz component of interplanetary magnetic field, visible in the ACE and other satellites data, which entailed some peculiarity of the bow-shock regions near the magnetosphere. Though of significant auroral intensity the value of magnetic disturbance in H-component was equal only 30 nT in Lovozero. The radar observations disclosed sizeable decrease of the signal amplitude at 85 – 110 km that testifies to high energy of precipitating electrons.

## **Magnetotail magnetic flux evolution during the substorm growth phase**

M.A. Shukhtina, E.I. Gordeev, V.A. Sergeev

*Institute of Physics, Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

The loading-unloading substorm scheme, proposed several decades ago, mainly focused on the middle magnetotail region (tailward – 15 R<sub>E</sub>), where magnetic flux accumulates and the near-earth neutral line (NENL) appears. On the other hand it is well known that the maximum Bz depression in the tail during the growth phase is observed at X~ -10 R<sub>E</sub>. The latter effect has not been quantitatively explained in the existing 2-D models. Recently *Hsieh and Otto* (2014) based on regional 3-D MHD modeling suggested that this effect results from enhanced convection in the near tail, starting just after dayside reconnection. *Gordeev et al.* (2017) confirmed this suggestion based on self-consistent global MHD simulations. In particular, they found that the depletion of closed magnetic flux between X=-7 and X=-20 R<sub>E</sub> (magnetic flux depletion, MFD) is ~30% of the flux accumulation in the lobes (MFA) during the growth phase. The results of MHD simulations should be tested on real observations.

In our study we used simultaneous Cluster and Geotail observations in the near and middle tail together with solar wind measurements. These observations allowed us to calculate simultaneously the magnetic flux values through two tail cross-sections. The knowledge of these quantities gives the opportunity to estimate the MFA and MFD values. The MFD value indeed turned out to be an essential part of MFA, confirming the results of MHD simulations.

Hsieh, M.-S., and A. Otto (2014), The influence of magnetic flux depletion on the magnetotail and auroral morphology during the substorm growth phase, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 3430–3443, doi:10.1002/2013JA019459.

Gordeev, E., V. Sergeev, V. Merkin, and M. Kuznetsova (2017), On the origin of plasma sheet reconfiguration during the substorm growth phase, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL074539.

## **Development of the "Aurora-Arctica" information system with use of the GEOSMIS cartographic web platform**

I. Uvarov<sup>1</sup>, O. Nikiforov<sup>1</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>, T. Podladchikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Space Research institute of RAS*

<sup>2</sup>*Skolkovo institute of Science and Technology*

A number of Earth remote sensing information systems have been developed in RAS IKI for more than a decade. These systems are aimed at solution of scientific and applied problems and provide users with access to various types of data, particularly, satellite imagery, and data analysis tools. The experience in creating this kind of systems enabled

the development of the unified GEOSMIS technology, designed to handle extra large distributed multidimensional archives of satellite data and derived data products.

This report presents the "Aurora-Arctica" information system developed in RAS IKI. It is designed for analysis of the Earth ionosphere status, visualization of satellite, meteorological data and forecasts of aurora occurrence, with use of the common cartographic basis.

The "IKI-Monitoring" center for collective use provides access for the users of the "Aurora-Arctica" system to the multi-year satellite observations data archive obtained using various remote sensing instruments (MODIS, AVHRR and others), having total data volume over 1 PB. Earth ionosphere observation data obtained by the DMSP series satellites are available in framework of the system among with solar wind data from NOAA and NCEP meteorological data. Forecast of the auroral oval boundaries is being continuously made using the *Starkov and Petrukovich* models. The functional capabilities of the GEOSMIS technology include: interactive selection of all kinds of data based on a number of criteria (temporal, spatial and quantitative), imagery visualization with extra capabilities of RGB synthesis selection and brightness correction fine tuning, image classification, maintenance of users' custom spatial objects databases.

### **Solar wind plasma control of isolated substorm intensity**

V.G. Vorobjev<sup>1</sup>, O.I. Yagodkina<sup>1</sup>, E.E. Antonova<sup>2,3</sup>, V.L. Zverev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Murmansk Region, Russia*

<sup>2</sup>*Skobelstyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia*

<sup>3</sup>*Space Research Institute, RAS, Russia*

Analysis of 163 isolated substorms showed that their intensity, quantified as the maximum absolute value of AL index, increases with the velocity ( $V$ ) and density ( $N$ ) of the solar wind plasma, and hence with the dynamic pressure ( $P$ ). The solar wind dynamic pressure is closely connected with magnetosphere energy loading, defined as the average values of the electric field of the Kan-Lee ( $E_{KL}$ ), and Newell parameter ( $d\Phi/dt$ ) for 1 h before the substorm onset. The growth of dynamic pressure values is accompanied by the increasing of solar wind driving required for the generation of substorms. This relationship between  $P$  and the values of the  $E_{KL}$  and  $d\Phi/dt$  is not observed in the others, arbitrarily selected periods. It is expected that as a result of the processes, which accompanied by the solar wind dynamic pressure increase, in the magnetosphere would be form a steady state conditions that increasingly impede the generation of substorms. Thus, the larger  $P$ , the more power of the solar wind should be loaded in the Earth's magnetosphere during growth phase to substorm generation. Subsequently, this energy will be unloaded during the substorm expansive phases creating increasingly intense magnetic bays.

### **Non-triggered substorms and long-period ULF waves in the magnetosphere**

N.V. Yagova, N.S. Nosikova, E.N. Fedorov

*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS)*

Substorms and similar transients developing without evident external trigger in the interplanetary space are analyzed. "Non-triggered" substorms are classified in accordance with space weather conditions into two groups. The substorms of the first group are actually caused by a trigger in the interplanetary space, caused by a jump in parameters of fluctuations of IMF and solar wind dynamic pressure. The other group can be notated as really non-triggered substorms, as the develop from intra-magnetospheric processes. Specific pre-substorm ULF geomagnetic variations in 1-4 mHz (Pc5/Pi3), frequency range, substorm precursors, are analyzed for both types of substorms and non-substorm days.

## **Суббуревая активность и ориентация фронта ударной волны межпланетного магнитного облака**

Н.А. Бархатов<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>2</sup>, С.Е. Ревунов<sup>1</sup>, О.И. Ягодкина<sup>2</sup>, Ю.А. Главацкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, г. Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

Прямые измерения межпланетного магнитного поля (ММП) на космических аппаратах (КА) показали, что магнитные облака (МО) солнечного ветра отличаются наличием областей с сильным регулярным ММП и резкими фронтами [2]. По этой причине они являются наиболее геомагнитоэффективными корональными выбросами массы. Статистические исследования показали, что тело магнитного облака характеризуется спиральным вращением усиленного ММП и во многих случаях предваряется ударной волной на переднем фронте облака. В этом случае между ударной волной и ведущим краем магнитного облака регистрируется турбулентная оболочка. Ударная волна возникает практически одновременно с корональным выбросом, но вследствие высокой скорости она на расстояниях порядка 1 а.е. заметно отрывается от собственно МО. Ударная волна при взаимодействии с магнитосферой Земли вызывает внезапное начало магнитной бури. Поскольку оболочка облака характеризуется резким и значительным изменением компонент межпланетного магнитного поля, то она ответственна за начальную фазу магнитной бури и последовательность суббуревых процессов [1].

Представляется важным исследовать зависимость суббуревой активности от уровня турбулентных движений в оболочке облака. Известно, турбулентные явления в оболочке во многом определяются ориентацией плоскости ударной волны по отношению к ММП поглощаемому ударной волной при ее распространении в солнечном ветре. В связи с этим существуют термины квазипараллельной и квазиперпендикулярной ударной волны, напрямую связанные с уровнем турбулентности в оболочке, следующей за ударной волной. Предлагаемый нами оригинальный метод поиска в солнечном ветре ударных волн в потоке данных с КА и установления ориентации их ударных плоскостей [3] позволяет сделать вывод о степени возмущенности оболочки. Эти результаты использованы для поиска зависимости суббуревой активности от ориентации фронтов ударных волн магнитных облаков солнечного ветра. Показано, что в случаях квазипараллельных ударных волн интенсивность суббуревых процессов нарастает.

1. Wu C. C., Lepping R.P. Effects of magnetic clouds on the occurrence of geomagnetic storms: The first 4 years of Wind // J. Geophys. Res. V. 107. № A10. P. 1314-1321. doi:10.1029/2001JA000161. 2002.
2. E.K.J. Kilpua, Y. Li, J.G. Luhmann, L.K. Jian, C.T. Russell. On the relationship between magnetic cloud field polarity and geoeffectiveness // Ann. Geophys. V. 30. P. 1037-1050. doi:10.5194/angeo-30-1037-2012. 2012
3. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е. Нейросетевая классификация разрывов параметров космической плазмы. Научное издание: Солнечно-земная физика. Выпуск 14(127). С. 42-51. 2010.

## **Стационарные конфигурации тонкого токового слоя с учетом замагниченных электронов**

О.В. Мингалев<sup>1</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, М.Н. Мельник<sup>1</sup>, П.В. Сецко<sup>1</sup>, Л.М. Зеленый<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, e-mail: mingalev\_o@pgia.ru*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, г. Москва*

<sup>3</sup>*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

Разработана численная модель на основе новой версии системы уравнений стационарного тонкого токового слоя (ТТС) с постоянной нормальной компонентой магнитного поля с учетом электронов и электростатических эффектов. Получен ряд конфигураций ТТС в симметричной постановке. В модели ионы описываются уравнением Власова, которое решается численно, а для описания электронов применяется аналитический подход. Для численного решения уравнения Власова впервые применен новый разработанный нами метод, который работает напрямую с функциями распределения и сочетает достоинства как метода частиц, так и сеточных методов, но свободен от их недостатков. Новый метод удобен для построения эффективных параллельных алгоритмов с выполнением основной части вычислений на графических процессорах, и позволяет создавать численные модели крупномасштабных процессов в бесстолкновительной космической плазме, заведомо недоступные для моделирования методом частиц. Для

аппроксимации функций распределения используется фиксированная регулярная сетка в координатном пространстве и подвижная регулярная сетка в пространстве скоростей с фиксированным размером и шагом, с центром в локальной гидродинамической скорости, и с возможностью ориентации ее осей по магнитному полю. Этот прием позволяет отслеживать носитель функции распределения в пространстве скоростей при помощи сетки минимального размера. По сравнению с методом частиц новый метод дает намного более точную аппроксимацию функции распределения и граничных условий.

На основе нового метода были созданы два варианта программы: в первом расчеты выполнялись на 8 нитях 4-ядерного процессора Intel i7 с практически 100% распараллеливанием при помощи системы OpenMP, а во втором варианте основной объем вычислений – расчет траекторий, выполнялся на графическом процессоре (GPU) Titan 1080. Второй вариант программы продемонстрировал примерно в 20 раз более высокое быстродействие. Результаты расчетов по сравнению с ранее выполненными расчетами на основе метода частиц подтвердили существенно лучшие свойства нового метода. В частности, он оказался априорно свободен от ряда модельных эффектов, присущих методу частиц. Также равновесная конфигурация в новом методе достигается всего за несколько итераций, в пределах 10, в то время как в расчетах по методу частиц требовалось несколько десятков итераций. Таким образом, использование нового метода позволяет на хорошем персональном компьютере с одним или двумя современными графическими процессорами (GPU) Titan 1080 моделировать задачи, для которых в случае использования метода частиц требовался бы достаточно мощный кластерный суперкомпьютер.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-01-00100.

## **Геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния ионосферы в арктической области «Аврора - Арктика»**

О.В. Никифоров<sup>1</sup>, А.А. Петрукович<sup>1</sup>, И.А. Уваров<sup>1</sup>

*ИКИ РАН, г. Москва*

Целью проекта по разработки ГИС "Аврора-Арктика" является обеспечение исследований в области изучения ионосферы, в первую очередь в арктической зоне, а также для разработки и внедрения методов распознавания, классификации, кластеризации и их интеграции с ГИС и базами данных.

Назначение ГИС:

- прототип базовой ГИС ИКИ РАН;
- решение прикладных задач;
- универсальный стенд для тестирования моделей ионосферы;
- сопровождение научных исследований;
- использование в образовательной деятельности, а также для популяризации науки.

В настоящее время ГИС «Аврора-Арктика» содержит следующие функциональные возможности: картографическая основа, выбор проекции, создание легенды, а также поддержаны ряд функций: преобразование геомагнитной системы координат в географическую и обратно, отображение данных в UTC и SET, MLT, солнечная освещенность, подбор, визуализация и экспорт данных по дате, времени, часовому поясу и измеряемым параметрам, добавление точечных объектов (групп), цветовая коррекция, работа с координатами.

В дальнейшем ГИС «Аврора-Арктика» будет развиваться в направлении увеличения доступных тематических баз данных, в т.ч. поступающих в режиме реального времени, инкорпорирования моделей прогноза состояния ионосферы, расширения спектра сервисов для конечного пользователя, а также дополнение ГИС «Аврора-Арктика» универсальными решениями географических информационных систем, которые позволят удобно и функционально пользователю решать весь спектр исследовательских задач.

## **Два типа отклика магнитосферы в геомагнитных пульсациях Psc на взаимодействие с межпланетными ударными волнами**

В.А. Пархомов<sup>1</sup>, Н.Л. Бородкова<sup>2</sup>, А.Г. Яхнин<sup>3</sup>, С.Ю. Хомутов<sup>4</sup>, Б. Цэгмэд<sup>5</sup>, А.Ю. Пашинин<sup>6</sup>, Т. Раита<sup>7</sup>

<sup>1</sup>*Байкальский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: pekines-41@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

<sup>3</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

<sup>4</sup>*Геофизическая обсерватория Паратунка, Институт космофизики и распространения радиоволн ДВО РАН, п. Паратунка, Камчатский край*

<sup>5</sup>*Институт астрономии и геофизики АН Монголии, г. Улан-Батор, Монголия*

<sup>6</sup>*Институт солнечно-земной физики, СО РАН, г. Иркутск*

<sup>7</sup>*Геофизическая обсерватория Соданкюля, г. Соданкюля, Финляндия*

Представлены результаты изучения геомагнитных пульсаций типа Psc 1-5, генерируемых при взаимодействии с магнитосферой межпланетных ударных волн (МУВ). Рассмотрено 30 событий наблюдений МУВ на спутнике Спектр Р за период 2011 – 2017 г. Для анализа использованы также наблюдения на спутниках Wind, THEMIS, RBSP-A, RBSP-B. Обнаружено два типа геомагнитных откликов. В 20 случаях события внезапного начала бури (SSC), которые являются индикатором взаимодействия МУВ с магнитосферой, сопровождались классическими геомагнитными пульсациями Psc 1-5 (0.5 – 600 секунд). В 10 событиях, которые были инициированы МУВ, распространяющимися со скоростями  $V_{sh} > 500$  км/с, на фронте SSC наблюдался короткий (3–20 с) всплеск (цуг) геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2–7 Гц, который можно рассматривать как предвестник внезапного начала бури. Детально исследован отклик на три последовательных МУВ: 21.06.2015 (SSC 16.44 UT,  $V_{sh} = 327$  км/с), 22.06.2015 (SSC 05.44 UT,  $V_{sh} = 440$  км/с) и 22.06.2015 (SSC 18.33 UT,  $V_{sh} = 712$  км/с). Два первых SSC сопровождались пульсациями Psc 1-5. В третьем событии зарегистрирован всплеск пульсаций в частотном диапазоне 0.2 – 6.7 Гц, который наблюдался глобально на сети обсерваторий и одновременно в различных секторах местного времени и на разных широтах. Высказано предположение, что различия в отклике геомагнитных пульсаций связано с различиями в процессах взаимодействия солнечного ветра и магнитосферы при различных скоростях МУВ.

## **Геомагнитные наблюдения в обс. Ловозеро**

Я.А. Сахаров. В.И. Косолапенко

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты - г. Мурманск*

Представлен состав регистрирующей аппаратуры для магнитометрических наблюдений в обс. Ловозеро. Приведены примеры использования данных МВС при исследовании различных магнитосферных возмущений.

## **Estimation of energy from solar wind to the magnetosphere according to the results of global MHD simulation**

A.Y. Boldar, E.I. Gordeev, S.V. Apatenkov, V.A. Sergeev

*Institute of Physics, University of St-Petersburg, St-Petersburg, Russia*

This paper proposes and investigates the technique, which is based on the results of MHD simulation and allows to determine the position of the 3-D magnetopause and different types of energy coming through it. Developed and investigated in the previous work by *Gordeev et al.* (2017) it determines the magnetopause based on a sudden change in the magnitude of the impulse across the magnetopause. Using the results of the global MHD LFM model, the energy flux entering the magnetosphere through the magnetopause for different distances along the X axis of the magnetosphere was calculated for the northward and southward IMF directions. The results obtained for the flow of electromagnetic energy qualitatively resemble the results of *Palmroth et al.*, (2003) who used the fluopause as an approximation of magnetopause. The new method makes it possible to more accurately estimate the kinetic and thermal energy fluxes in addition to the electromagnetic one. In the results, we note that inward fluxes of thermal and kinetic energies under the northward IMF dominate over the flux of electromagnetic energy, and under the southward IMF, the thermal energy flux remains comparable to the enhanced electromagnetic energy flux. We also investigate the behaviour of each type of penetrating energy depending on the positions on the surface of magnetopause along the axis of the tail.

## **Dynamics of the proton aurora and SAR arc as a result of eastward propagation of Pc1 wave excitation region along the plasmopause. Case study**

I.B. Ievenko, S.G. Parnikov, D.G. Baishev

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

The stable auroral red (SAR) arcs are the consequence of interaction of the plasmopause with energetic ions of the ring current. The geomagnetic pulsations Pc1 are registered on the Earth as a consequence of generation of electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves in the equatorial plane of the magnetosphere. The EMIC instability causes scattering of ring current protons into the loss cone. Precipitation of energetic protons and their charge exchange at the heights of the ionosphere E layer can be observed as a proton aurora in the H-beta line of atomic hydrogen. In this work the dynamics of the SAR arc, proton aurora and Pc1 waves in the MLT evening sector at the Yakutsk meridian (130°E; 200°E, geom., MLT midnight is 1550 UT) using the all-sky imager (ASI) and induction magnetometer during the growth and expansion of intense substorms on December 31, 2015 is analyzed.

After the enhanced magnetospheric convection due to the southward IMF Bz turning ASI observes an equatorward motion of the diffuse aurora (DA) boundary in the 557.7 and 630.0 nm emissions and H-beta (486.1 nm) band from the northern horizon of observation station. The weak SAR arc is registered equatorward of DA since the beginning of observations. During the expansion phase with the onset at ~ 1212 UT and epicenter in the midnight MLT sector the SAR arc center is located at the geomagnetic latitude of 58°N at the zenith of the station. The band in the H-beta emission is registered at the latitudes of 59-61°N. In 10 minutes after the start of substorm expansion ASI registers the SAR arc intensity growth from the western horizon toward the east with an angular velocity of ~ 4 deg/ min. As a result, along the arc a few intensity maxima are formed. At the same time, the narrow arc in the H-beta emission with similar dynamics appears poleward of the SAR arc at a distance of ~ 0.6°.

The induction magnetometer detects a sharp increase of Pc1 pulsation amplitude at frequencies of 0.5–0.7 Hz during the arrival of end of the arc in the H-beta emission to the zenith of observation station. The Pc1 pulsations and the dynamic proton arc are registered within ~ 30 minutes. The SAR arc is registered by ASI until about 1400 UT. We connect the observed phenomena in the SAR arc and proton aurora with the eastward propagation of the excitation region of EMIC waves along the plasmopause in the evening MLT sector.

The research is partial supported by RFBR grants No 15-05-02372 a and No 15-45-05090 r\_vostok\_a.



## **Virtual magnetograms – new tool for the study of solar wind-magnetosphere coupling**

O.V. Kozyreva<sup>1</sup>, V.A. Pilipenko<sup>2</sup>, and A.A. Soloviev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Physics of the Earth, Moscow*

<sup>2</sup>*Geophysical Center, Moscow*

Magnetic disturbances on the ground, being the images of processes of solar-wind/magnetosphere interaction, can be monitored by comparing time-series of magnetic records on the ground with the space weather parameters. However, a serious drawback of the analysis of ground-based magnetograms is the inevitable variation of the magnetic response due to continual changes of the station location. An ideal, but impossible, solution of this difficulty, that will help to discriminate temporal and spatial variations, would be the deployment of a “stationary” in situ observatory with a fixed position in the solar-magnetospheric coordinate system. However, the desired result can be obtained with the proposed technique of “virtual magnetograms” (VM). This technique has been implemented for key magnetospheric domains (midnight auroral and dayside cusp regions) as an additional tool for monitoring the response of the geomagnetic field to solar wind and IMF forcing. VM for a fixed reference system is reconstructed by 2D fitting and interpolation of 1-min magnetograms from world-wide distributed magnetic stations. The VMs have been produced for the period since 1996 up to nowadays. A wide range of space physics studies, such as substorm physics, solar wind-ionosphere interaction, dayside-nightside coupling, etc. will benefit from the introduction of the VMs. The database of calculated VMs for the dayside cusp and midnight auroral regions, as well as simultaneous interplanetary parameters (solar wind electric field) and geomagnetic indices (AE-index), are available via the specially designed site for all interested researchers for testing and validation.

## **On some possibilities of the regular balloon monitoring of cosmic rays in Apatity and Dolgoprudny for studying the magnetospheric effects in cosmic ray intensity**

M.B. Krainev<sup>1</sup>, G.A. Bazilevskaya<sup>1</sup>, B.B. Gvozdevsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russia; e-mail: mkrainev46@mail.ru*

<sup>2</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The experiment on the regular balloon monitoring (RBM) of cosmic rays in the Earth’s atmosphere is carried out since 1957 in several locations, now three times a week at Apatity, Dolgoprudny (Moscow region), and Mirny (Antarctica). The standard results include the mean count rates of the Geiger counter detectors and pressure for each minute of the flight.

During the last decades (since 1996 at Dolgoprudny and since 2005 at Apatity), beside the standard results, the so called detailed information (DI, the form of each recorded pulse) is registered for each flight. In the talk the possibility of using RBM DI for studying the magnetospheric effects (the short time variability of the galactic cosmic ray intensity due to the waves in the magnetosphere; the fine structure of the relativistic electron precipitations etc.) is discussed.

We acknowledge help from the Russian Foundation for Basic Research (grants 16-02-00100, 17-02-00584, 18-02-00582).

## **Analytical model of the Jovian magnetodisc: The choice of the current density azimuthal component dependence on distance from the planet**

A.S. Lavrukhin<sup>1,2</sup>, I.I. Alexeev<sup>2</sup>, E.S. Belenkaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of MSU, Moscow, Russia*

The Jovian magnetosphere contains a large-scale structure in the form of a thin current disk located close to the dipole magnetic equator. This structure is related to the plasma torus Io and to beams of energetic particles. Inside the radial distance  $\sim 20 R_J$  plasma co-rotates with the planet as a rigid structure. Behind this radial distance, which is usually called the Alfvén radius, the plasma begins to lag behind the Jovian rotation, which leads to bending of the magnetic field lines. At a radial distance of 50-60  $R_J$ , the current sheet becomes non-rigid and begins to react sensitively to changes in the conditions of the solar wind.

We have developed and compared analytical models of the magnetodisc with different spatial dimensions and various dependencies of the azimuthal current density component on the distance. Simple models of an infinitely thin current disk, azimuthally symmetric with respect to the axis of the magnetic dipole, are considered in this work. The magnetodisk is located in the magnetic equatorial plane and depends on four parameters - distances to the inner and outer edges of the magnetodisc and two parameters that determine the radial profile of the current density in the disk. We consider linear and quadratic dependences  $j \sim 1/r$ ,  $j \sim 1/r^2$  and also their linear combination:  $j \sim a \cdot 1/r + b \cdot 1/r^2$ , where  $a$  and  $b$  are coefficients giving the total current in the disk. The current proportional to  $j \sim 1/r$  is related to the interchanging instability; and in the case  $j \sim 1/r^2$  the magnetic field flux of the disk  $B_{MDr} \cdot 2\pi r^2$  in the northern and southern hemispheres is conserved, which corresponds to the free expansion of the plasma. We assumed that only the azimuthal current  $j_{MD\phi}$  exists in the magnetodisc. This greatly facilitates the development of an analytical model, since in this case the vector potential of the magnetic field of the magnetic disk  $A_{MD}$  has only one non-zero component -  $A_{MD\phi}$ .

### **Modeling of the charged particles precipitation region from Earth's radiation belts using the Störmer's theory**

A.S. Lavrukhin<sup>1</sup>, I.V. Tyutin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*JSC Scientific Research Institute for Long-Distance Radiocommunication, Moscow, Russia*

Charged particles precipitation regions from Earth's radiation belts are modeled using the Störmer's theory. Precipitations occur as a result of different dynamic magnetospheric processes, which are intensified during geomagnetic storms. Generally, particles are lost from radiation belts due to the scattering of particles in collisions and scattering by magnetic inhomogeneities and plasma waves of different origin. These effects lead to a violation of the adiabatic invariants of particles conservation and to the precipitation of particles into the atmosphere along the magnetic field lines. Störmer's theory of charged particles motion is used for determination of the charged particles precipitation region dynamics by determining the boundaries of the allowed and forbidden regions of particles motion of given energy. The boundaries of the precipitation regions and their change in time during the geomagnetic storm development are determined.

### **The determination of the location of geoelectric inhomogeneities in the earth's crust by using dual-frequency radioholographic method**

V.A. Lubchich, A.E. Sidorenko

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The radioholographic method is the promising tool for solving problems of ore geophysics. Holographic reconstruction of geoelectric inhomogeneities in the earth's crust allows to effectively localize in space anomalous regions with high electrical conductivity, associated with local ore bodies, by using areal surface observations of the electromagnetic field. However, the analysis of previous results demonstrated the possibility of "false" anomalies in the holographic reconstruction of the distribution of inhomogeneities. It was suggested to conduct observations at several frequencies as one of the ways of rejection of such "false" anomalies. So in 2017 extended field works were conducted at the site Loipishnjun in the Monchegorsk ore region by using the dual-frequency radioholographic method. Results of field experimental studies have shown that the dual-frequency modification of radioholographic method greatly improves the reliability of the holographic reconstruction of distribution of inhomogeneities in the earth's crust. The comparison of results of the holographic reconstruction at different frequencies allows one to reject "false" anomalies, and to identify anomalous zones, which can be associated with ore bodies.

The study is executed at financial support of RFBR and the government of the Murmansk region (project No. 17-45-510956).

## **Two-dimensional self-similar plasma equilibria**

A.S. Lukin<sup>1,2</sup>, I.Y. Vasko<sup>1,3</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,4</sup>, E.V. Yushkov<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Faculty of Physics, National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Space Sciences Laboratory, University of California at Berkeley, Berkeley, USA*

<sup>4</sup>*Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, USA*

<sup>5</sup>*Department of Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

We develop fluid models of two-dimensional axially-symmetric force-free equilibria and discuss similar slab equilibria. The group theory approach is used to find the symmetry groups and reduce the Grad-Shafranov equation with exponential and power law nonlinearities to ordinary differential equations for the self-similar solutions that we analyze analytically and numerically. Force-free equilibria of the developed class have magnetotail-type configuration with magnetic field lines stretched in the radial direction and represent nonlinear force-free equilibria, because  $\text{rot } \mathbf{B} = \alpha(r)\mathbf{B}$  with  $\alpha(r) \neq \text{const}$ . Making use of the same symmetry groups we generalize the developed force-free equilibria by including a finite plasma pressure gradient and compare different equilibria of the developed class. These models can be useful for describing structure and stability of current sheets observed in planetary magnetotails and formed in the solar atmosphere.

## **Detailed regression model of plasma sheet $B_y$**

A.A. Petrukovich<sup>1</sup>, A.S. Lukin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute, RAS, Profsovnaya st., 84/32, GSP-7, 117997 Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*National Research University "Higher School of Economics", Staraya Basmannaya, 21/4, 105066, Moscow, Russia*

In a statistical model plasma sheet  $B_y$  primarily depends on IMF  $B_y^i$  and geodipole tilt  $\tau$ . With 11 years of Geotail measurements we investigate a role of several other parameters with a linear regression model. Optimal averaging window of IMF input, maximizing correlation and regression coefficients, is found to be 2.25 hours. Influence of IMF  $B_z^i$  and local  $B_y$  on IMF penetration (regression w.r.t.  $B_y^i$ ), as well as the deviations from the predefined warp deformation are at the level 5-10% relative to the primary model coefficients. The IMF penetration beyond 25  $R_E$  is somewhat larger for northward IMF, while closer to the Earth it becomes somewhat larger for southward IMF. These smaller effects turned out to be rather uneven across the tail, making reliable quantification and physical interpretation not always possible. The major reasons of difficulties are uneven coverage and internal correlations in the input space ( $B_y^i - \tau B_z^i$ ) due to combination of spacecraft orbit and neutral sheet dynamics, effects of coordinate transformations, etc. In particular origins of extremely large IMF  $B_y^i$  penetration (order of 30-50% above the average one) for some years and tail locations remains not fully clear. A larger multispacecraft dataset covering all seasons in all spatial zones is necessary to further advance in this study.

## **Does local B-minimum appear in the tail current sheet during substorm growth phase?**

V.A. Sergeev<sup>1</sup>, E.I. Gordeev<sup>1</sup>, V.G. Merkin<sup>2</sup>, M.I. Sitnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, Maryland USA*

Magnetic configurations with  $\text{dB}_z/\text{dr} > 0$  in the midtail current sheet are potentially unstable to different instabilities considered for the explosive substorm onset. Their existence is hard to confirm from observations of magnetospheric spacecraft. Here we use remote sensing from low-altitude spacecraft which controls the loss-cone filling rate during electron-rich solar particle event, thereby providing an information about magnetic properties of tail current sheet. We demonstrate a latitudinally-localized anisotropic 30 keV electron loss-cone region embedded inside an extended region of isotropic solar electron precipitation. It was persistently observed for more than 0.5 hour during isolated

growth phase event by six POES spacecraft, which crossed the premidnight auroral oval. The embedded anisotropic region was observed  $\sim 1^\circ$  poleward of the outer radiation belt boundary over 4-5 hours wide MLT sector, suggesting a persistent ridge-type  $B_z^2/j$  maximum in the equatorial plasma sheet at distances 15-20Re. We discuss infrequent observation of such events taking into account recent results of global MHD simulations.

### **Sub-ion magnetic holes in the dipolarized magnetotail: Satellite observations and theoretical models**

P.I. Shustov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>, E.V. Yushkov<sup>1,2</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Physical Department, Lomonosov MSU, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*University of California Los Angeles, Earth, Planetary, and Space Sciences, Los Angeles, USA*

We consider a sub-ion scale magnetic holes observed by THEMIS in the near-Earth depolarized magnetotail and conduct statistics on this holes. Using this statistic, we have demonstrated that series of magnetic holes usually occur behind the dipolarization front (rapid increase of the GSM  $B_z$  field) around the equatorial plane (GSM  $|B_x| < B_z$ ). Holes are characterized by intense electron currents flowing along hole boundaries and carried by hot electrons. These electron population has transverse (relative to the background magnetic field) temperature much larger than the field-aligned temperature. We proposed scenario describing a formation of this hot anisotropic electron population. The scenario consists of models of electron anisotropic heating at the dipolarization front and generation of electron currents due to diamagnetic and curvature drifts of anisotropic particles. Main conclusions of the proposed models are in good agreement with the THEMIS observations.

### **Dependence of relativistic electron precipitation on geomagnetic activity**

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

*Polar Geophysical Institute, Apatity, e-mail: tyahnina@gmail.com*

The data from NOAA POES measurements of  $\sim 1$  MeV electrons are used to compare characteristics of relativistic electron precipitation (REP) for two half-year intervals in 2005 and 2009. It is shown that number of REP events is for one and half order larger in 2005 (declining phase of the solar cycle) than in 2009 (minimum of the solar activity). Also, the intensity of the REP events is higher in 2005. The probability to observe REP increases with geomagnetic activity for both intervals. During both intervals three groups of REP events are observed as described in recent papers by Yahnin *et al.* (2016, 2017). The different groups of REP events have different morphology and relate, probably, to different mechanisms of the pitch-angle scattering. As suggested by Yahnin *et al.* (2016, 2017), the first group of REP relates to scattering on the magnetotail current sheet, the second one can relate to scattering on the whistler mode hiss waves, and the third one can relate to scattering on EMIC waves. Percentage of the events of the three groups is, respectively, 26%, 59%, and 15% for 2005, and it is 7%, 74%, and 19% for 2009. This means that relative contribution of different mechanisms to the production of the precipitation from the radiation belt varies depending on the solar cycle epoch and corresponding geomagnetic activity.

Yahnin, A.G., T.A. Yahnina, N.V. Semenova, B.B. Gvozdevsky, and A.B. Pashin (2016), Relativistic electron precipitation as seen by NOAA POES, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 8286–8299, doi:10.1002/2016JA022765.

Yahnin, A.G., T.A. Yahnina, T. Raita, and J. Manninen (2017), Ground pulsation magnetometer observations conjugated with relativistic electron precipitation, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 9169–9182, doi:10.1002/2017JA024249.

## **Current sheet thinning in near and distant magnetotail by Cluster and THEMIS statistics**

E.V. Yushkov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov University, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*University of California, Los Angeles, USA*

We compare thinning and stretching process for horizontal current sheets in near ( $X \sim -10 R_E$ ) and distant ( $X \sim -20 R_E$ ) magnetotail, using data collected by Cluster and THEMIS spacecraft missions. We study relations between current and plasma densities, lobe and  $B_z$  magnetic fields. We discuss the differences (and similarities) in electron anisotropization for small and large  $B_z$  and  $B_y$ , and then suggest some possible mechanisms of anisotropy formation and its evolution along the tail. We discuss plasma pressure gradients and cross-tail current profiles during thinning. We show that the most thinning ends (onsets) can be associated with tailward plasma flows and compare these endings near and far from the Earth.

The investigation is supported by RFBR grant № 16-32-00011.

## **Каппа распределения и особенности магнитосферной динамики**

Е.Е. Антонова<sup>1,2</sup>, М.В. Степанова<sup>3</sup>, И.П. Кирпичев<sup>2</sup>, И.Л. Овчинников<sup>1</sup>, В.В. Вовченко<sup>2</sup>, М.С. Пулинец<sup>1</sup>, С.С. Знаткова<sup>1</sup>, Н.В. Сотников<sup>4</sup>, С.К. Мить<sup>1</sup>, П.С. Казарян<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобелыцына МГУ имени М.В. Ломоносова*

<sup>2</sup>*Институт Космических Исследований РАН*

<sup>3</sup>*University of Santiago de Chile*

<sup>4</sup>*Физический факультет МГУ*

Функции распределения электронов и ионов в магнитосфере Земли во многих случаях могут быть описаны каппа-распределениями. Такие распределения имеют максвелловские ядра и степенные хвосты. Каппа распределения формируются в ходе релаксации неравновесных функций распределения к максвелловскому распределению в условиях бесстолкновительной магнитосферной плазмы. Приведены примеры, демонстрирующие возможность аппроксимации наблюдаемых функций распределения каппа-распределениями в магнитоспокойных условиях и бикаппа распределениями при смешивании плазменных популяций из двух источников. Рассмотрены изменения параметров каппа распределений вдоль траекторий полета спутников миссии THEMIS. Показано, что аппроксимации каппа-распределениями являются эффективным методом исследования процессов ускорения и нагрева частиц в магнитосфере Земли.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-05-00362.

## **Структуры «косых» альвеновских волн в неоднородном двумерном магнитосферном резонаторе**

М.А. Волков

*Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия,*

*e-mail: volkovma@mstu.edu.ru*

В работе исследованы собственные колебания двумерного, неоднородного магнитосферного резонатора. Решение получено для случая однородного магнитного поля Земли. Магнитные силовые линии считаются прямыми и соединяют ионосферы южного и северного полушарий. Магнитные силовые линии погружены в холодную плазму, т.е. тепловые скорости электронов меньше фазовой скорости волны. Неоднородность магнитосферной плазмы задается как поперек, так и вдоль магнитных силовых линий. Поперек магнитных силовых линий неоднородность задается параболической функцией, вдоль магнитных силовых линий в форме ступеньки в концентрации электронов в северном и южном полушариях. Ступенька в концентрации находится на расстоянии трех радиусов Земли от ионосферы. Ионосфера рассматривается как тонкий слой с холловской и педерсеновской проводимостями. Обсуждается связь этих структур с авроральными явлениями.

## **Возрастания потоков релятивистских электронов 1-3 сентября 2016 года в авроральных областях по данным прибора ДЭПРОН**

И.А. Золотарев, В.В. Бенгин, О.Ю. Нечаев, М.И. Панасюк, В.Л. Петров, И.В. Яшин, А.М. Амелюшкин

*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, e-mail: zolotarev@sinp.msu.ru*

Нами проведен отбор возрастных потоков заряженных частиц и мощности дозы в области внешнего радиационного пояса в период с 1 до 3 сентября 2016 года. 01.09 радиационные условия спокойные. Величина максимума радиационного пояса, находится на значении  $L=4$  менее 0,001 Гр/ч. Не наблюдается малых по длительности особенностей, кроме одного пересечения пояса в 08:33:56 UT. Далее с 10:12 2 сентября до 16:32 3 сентября мы отмечаем 12 пересечений пояса с краткосрочными особенностями. Особенности представляют собой повышения потоков частиц и доз на интервалах времени до 20 секунд. Амплитуда возрастных превышает таковую в максимуме радиационного пояса. Такие экстремальные возрастные происходят на L-оболочках около 5. При этом 11 возрастных мы обнаружили на ночной стороне магнитосферы (MLT от 18 до 6) и только одно на утренней стороне магнитосферы.

Аналогичные краткосрочные возрастные наблюдались в данных других полярных спутников [1,2], а также в баллонных экспериментах [3]. Авторы этих работ связывают эти особенности с высыпаниями энергичных электронов в атмосферу, либо с событиями релятивистских электронов на границе внешнего радиационного пояса.

Большая часть публикуемых данных по радиационной обстановке на полярных спутниках подвергается усреднению на временные интервалы от 5 минут до 16 секунд. По этой причине кратковременные возрастные потоков частиц не подвергаются содержательному анализу. Тем не менее, мы показываем, что в данных POES с 2х секундным временным разрешением, присутствуют аналогичные особенности. Лучшие условия для наблюдения кратковременных событий энергичных электронов обусловлены большим геометрический фактором прибора ДЭПРОН по первому детектору более  $6 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$ , по сравнению с  $10^{-2} \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$  для электронного телескопа POES (при энергии 1,5 МэВ).

Нами проведен анализ геомагнитной обстановки в отношении поиска предпосылок образования потоков энергичных частиц. По геомагнитному индексу SYM/H в начале рассматриваемого периода наблюдается геомагнитное возмущение в -75 нТ. Возрастные потоков частиц происходят во второй половине временного периода, через 10 часов после минимума DST (SYM/H). Отклонения индекса SYM/H при наличии возрастных уже не столь велики, до -50 нТ.

Так как возрастные наблюдаются в авроральных зонах, критерием изменения геомагнитной обстановки был выбран AE индекс. Однако сопоставление времени обнаружения возрастных потоков не выявляет совпадения величины AE с наличием и величиной возрастных потоков частиц. Вместо этого, времена возрастных хорошо совпадают с резкими изменениями величины AE в обе стороны. Похожим образом соотносятся времена возрастных с изменениями индекса ASY/H. Также мы наблюдаем хорошее соответствие величины скорости потока и времени наблюдаемых возрастных.

1. A.V. Bogomolov, I.N. Myagkova, V.V. Kalegaev, S.I. Svertilov, V.V. Bogomolov, M.I. Panasyuk, V.L. Petrov, and I.V. Yashin. Precipitation of subrelativistic-energy electrons near the polar boundary of the earth radiation belt according to the data of measurements on the vernov and lomonosov satellites. *Cosmic Research (English translation of Kosimicheskije Issledovaniya)*, 55(6):446–456, 2017.
2. I.M. Myagkova, M.O. Riazantseva, E.E. Antonova, and B.V. Marjin. Enhancements of fluxes of precipitating energetic electrons on the boundary of the outer radiation belt of the earth and position of the auroral oval boundaries. // *Cosmic Research (English translation of Kosimicheskije Issledovaniya)*, 48(2):165–173, 2010.
3. Bazilevskaya G.A., Kalinin M.S., Kvashnin A.N., Krainev M.B., Makhmutov V.S., Svirzhetskaya A.K., Svirzhetsky N.S., Stozhkov Y.I., Balabin Y.V., Gvozdevsky B.B. Precipitation of energetic magnetospheric electrons and accompanying solar wind characteristics. // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2017. T. 57. № 2. С. 147-155.

## **Система кинетических уравнений для бесстолкновительной космической плазмы в приближении силового равновесия электронов вдоль магнитного поля**

О.В. Мингалев<sup>1</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, Л.М. Зеленый<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: mingalev\_o@pgia.ru

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, г. Москва

<sup>3</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва

Получена система кинетических уравнений, которая описывает достаточно медленные крупномасштабные процессы в бесстолкновительных магнитоплазменных структурах с пространственным разрешением порядка характерного гирорадиуса тепловых протонов и учитывает силовое равновесие электронов вдоль линий магнитного поля. В этой системе плазма считается квазинейтральной, магнитное поле определяется уравнением Ампера, продольная часть электрического поля уравнивается продольной частью дивергенции тензора давления электронов, а ортогональная часть электрического поля определяется текущими распределениями концентрации, плотности тока и тензора напряжений всех плазменных компонент в приближении мгновенного дальнего действия из систем уравнений эллиптического типа, которые не содержат производных по времени. При выводе этой системы используется условие квазинейтральности, уравнения Фарадея и уравнения Ампера, а также уравнение для полной плотности тока, которое получается суммированием вытекающих из уравнений Власова гидродинамических уравнений потока импульса для каждой компоненты плазмы.

Получен вариант системы уравнений для случая замагниченных электронов, описываемых уравнением Власова в дрейфовом приближении, когда их пространство скоростей является 2-мерным, что существенно экономит вычислительные ресурсы при численном моделировании.

Полученные системы уравнений позволяют разрабатывать как глобальную численную кинетическую модель земной магнитосферы с разрешением по пространству около 100 км, так и локальные модели отдельных областей земной магнитосферы с еще более высоким разрешением.

Для полученных систем уравнений предложен новый метод численного интегрирования, который удобен для проведения параллельных вычислений на графических процессорах, и сочетает достоинства метода крупных частиц и сеточных методов, но свободен от их недостатков. Результаты представленной работы создают теоретические и методические предпосылки для детального моделирования широкого круга актуальных задач физики бесстолкновительной магнитосферной плазмы с использованием полученной системы уравнений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-01-00100.

## **Система уравнений модели тонкого токового слоя с постоянной нормальной компонентой магнитного поля с учетом замагниченных электронов**

О.В. Мингалев<sup>1</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, М.Н. Мельник<sup>1</sup>, П.В. Сецко<sup>1</sup>, Л.М. Зеленый<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Апатиты, e-mail: mingalev\_o@pgia.ru

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, г. Москва

<sup>3</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва

Выведена новая версия системы уравнений модели стационарного пространственно 1-мерного тонкого токового слоя (ТТС) с постоянной нормальной компонентой магнитного поля, в которой по сравнению с существующими моделями ТТС более точно описываются электроны и электростатические эффекты.

В модели ионы описываются уравнением Власова, которое решается численно, а для описания электронов применяется аналитический подход. Электроны считаются замагниченными и описываются уравнением Власова в дрейфовом приближении, для которого получено точное решение – функция распределения электронов во всем ТТС. Из этого решения получена формула, дающая взаимно однозначное выражение электронной концентрации через потенциал электрического поля и магнитное поле. Подстановка этой формулы в уравнение Пуассона дает нелинейное уравнение относительно потенциала электрического поля, для которого создана методика численного решения. По этому численному решению для потенциала рассчитывается электронная концентрация в токовом слое. Также получены формулы, которые выражают продольное и поперечное давление электронов через их концентрацию и магнитное поле, и формулы,

выражающие плотность тока электронов через их концентрацию и магнитное поле. Из этих формул следует, что если электроны вне ТТС изотропны, то они будут изотропными и в ТТС, причем их температура будет постоянной, а их ток будет нулевым. Если же электроны вне ТТС анизотропны, то они будут анизотропными и в ТТС, причем их продольная температура будет постоянной, а поперечная температура будет уменьшаться от края к центру слоя. При этом ток электронов отличен от нуля, и подстановка его выражения через магнитное поле и концентрацию электронов в уравнение Ампера дает систему нелинейных дифференциальных уравнений 1-го порядка относительно самосогласованных компонент магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-01-00100.

### **Зависимость высыпаний энергичных протонов внутри анизотропной зоны от геомагнитной активности**

Н.В. Семенова<sup>1</sup>, Т.А. Яхнина<sup>1</sup>, А.Г. Яхнин<sup>1</sup>, А.Г. Демехов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Анатиты, e-mail: nadezhda.semenova@gmail.com

<sup>2</sup>Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

Построены распределения вероятности наблюдения высыпаний энергичных протонов, связанных с ионно-циклотронной (ИЦ) неустойчивостью, в зависимости от AE-индекса геомагнитной активности. Эти высыпания регистрируются низкоорбитальными спутниками в зоне, где потоки энергичных частиц анизотропны. Показано, что при росте геомагнитной активности от слабой ( $AE < 100$  нТл) до умеренной ( $100 < AE < 300$  нТл) вероятность наблюдения высыпаний в дневной области за геостационарной орбитой (где наблюдаются максимальные значения вероятности наблюдения) растет, а при высокой активности ( $AE > 300$  нТл) - уменьшается. Высказано предположение, что это является следствием двух конкурирующих факторов: 1) роста потока энергичных протонов в результате инъекций частиц во внутреннюю магнитосферу во время возмущений, и 2) уменьшения радиального градиента потока частиц, также связанного с инъекциями. Первый фактор ведет к росту инкремента ИЦ неустойчивости, а второй — к его уменьшению за счет уменьшения поперечной анизотропии в дневном секторе, которая вызвана расщеплением дрейфовых оболочек и поэтому зависит от радиального градиента потока частиц.



## **Numerical simulations of asymmetric kinetic magnetic reconnection: A case of realistic crossing**

A. Divin, V. Semenov, I. Zaitsev

*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

Several tens of reliable diffusion region crossings at the Earth's magnetopause have been reported to date by the MMS mission. For better understanding the three-dimensional structure and reconstructing the spacecraft trajectory through reconnection-generated structures it is important to utilise two- and three-dimensional high-resolution models of the process to separate out spatial and temporary variations. In this work we investigate a particular case of asymmetric magnetic reconnection using three-dimensional kinetic PIC code iPIC3D. Initial and boundary conditions mimic the event of 6 December, 2015, fully described in [Khotyaintsev, 2016], where the ion diffusion region crossing was studied. Numerical simulation allows to trace particular ions and electrons originating in the Earth's magnetosphere and m-sheath, which have considerably different properties. It is found that the magnetosheath-originated electron beam turns  $\sim 180$  degrees inside the diffusion region and gets accelerated along separatrices. Electron distribution functions are unstable to electron beam modes, producing flat-tops and intense electrostatic pulses near the X-line. Distribution functions obtained in numerical simulations show a good agreement with data.

## **Excitation of the electromagnetic waves in the atmosphere by an Alfvénic beam**

E.N. Fedorov, N.G. Mazur, V.A. Pilipenko, N.V. Yagova

*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS)*

A characteristic feature of the upper ionosphere is the occurrence of the ionospheric Alfvén resonator (IAR) and the ionospheric fast-mode waveguide (IFW), which can trap ULF electromagnetic wave energy in the Pc1 frequency range from fractions of a Hz to a few Hz. This wave trapping ensures the strong dependence of the ionospheric transmission/reflective properties on frequency. We have developed a numerical model of the magnetospheric Alfvén wave interaction with the ionosphere and transmission to the ground based on the solution of multi-fluid magnetohydrodynamic full-wave equations in a realistic ionosphere, whose parameters were reconstructed from the International Reference Ionosphere (IRI) model. The spatial structure of an incident Alfvén wave is modeled as a localized beam with a finite latitudinal scale and azimuthally propagating wave with wave vector  $k_2$ . The IAR and IFW modes are coupled owing to the frequency-dependent Hall conductivity of the ionosphere and geomagnetic field line inclination. The ground spatial and spectral structures of the Pc1 wave have been calculated for the local summer day/night conditions at a middle latitude observatory. The model predicts several new features which may interpret some observational results. Beneath the incident beam the ground magnetic response "duplicates" the incident beam structure after accounting for a  $\pi/2$  rotation and some latitudinal shift. The upper part of the ULF spectrum ( $f > 1$  Hz) is severely attenuated upon wave transmission through the daytime ionosphere. At nighttime the transmission of Alfvén waves has an oscillatory dependence on frequency, thus forming "transmission windows" at resonant frequencies. The spectra are different at various distances from an incidence point: close to the source the frequency of the fundamental IAR eigenmode is highlighted, but at larger distances the spectral peaks with  $f > 1$  Hz associated with the IFW modes emerge. A complicated interference pattern between IFW modes is revealed in the spatially-dependent and frequency-dependent character of amplitude variations, especially at higher frequencies.

## **Complicated Pc1 emissions in the late recovery phase of the last strong magnetic storm in September 2017**

F.Z. Feygin, N.G. Kleimenova, L.M. Malysheva, Yu.G. Khabazin

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

It is well known that Pc1 pulsations are typical storm recovery phase phenomena lasting several hours which are observed under preference for quiet geomagnetic conditions. However, during the long recovery phase of the last strong magnetic storm on 7-8 September 2017 ( $Dst \sim 150$  nT,  $K_p = 8$ ), there was only one complicated Pc1 event. It was observed on 11 September at  $\sim 00.30-05.30$  UT at the end of the rather strong ( $\sim 600$  nT) substorm which occurred after long (more 30 hours) very quiet magnetic period with  $K_p = 0$ . The Pc1 emissions were recorded at Scandinavian

meridian region spanning at least  $3.4 <L>6.2$  (from NUR to KIL) demonstrating the very similar dynamic spectrum at all 5 stations with the amplitude maximum at the lowest latitude station (NUR). At that time, the geomagnetic conditions were moderately disturbed: Kp index was 3+, AE ~500 nT, the ionosphere above this meridian demonstrated blackout (probably, due to polar cap absorption – PCA). The dynamic spectrum of this Pc1 event looked like a superposition of two different emissions. One of them somewhat resembled “classical” Pc1 pulsations, lasted about 4 hours at slightly increasing central frequency (from ~1.4 to ~ 1.7 Hz), but with unusually large bandwidth about 0.6 Hz. Such Pc1 emissions usually are generated in vicinity of the plasmopause. At this time, according to the empirical models, the plasmopause was located at  $L\sim 4.2$ . However, the maximal Pc1 intensity was observed at lower latitudes – at NUR ( $L\sim 3.4$ ). We may suppose that it was result of the influence of the wave propagation in the ionospheric Alfvén resonator (IAR) at the latitudes where the pulsation frequency matches the IAR specific frequency. The second Pc1 emission event started about one hour later on (at ~ 01.30 UT) with a very sharp onset at higher center frequencies rapidly decreasing from ~3 Hz to ~ 1 Hz as a series of separated wave packets with a large bandwidth of ~0.8 Hz. These Pc1 decreasing frequency emissions occurred simultaneously with the rapid decrease of the solar wind dynamic pressure (Psw) from 6 nPa to 2 nPa (unfortunately, in the previous time, there was a gap in the OMNI IMF and solar wind data) providing the plasmopause expanding to the higher L shells. Since the Pc1 frequency is strongly controlled by the magnetic field strength at the source area, the wave frequency decrease could be interpreted as a Pc1 source (or an anisotropic resonant protons location) shift to the higher L shells. The substorm, observed prior to considered Pc1 event, provided the injection of additional charged particles from the tail being then trapped. The strong impulsive geomagnetic disturbances stopped the Pc1 emission generation near 06 UT. A theoretical interpretation of considered Pc1 event and possible scenario are discussed.

### **First results of exit point location estimation at high latitudes using probability density of Poynting vector and the circular polarization index at the ground**

A.S. Nikitenko, O.M. Lebed, Yu.V. Fedorenko

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, e-mail: alex.nikitenko91@gmail.com*

Ground-based measurements of natural VLF emissions show that amplitude independent parameters like the azimuthal angle of Poynting vector or the circular polarization index experience random variations in time. These parameters are characterised by probability density functions. The spatial distribution of the intensity of VLF emissions propagating to the ground is known as an exit point. The configuration of the exit point and the mutual location of the exit point and a registration site is reflected in the probability density functions of the parameters. We propose a method for localization of the exit point by ground-based measurements of the vertical electric component and the horizontal magnetic components. The method is based on an analysis of measured probability density functions of the parameters. In this work, we present the results of estimation of the exit point position by ground-based measurements of VLF emissions. The measurements were carried out in PGI observatories Lovozero and Verhnetulomskiy. The estimation was made by comparison of measured wavefield parameters and the parameters obtained by modeling of propagation to the ground of spatially confined random whistler plane waves (exit point) placed at the altitude of 120 km. The parameters used are the azimuthal angle of Poynting vector and the circular polarization index. The exit point is. The modeling of wave propagation from 120 km to the ground is carried out by solving a wave equation in a horizontal stratified ionospheric plasma.

### **Dayside proton aurora equatorward of the proton aurora oval, EMIC waves, and plasmasphere**

T.A. Yahnina, A.G. Yahnin, T.A. Popova

*Polar Geophysical Institute, Apatity, e-mail: tyahnina@gmail.com*

The data from IMAGE spacecraft showed the existence of two kinds of proton auroras equatorward of the proton aurora oval on the dayside. The first one is so called proton aurora flashes, which appear as a response to strong enhancements of the solar wind dynamic pressure and have a life-time of several minutes. The second one is relatively weak proton auroras, which can be observed during several hours. Using the data of ground- and space-based observations of EMIC waves we demonstrate that these two aurora patterns are closely relate to the development of the ion-cyclotron instability. The corresponding EMIC waves often occur in the frequency range between the H+ and He+ bands. Comparison with observations of the cold plasma density in the magnetosphere and with the results of the

## ***Waves, wave-particle interaction***

plasmopause modeling shows that the EMIC wave source is mainly located outside the plasmasphere. We interpret the long-lived auroras as the result of pitch-angle scattering of the ring current protons by EMIC waves in the region where transverse anisotropy of the ion temperature permanently exists due to the drift shell splitting. Proton aurora flashes are the result of the additional anisotropy enhancements during magnetosphere compressions.

## **Evolution of slow-mode shocks and rotational discontinuities in kinetic simulations**

I.V. Zaitsev, A.V. Divin, V.S. Semenov

*Institute of Physics, University of St-Petersburg, St-Petersburg, Russia*

MHD models of magnetic reconnection predict standing slow mode shocks to be the main energy conversion region during the process. In one dimensional approach, magnetic reconnection problem appears to be a Riemann task described by current sheet decay into a wave train consisting of slow shock(s), rotational and contact discontinuity(ies). This approach does not consider plasma anisotropy developing in reconnection exhausts, as well as kinetic instabilities making it difficult to directly compare MHD model to spacecraft observations. The increase of parallel ion pressure (over perpendicular to the magnetic field) at the current sheet edge creates conditions favourable for anomalous shock generation which we investigate using PIC simulations with the code iPIC3D. Shock waves are found to be affected by firehose-like wave activity and an ion-scale electromagnetic mode in the foreshock region. Simulations with different guide fields and background plasma beta are systematically studied.

## **Геомагнитные пульсации и роль В.А. Троицкой в создании российской школы их исследований**

Н.Г. Клейменова

*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, e-mail: kleimen@ifz.ru*

В прошлом году исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого-геофизика Валерии Алексеевны Троицкой (1917-2010), создателя российской школы по изучению геомагнитных пульсаций как фундаментального естественного процесса магнитосферной плазмы. Исследование короткопериодных колебаний в магнитном поле Земли началось с установлением В.А. Троицкой двух колебательных режимов: непрерывного (Pc) и иррегулярного (Pi). Для изучения этих колебаний по её инициативе во время Международного Геофизического Года (1957-1959) в России было организовано 19 станций земных токов, две из которых (Борок и Ловозеро) затем превратились в базовые обсерватории, где были установлены основные фундаментальные закономерности разных типов геомагнитных пульсаций. Первые работы В.А. Троицкой были опубликованы в начале 50-х годах прошлого столетия, и ни один из полученных ею результатов не потерял актуальности в наши дни. О большом международном авторитете В.А. Троицкой свидетельствует тот факт, что её дважды избирали Президентом МАГА - крупной международной Ассоциации по Геомагнетизму и Аэронауке. Зарубежные коллеги называли её «королевой геомагнитных пульсаций». Только благодаря активным действиям и авторитету В.А. Троицкой стало возможным проведение систематических синхронных международных геомагнитных наблюдений в сопряженных точках Согра-Кергелен, а также на геомагнитных полюсах Восток-Туле. Анализ этих наблюдений позволил по-новому подойти к вопросам генерации и распространения геомагнитных пульсаций в околоземном пространстве. Экспериментально было установлено, что большая часть короткопериодных геомагнитных колебаний возбуждается в экваториальной плоскости магнитосферы и распространяется вдоль силовых линий геомагнитного поля. В то же время было найдено, волновые пакеты геомагнитных пульсаций Pc1 ( $f = 0.2-5$  Гц), поэтически названные «жемчужинами», в северном и южном полушариях регистрируются попеременно, а не одновременно, как наблюдаемые в том же диапазоне частот колебания убывающего периода (КУП), занесенные в Государственный реестр открытий СССР. В.А. Троицкой и её учениками было создано новое направление в геофизике – диагностика состояния магнитосферы на основе наземных наблюдений геомагнитных пульсаций. Таким образом, под руководством В.А. Троицкой был создан фундамент для дальнейших как экспериментальных, так и теоретических исследований, которые показали, что геомагнитные пульсации играют ключевую роль в динамике магнитосферной плазмы, что подтверждено многочисленными публикациями последних лет.

## **Широкополосные УНЧ возмущения электрического поля в прибрежной зоне Охотского моря**

Ю.А. Копытенко, В.С. Исмагилов, М.С. Петрищев, П.А. Сергушин, А.В. Петленко

*СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: office@izmiran.spb.ru*

В сентябре 2017 г. СПбФ ИЗМИРАН провел эксперимент по исследованию УНЧ электромагнитных возмущений на побережье Охотского моря (о. Сахалин). Регистрация данных выполнялась двумя геофизическими станциями GI-MTS-1, расположенными на берегу возле кромки воды и в точке удаленной на 160 м от берега.

Обнаружено, что при усилении скорости ветра происходит увеличение интенсивности широкополосных ( $F=0.001-0.1$  Гц) УНЧ возмущений электрического поля в прибрежной зоне. На удаленной от берега станции этот эффект ослаблен в 3-5 раз. Поскольку Земля имеет отрицательный электрический заряд, то над земной поверхностью в аэрозоли наблюдается ~20% превышение положительных зарядов над отрицательными. Вероятно, наблюдаемые УНЧ возмущения вызываются перемещением неоднородностей электрических зарядов в аэрозоли над электродами теллурических линий. С усилением скорости ветра концентрация морской аэрозоли возле береговой линии и, следовательно, концентрация положительных зарядов возрастает и возрастает интенсивность УНЧ возмущений.

Также обнаружено увеличение интенсивности широкополосных УНЧ возмущений электрического поля в периоды приливов. Плотность морской аэрозоли, по-видимому, сильно падает при удалении от кромки воды. Во время приливов морская вода приближается к электродам теллурических линий, установленным на берегу, и плотность аэрозоли и зарядов над электродами возрастает, и наблюдается усиление широкополосных УНЧ возмущений. На удаленной от берега станции концентрация аэрозолей мала и эффекта влияния приливов не наблюдается. В магнитном поле связь вариаций с приливами и скоростью ветра не регистрируются на обеих станциях, вероятно, вследствие недостаточной чувствительности магнитных датчиков.

## **Несколько слов о взаимодействии малых возмущений с ударной волной в вязкой среде**

А.А. Любич

*Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия*

Хорошо известно (*Lubchich and Pudovkin, 2004*), что при анализе взаимодействия малых возмущений с ударной волной в приближении идеальной среды свойства ударной волны чрезвычайно сильно идеализируются. Фактически предполагается, что поверхность ударной волны не обладает никакой инерцией и её можно произвольно, не встречая сопротивления, сместить из положения равновесия или придать ей произвольную скорость. Это предположение, обычно неявное, приводит к серьезным математическим трудностям. Например, при решении задачи методом разложения по собственным волнам колебания ударной волны рассматриваются как линейно независимые колебания. Однако, при используемой идеализации они не являются собственными колебаниями системы. Возникает неустраняемое противоречие. Оно приводит к странным особенностям в решении задач: в некотором узком диапазоне углов падения возмущения могут резко, иногда резонансно, усиливаться при прохождении через ударную волну; области гофрированной и распадной неустойчивости ударной волны не совпадают друг с другом и т.д. Эти проблемы в решениях давно известны, а пути их объяснения в рамках используемой идеализации остаются неясными. *Lubchich and Pudovkin [2004]* предположили, что с колебаниями поверхности ударной волны связаны возмущения давления, действующего на поверхность ударной волны, пропорциональные возмущению скорости ударной волны. То есть, возмущения давления являются атрибутом колебаний поверхности ударной волны. При таком подходе колебания поверхности ударной волны становятся собственными колебаниями системы, известные странности в решениях исчезают, а новые не появляются. Однако, оказалось (например, *Кудрявцев и Овсянников, 2010*), что численное решение «в лоб» вязких уравнений согласуется с идеализованными решениями для идеальной среды и противоречит скорректированным решениям, полученным *Lubchich and Pudovkin [2004]*. В работе предлагаются возможные пути устранения возникшего противоречия.

## **Питч-угловая диффузия энергичных протонов при их взаимодействии с ЭМИЦ волнами: сравнение результатов расчетов с данными спутников THEMIS и Van Allen Probes**

Т.А. Попова<sup>1</sup>, А.А. Любчик<sup>1</sup>, А.Г. Демехов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ПГИ, г. Апатиты, Россия

<sup>2</sup>ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

По данным спутников THEMIS и Van Allen Probes проанализировано несколько случаев наблюдения ЭМИЦ волн в различных частотных интервалах (а именно, протонной, гелиевой и кислородной полосах). Отметим, что во время рассматриваемых событий наблюдались высыпания энергичных протонов на низкоорбитальных спутниках POES. Используя частотный профиль интенсивности ЭМИЦ волн, данные о величине магнитосферного магнитного поля и плотности холодной плазмы, были рассчитаны коэффициенты питч-угловой диффузии энергичных протонов на разных энергиях и питч-углах. Расчеты проводились в предположении, что холодная плазма содержит электроны, протоны, однократно ионизованные ионы гелия и кислорода. Результаты расчетов сопоставлялись с измеренными питч-угловыми распределениями потоков энергичных протонов. В целом, вид измеренных питч-угловых распределений согласуется с ожидаемым на основании расчета коэффициентов питч-угловой диффузии.

## **Аномальные пульсации герцового диапазона на фазе восстановления магнитной бури в сентябре 2017 г.: динамика пульсаций в контексте изменения параметров межпланетной среды**

В.В. Сафаргалеев<sup>1</sup>, П.Е. Терещенко<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, Мурманск - Апатиты

<sup>2</sup>СПбФ ИЗМИРАН

Представлены предварительные результаты исследования структуры и динамики необычного возмущения в диапазоне геомагнитных пульсаций Pc1, наблюдаемого 10 сентября 2017 г. на поздней фазе восстановления сильной магнитной бури. Пульсации были зафиксированы индукционными магнитометрами ПГИ в обсерваториях пос. Верхнетуломский (Кольский п-ов) и на Красном озере (Ленобласть). Геомагнитная активность имела сложную структуру в виде пульсаций типа «жемчужин» (диапазон частот 1-1.5 Гц) и серий узкополосных всплесков (диапазон частот 2-3 Гц) с периодом следования, меняющимся во времени с 7 до 15 минут. Последняя форма активности является редким событием. Сопоставление динамики пульсаций Pc1 с параметрами межпланетной среды происходило с использованием данных спутников THEMIS, из которых два находились в солнечном ветре, два – в переходной области вблизи подсолнечной точки на магнитопаузе и один также вблизи подсолнечной точки, но внутри магнитосферы. Показано, что изменение несущей частоты и интенсивности мультиплетных жемчужин явилось откликом на скачек динамического давления солнечного ветра, обнаруженный по данным экваториальных магнитных станций. Серия более высокочастотных всплесков с периодом следования 7 минут может быть связана с колебаниями Vz компоненты ММП близкого периода. Всплески с периодом следования 15 минут могут быть резонансным откликом магнитосферы на пятнадцатиминутный экскурс дневной магнитопаузы по направлению к Земле. Кроме этого, технические возможности системы сбора данных позволили нам провести сравнительный анализ интенсивности пульсаций на Кольском п-ве и в Ленобласти, что при дальнейшем исследовании будет способствовать определению местоположения их источника в магнитосфере.

**Локализация источников квазипериодических ОНЧ излучений в магнитосфере по результатам одновременных наблюдений на спутниках Van Allen Probes и на Земле**

Е.Е. Титова<sup>1</sup>, А.Г. Демехов<sup>1,2</sup>, Ю. Маннинен<sup>3</sup>, А.А. Любич<sup>1</sup>, Д.Л. Пасманик<sup>2</sup>, А.В. Ларченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПГИ, г. Апатиты, Россия

<sup>2</sup>ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup>Геофизическая обсерватория Соданкюля, Финляндия

Результаты одновременных спутниковых (Van Allen Probes) и наземных наблюдений ОНЧ волн использованы для локализации источников квазипериодических (QP) излучений в магнитосфере. Наземные наблюдения ОНЧ излучений проводились на станции Каннуслахто (67.74°N, 26.27°E; L = 5.5) в северной Финляндии. Для 10 пролетов VAP-A и VAP-B в экваториальной области магнитосферы найдено взаимно однозначное соответствие между QP элементами на Земле и на спутниках. Это соответствие наблюдалось в широком диапазоне широт (~20°) и долгот (~90°) на расстояниях до 3000 км между геомагнитной проекцией спутников на Землю и станцией наблюдения Каннуслахто. Большие пространственные масштабы области наблюдения квазипериодических излучений, коррелировавших с сигналами на Земле, могут быть связаны с неканализованным распространением ОНЧ волн в магнитосфере и возможностью их многократного отражения от ионосферы или от областей, где их частота приближается к частоте нижнего гибридного резонанса.

Естественно считать, что QP излучения генерируются в результате развития циклотронной неустойчивости в магнитосфере [1,2]. Тогда область их генерации должна находиться вблизи геомагнитного экватора, ОНЧ волны должны распространяться преимущественно вдоль геомагнитного поля и зависимость инкремента свистовых волн от частоты в районе источника должна быть близка к наблюдаемому спектру QP излучений. Поэтому, используя многокомпонентные измерения на спутниках Van Allen Probes, мы определили участки траекторий спутников, на которых вектор Пойнтинга QP излучений был направлен от экватора, а углы волновых нормалей были малы. Также по данным о функции распределения энергичных электронов и концентрации холодной плазмы, измеренных спутниками Van Allen Probes, были выполнены расчеты инкремента свистовых волн для продольного распространения, которые были сопоставлены с наблюдаемыми спектрами QP излучений. В результате для нескольких пролетов были выявлены области, удовлетворяющие критериям источника QP излучений. Эти области оказались локализованы в интервале L оболочек  $L = 4 \div 5.5$ , а их характерные размеры были  $\Delta L \approx 0.1 - 0.2$ .

1. Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю. Альфвеновские мазеры. Горький: ИПФ АН СССР, 190 стр., 1986.

2. Трахтенгерц В.Ю., Райкрофт М.Дж. Свистовые и альфвеновские циклотронные мазеры в космосе. М.: Физматлит, 344 стр., 2011.

## **Results of solar cosmic rays flux observation on several spacecraft at different orbits in September 2017**

V.S. Anashin, G.A. Protopopov, N.V. Balykina, A.U. Repin, V.I. Denisova, A.V. Tsurgaev

<sup>1</sup>*Branch of JSC URSC – ISDE, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Fiodorov Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia*

To estimate remaining resource of onboard equipment, which operates under permanently unfavorable impact of space radiation (SR) and to use different radiation hardness improvement methods it is necessary to monitor constantly SR exposure to onboard electronic components, moreover the SR exposure monitoring method should be similar to effects in real electronic components. Such approach is realized in Roscosmos Monitoring System of SR exposure on electronic components. This Monitoring System is not an alternative, but an addition to existing science systems. The Monitoring System includes the scientific monitoring system (ground-based segment) and the engineering monitoring system (space-born segment). The ground-based segment includes forecasts of different space weather characteristics as well as on-board and ground measurements from third-party organizations.

The paper presents results of solar cosmic rays measurements results on several spacecraft at geostationary orbit and polar orbit (data are supplied in the Monitoring System) in September 2017. The measurements results were compared with analogous data for other solar particle events, as well as contributions of these events in total level of space radiation exposure on electronic components were estimated.

## **The study of coronal holes and related space weather phenomena in the CRAO**

A.V. Borisenko

*Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny, Russia*

The systematic study of coronal holes began in the late 1970s with the coordinated scientific program of observations of the SkyLab orbital observatory and ground-based observations in the HeI 1083nm line (Kitt Peak Observatory, USA).

In the Soviet Union began to study coronal holes in Laboratory of Sun Physics of the Crimea Astrophysical Observatory since the late 80's under the leadership of N.N. Stepanian on the HeI 1083nm spectroheliograms data of the universal spectrophotometer of the BST-2 telescope.

The analysis of the observations obtained from the data of the satellite ACE / SWEPAM showed that in the Quiet Sun coronal holes are the only sources of fast solar wind (> 450 km/s for Period 2015-2017). Thus confirmed was received earliest scientific results in study coronal holes [1].

Coronal holes are the only source of high-velocity streams of solar wind particles for the "quiet" Sun, which in disturbing the Earth's own magnetic field and affect atmospheric effects, causing auroras borealis, geomagnetic storms and may be reason global earth disasters.

A direct relationship between the change in the area of coronal holes single polarity and the speed of the solar wind for whole visible disk was obtained. With the growth of the coronal hole area, the speed of the solar wind increases and vice versa. A correlation coefficient of 0.7 is obtained.

1. Jack B. Zirker // *Rev. of Geophysics and Space Physics* 1977. Vol. 15, No. 3.P. 257.

## **Peculiarity of long-term changes in the geomagnetic cutoff rigidity of cosmic rays of inclined directions**

B.B. Gvozdevsky<sup>1</sup>, A.V. Belov<sup>2</sup>, R.T. Gushchina<sup>2</sup>, O.A. Danilova<sup>2</sup>, E.A. Eroshenko<sup>2</sup>, V.G. Yanke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, PGI, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, IZMIRAN, Moscow, Russia*

Geomagnetic cutoff rigidities of inclined directions for 25 muon telescopes of the World network are obtained by the method of trajectory calculations for the period 1950-2015 and the forecast to 2050 with an annual resolution. The International Geomagnetic Reference Field (IGRF 12) was used as a model of the geomagnetic field. The results of

calculations indicate the manifestation of two World anomalies: North Atlantic and South Atlantic. In the former zone the cutoff rigidity increases, in the latter zone it decreases, and on a global scale the cutoff rigidity decreases. Some inclined directions demonstrate an irregular dependence of the cutoff rigidity on time. These are southeast directions for detectors in the zone of North Atlantic anomaly and northwest directions for the zone of South Atlantic anomaly. Such an irregular course is most likely due to the large variability of the penumbra zone for these inclined directions.

### **On the trend in the heliospheric characteristics and galactic cosmic ray intensity in the minima of the last solar activity cycles**

M.B. Krainev, G.A. Bazilevskaya, M.S. Kalinin, N.S. Svirzhevsky, A.K. Svirzhevskaya

*Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russia, e-mail: mkrainev46@mail.ru*

The linear trends are observed in the main heliospheric characteristics (the solar wind velocity and dynamic pressure; the radial component of the regular heliospheric field; the tilt of the global heliospheric current sheet to the solar equator) in the periods of minimum of the last three sunspot cycles (SC 22-24). As a result the intensity of the galactic cosmic rays (GCR) in the last sunspot minimum (2009) reached the record high levels for all energies and became the main risk factor for the interplanetary flights.

Using the extrapolation of these trends, the observed behavior of the heliospheric and cosmic ray characteristics in the current SC 25, and the numerical model of the GCR intensity modulation we estimate the expected heliospheric factors and GCR intensity in the forthcoming sunspot minimum (~ 2019-2020).

We acknowledge help from the Russian Foundation for Basic Research (grants 16-02-00100, 17-02-00584, 18-02-00582).

### **Structure and dynamics of the solar corona observed during different phases of the solar cycle**

P. Stoeva<sup>1</sup>, A. Stoev<sup>1</sup>, S. Kusun<sup>2</sup>, B. Marzouk<sup>3</sup>, A. Pertsov<sup>2</sup>, M. Semeida<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora, Bulgaria*

<sup>2</sup>*Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*National Research Institute of Astronomy and Geophysics, 11421 Helwan, Cairo, Egypt  
e-mail: penm@abv.bg, kuzin@mail.llebedev.ru, bmarzoke@yahoo.com*

Study of the solar corona is very important from point of view of solar physic and solar-terrestrial relations. The solar corona is composed of both closed magnetic loops emerging from the photosphere and “open” magnetic field regions that form the heliosphere.

White light corona can be observed only during total solar eclipses (TSE) because its intensity is much lower than the brightness of the sky. Observations of the total solar eclipses (TSE) in 1990, 1999, 2006, 2008, 2009, 2012 and 2017, which are at different stages of the solar activity cycle, were conducted. Our expeditions and experiments were part of the Bulgarian National scientific program for observation of the specific total solar eclipse in collaboration with scientists from Russia, France and Egypt. The sites were chosen to be in the line of totality. We have made an analysis of the white light coronal structures and shape. Polar plumes, dome-shaped and “helmet” type structures are the basic coronal formations. They are evident from composited images of different number of negatives taken with a variety of exposures. Our composited images are compared with the images of the C2 coronagraph of Naval Research Laboratory’s LASCO instrument on ESA’s Solar and Heliospheric Observatory (SoHO).

The structure, shape and brightness of the solar corona significantly depend on the activity of the sun. The corona is very bright and uniform at solar activity maximum. We can observe a lot of bright coronal streamers and other active regions on it. During minimum of the solar activity the corona becomes asymmetric - it stretches at the equator. The Ludendorff flattening index (ellipticity) is the first quantitative parameter introduced for analysis of the global structure of the solar corona. It is anticorrelated with solar activity and varies between minimum and maximum. Analysis of the ellipticity coefficient and phase of the solar cycle show that white light corona during the 2006, 2008, 2009 and 2017 TSE (solar minimum) is asymmetric in contrast to solar corona observed during the 1990, 1999 and 2012 solar eclipses (solar maximum). Moreover, value of the photometric flattening index at a cycle minimum can be used to forecast the amplitude of the cycle.

These results can contribute to development of contemporary notion of the physical characteristics, shape and structure of the solar corona and its evolution with the solar activity cycle.



## **The configuration of the magnetic field in the corona above the active region in which the energy is accumulated for solar flares**

A.I. Podgorny<sup>1</sup>, I.M. Podgorny<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia, e-mail: podgorny@lebedev.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia, e-mail: podgorny@inasan.ru*

High resolution X-ray observations for flares on the limb shows on primordial release of flare energy on the height 15000 – 30000 km. The primordial flare energy release in the corona is also confirmed by ultraviolet observations in the lines of highly ionized iron, the absence of any appreciable change of the observed magnetic field on the solar surface during the flare, and other observations.

The accumulation of magnetic energy occurs in the field of a current sheet which is formed in the vicinity of an X-type singular line of the magnetic field line under the influence of disturbances propagated from the solar surface. The transition of the current sheet to an unstable state during quasi-stationary evolution causes the flare magnetic energy release.

The most popular alternative mechanism is associated with the accumulation of magnetic energy in the field of the magnetic rope, or assume a configuration with accumulated energy from the very beginning.

The electrodynamic model of a solar flare based on a current sheet is proposed, which explains the observational manifestations of the flare. To study the mechanism of the solar flare, numerical MHD simulations were carried out in the corona above the real active region. At setting initial and boundary, no assumptions were done about the mechanism of the solar flare. All conditions were taken from observations. The magnetic field measured on the solar surface was used as the boundary condition. Numerical MHD simulation showed the appearance of a current sheet in the corona above the active region. The current sheet position coincides with the location of the source of thermal X-ray radiation.

The magnetic lines form a complex configuration near the current sheet in corona due to appearance of longitudinal (directed along the singular line) magnetic field component. From behavior of 3D magnetic lines it is difficult to define the current sheet position. To study the location of the current sheet, it is best to use the magnetic field lines in the plane of the current-sheet configuration (i.e., in the plane perpendicular to the magnetic field vector in the center point of the current sheet, in which the current density reaches a maximum). These lines give a visual representation of the process of energy accumulation in a current sheet as a result of the plasma motion caused by magnetic forces directed perpendicular to these lines.

The previously performed MHD simulation in the corona could be carried out only in a strongly (in  $10^4$  times) reduced time scale, which leads to a decrease in the accuracy. At the present time, it is performed parallelizing of numerical solution of the MHD equations for the calculations on a supercomputer in the real time scale.

## **On the possibility of prognosis of solar flares and proton events from behavior of the ultraviolet emission**

I.M. Podgorny<sup>1</sup>, A.I. Podgorny<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia, e-mail: podgorny@inasan.ru*

<sup>2</sup>*Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia, e-mail: podgorny@lebedev.ru*

The behavior of the spectral lines of high-ionized iron atoms 193A FeXXIV, 94A FeXVIII, 131A FeXXIII and others during solar flares and in the pre-flare state are analyzed. The data of the USA SDO spacecraft are used. The appearance of the pre-flare structure in the solar corona above an active region is shown. The structure with a temperature of about 6MK is observed, while the numerical MHD simulation shows the current sheet formation above an active region, and the energy accumulation in its magnetic field for a flare takes place. Such structures can be used to predict the flare appearance and generation of solar cosmic rays. During the flare, the local heating of the plasma cloud occurs to the temperature of at least 20MK at the place where the pre-flare structure has been observed before the flare. Pre-flare structures occur usually a day before a flare. A rare and complex event was appeared on September 4 - 10, 2017. The event occurred during the minimum of solar activity. It was accompanied by solar cosmic ray fluxes. The flare X8.2 was occurred on September 10 above the active region that completely located on the back side of the

solar disk behind the western limb. The proton flux at the Earth could be detected only, if the proton flux of this flare is propagating along the magnetic field lines of the Archimedes spiral. The front of the flux of solar cosmic rays is registered by the GOES apparatus with the delay not exceeding the proton transit time and has a very steep increasing. The arrival of solar cosmic rays from western flares with the delay equal to the transit time and the coincidence of the measured spectrum of the fast (prompt) component of solar cosmic rays with the calculated spectrum of protons accelerated in a flare current sheet are the direct proof of the proton acceleration in a flare.

### **Kinetic-scale plasma turbulence in the Earth's magnetosheath affected by the bow shock and the magnetopause**

L.S. Rakhmanova, M.O. Riazantseva, G.N. Zastenker, M.I. Verigin

*Space Research Institute, Moscow, Russia*

Magnetosheath serves as a link between the solar wind and the Earth's magnetosphere. Processes which take place in this region are of a great importance for so-called "space weather forecasts". While large-scale processes are well described with the help of gasdynamic and magnetohydrodynamic models, high-frequency variations of plasma and magnetic field parameters are not reproduced satisfactorily by existing models. Plasma in the magnetosheath are highly turbulent. Turbulence in the magnetosheath are affected by the boundaries - the bow shock and the magnetopause - and differs from freely developing solar wind turbulence. In the current work properties of turbulent cascade are investigated statistically in several regions - close to the boundaries and in the middle magnetosheath - in order to find out the bow shock and the magnetopause effects on the turbulence. Ion flux measurements from Spektr-R spacecraft are used with 31 ms time resolution. The study focuses on the frequencies of transition from magnetohydrodynamic to kinetic scales, i.e. in the range of frequencies around proton gyrofrequency and above. Shapes of frequency spectra are considered at different locations inside the magnetosheath as well as spectral indices such as spectral slope at kinetic scales and the frequency of transition. Spectrum shape are shown to be highly influenced by the position inside the magnetosheath. Spectra with bumps at the transition scales occur usually close to the bow shock while spectra with plateau usually can be found in the vicinity of the magnetopause. Also, spectra with the most steep kinetic part are observed near the quasi-parallel bow shock.

### **Fine structure of the interplanetary shocks observed by BMSW experiment onboard the SPEKTR-R**

O.V. Sapunova, N.L. Borodkova, G.N. Zastenker, Yu.I. Yermolaev

*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences*

Interplanetary (IP) shocks are one of the main factors influencing on the space weather. The fine structure of the front of collisionless shock has been investigated for planetary shocks from magnetic field measurements whereas IP shocks are less often studied. BMSW plasma spectrometer onboard the Spektr-R satellite, launched in 2011, measures the ion moments with high-time resolution – 0.031 s and it allowed us to study ramp region of the IP shocks using ion moments, which were completed by magnetic field measurements from ACE, WIND, THEMIS and CLUSTER spacecraft.

All registered IP shocks were studied and their main characteristics were calculated:  $\beta$  (the ratio of the solar wind thermal to the magnetic pressure),  $\theta_{Bn}$  (the angle between the upstream magnetic field and shock normal direction),  $M_{ms}$  (Magnetosonic Mach number – the ratio of the IP velocity to the propagation speed of magnetosonic waves), IP shock velocity. The study shows that the ramp thickness defined from plasma measurements roughly corresponds to the ramp thickness derived from the magnetic field measurements and lies within interval from 40 to 600 km. In some cases the precursor waves were observed in the front of subcritical shocks both in plasma and magnetic measurements. It was found that their wavelengths varied from 70 to 400 km.

Research was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant 16-02-00669 A and grant 16-02-00125 A.

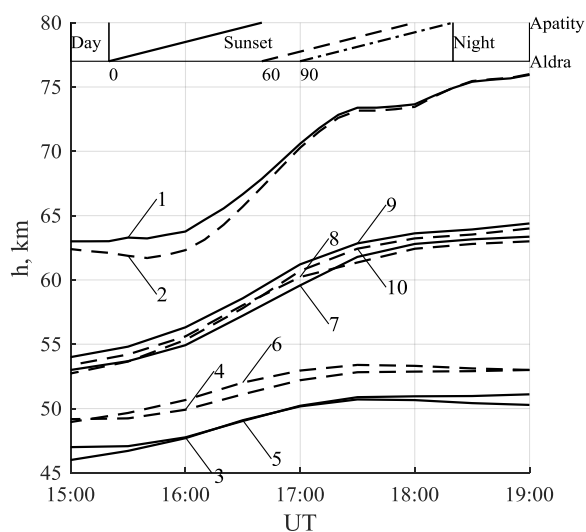
## Diurnal variations of the bottom edge of the ionosphere during the proton precipitations on and after 29 September 1989

V.A. Shishaev<sup>1</sup>, M.I. Suhovey<sup>2</sup>, G.F. Remenets<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

The purpose of the report is to quantitatively compare the daily variations of the flux of solar protons, which began on September 29, 1989, 12:00 UT [1, 2], with the daily changes of VLF signals for a completely auroral radio path Northern Norway - the Kola peninsula (Aldra - Apatity). For realization of this purpose we have used the satellite data [1], the experimental VLF data of the Polar Geophysical Institute of the Kola Science Center, RAS, Apatity, Murmansk region [3] and a self-consistent method of a VLF inverse problem solution [2]. The pointed method for an analysis of VLF daily variations was used in [4].



**Figure 1.** The sunset changes of the electric atmosphere properties before (the curves 1 and 2) and after the solar proton precipitations in terms of effective altitude  $h$  for a near-earth waveguide. The solid lines show the result for an analysis for the positive direction of time, a dotted line shows variations for negative direction of time; the numbers 1-10 indicate the dates: 1, 2 - 28 Sep.; 3, 4 - 29 Sep.; 5, 6 - 30 Sep.; 7, 8 - 1 Oct.; 9, 10 - 2 Oct. The chart above shows the timing of the sunset at the altitude of 0 km (solid line), 60 km (dashed line), 90 km (dash-and-dot line) for a point of the radio path in Aldra and Murmansk reg. Apatity.

We have established the following: 1) The presented graphs on Fig. 1 give an error estimate of the method by comparing the analysis of sunset VLF variations for the positive direction of time (solid lines) with the analysis for the negative direction of time (dashed lines).

2) With the change of proton flux density in the period from September 29 to October 2, 1989 the daily variation of the effective height  $h$  at sunset changed from 4 km on September to 10 km on October and the reflection coefficient of first ionospheric ray at a sunset was constant. In this date period a value of effective altitude changed from 46 km to 54 km at 15:00 UT, from 52 to 63 km at 19:00 UT and a value of reflection coefficient has changed from 0.8 to 0.6.

3) From October 3 to October 6, the proton flux density has not yet come to its undisturbed value but has seriously weakened. During these dates the coincidence of solutions in positive and negative direction of analysis was worse than for the previous dates. The causes for this item ought to be stated yet.

1. <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/dataaccess.html>
2. Remenets G.F., Beloglazov M.I. Dynamics of an auroral ionospheric fringe at geophysical disturbances on 29 September 1989 // Planet. Space Sci. 1992. Vol.40. P.1101-1108.
3. Beloglazov, M. I., and G. F. Remenets. Very Long Wave Propagation at High Latitudes. 1982. "Nauka", Leningrad, Russia (In Russian).
4. Remenets, G. F., and M. I. Beloglazov, An initial analysis of the dynamics of reflection properties of the low ionosphere at dawn for an auroral radio pass (according to the VLF data). Geomagn. Aeronom. 1985. V. 25. P. 69-72. (In Russian).

### **Kinetic scale current sheets in solar wind**

A.A. Vinogradov<sup>1,2</sup>, I.Y. Vasko<sup>2,3</sup>, A.V. Artemyev<sup>4</sup>, E.V. Yushkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Space Research Institute of Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Space Sciences Laboratory, University of California at Berkeley, USA*

<sup>4</sup>*Department of Earth, Planetary, and Space Sciences and Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, California, USA*

We present 50 current sheets (magnetic field discontinuities) with spatial scales below a few ion inertial lengths (crossed faster than 4 seconds) observed by the Cluster spacecraft in the solar wind. The local coordinate system of a current sheet is determined using the combination of the MVA (Minimum Variance Analysis) and the time delay (timing) methods. Using these methods we have selected locally one-dimensional current sheets and computed the propagation velocity of a current sheet in the satellite reference frame, the current densities and the current sheet spatial scale. The analysis has shown that the thinnest current sheets in the solar wind are commonly force-free, i.e. the current density is predominantly parallel to the magnetic field. We provide statistical distributions of the current density amplitude, spatial scale and characteristic plasma parameters (density, temperature, plasma beta) and argue that ions should be non-gyrotropic. The thinnest current sheets have current density amplitudes from a few tens up to 50 nA/m<sup>2</sup> that makes them important factor for particle heating in the solar wind.

### **The role and technique of accounting of penumbra at estimation of the effective geomagnetic cutoff rigidity of cosmic rays**

V.G. Yanke<sup>2</sup>, B.B. Gvozdevsky<sup>1</sup>, A.V. Belov<sup>2</sup>, R.T. Gushchina<sup>2</sup>, E.A. Eroshenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, PGI, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, IZMIRAN, Moscow, Russia*

To explain the observed effects in the long-term changes in the rigidity of geomagnetic cutoff and the behavior of the asymptotic directions of arrival of cosmic rays, the temporal changes of the penumbra have been investigated in detail. The planetary distribution of the penumbra and the variability of this distribution over the entire observational period of cosmic rays are shown. Particle trajectories are studied, especially in the region of the penumbra. For practical use the penumbra accounting method is considered. The easiest way is a simple summation of the allowed and forbidden regions which compose the penumbra region. More correctly, such summation should be carried out using, as a weight function, the expected spectrum or spectrum of variations of cosmic rays. This is true outside the atmosphere. To take into account the influence of the atmosphere, this influence is included in the weight function, which is convenient to do by involving the coupling functions for various secondary components of cosmic rays.

### **Уникальная база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде**

А.А. Абуни<sup>1</sup>, М.А. Абунина<sup>1</sup>, А.В. Белов<sup>1</sup>, С.П. Гайдаш<sup>1</sup>, Е.А. Ерошенко<sup>1</sup>, Е.А. Маурчев<sup>2</sup>, В.А. Оленева<sup>1</sup>, И.И. Прямушкина<sup>3</sup>, В.Г. Янке<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*ПГИ, г. Апатиты, Россия*

<sup>3</sup>*ГАПОУ БНК, г. Бугуруслан, Россия*

Для всестороннего изучения Форбуш-эффектов и их связи с солнечными, межпланетными и геомагнитными возмущениями сотрудниками ИЗМИРАН была создана (и непрерывно пополняется) уникальная база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде. В ней вариации плотности и анизотропии космических лучей объединены с солнечными, межпланетными и геомагнитными параметрами. Космические лучи представлены результатами глобальной съёмки по данным всей мировой сети нейтронных мониторов (GSM) для жёсткости 10 ГВ, а информация по солнечному ветру взята из базы данных OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>). База данных включает в себя большое количество различных характеристик по

~7150 Форбуш-эффектам, охватывающих более чем полувековой период наблюдений (1957–2017 гг.). В представленной работе продемонстрированы некоторые из возможностей данного инструмента.

### **Событие GLE 10 сентября 2017**

Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

В 2017 году нейтронными мониторами (НМ) было зарегистрировано новое событие (GLE) в солнечных космических лучах. Это первое подобное событие с 2012 года и всего второе в 24-м цикле солнечной активности. Событие произошло от активной области A2673 типа "Beta-Gamma-Delta", давшей серию сильных вспышек в сентябре 2017. Рентгеновская вспышка, от которой произошло событие GLE, имела класс X8.2 (координаты вспышки S08W83) началась в 15:35 UT, максимум достигнут в 16:06 UT. Амплитуда возрастания на НМ не превысила 6% по пятиминутным данным, однако, его уверенно наблюдали десятки станций мировой сети НМ. Событие GLE было проанализировано; несмотря на малую амплитуду, данные мировой сети были обработаны по специальной методике, созданной в лаборатории космических лучей ПГИ. Особенностью данного GLE является сильная анизотропия на начальной фазе события: ширина потока солнечных космических лучей вначале составляла 30-40 градусов. Это хорошо видно уже из сравнения профилей возрастания на разных станциях.

Были получены дифференциальные спектры солнечных космических лучей в разные моменты события. Спектры имеют переменный наклон со средним показателем, близким к  $\gamma \approx -4$ , что соответствует довольно жесткому спектру для солнечных космических лучей. Полученные спектры удовлетворительно согласуются с данными о потоках энергичных протонов, полученных на космических аппаратах.

### **Солнечные источники и характеристики магнитных облаков солнечного ветра**

Н.А. Бархатов<sup>1</sup>, Е.А. Ревунова<sup>2</sup>, Р.В. Романов<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, г. Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород*

<sup>3</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

Корональные выбросы массы (КВМ) и, особенно, магнитные облака (МО) являются самыми высокоэнергетическими солнечными явлениями [1, 2]. Прогноз геомагнитной эффективности КВМ нуждается в данных об их солнечных источниках и их стартовых физических характеристиках. Для этого разработана методика установления локализации и конфигурации солнечного источника МО по данным коронографов и фотографиям EIT MDI SOHO фотосферы [3]. На этой основе выполнено статистическое исследование зависимостей пространственных характеристик источников КВМ типа МО от расположения на солнечном диске, конкретно, зависимости распределения солнечных источников различной протяженности и их угловой ориентации видимой части солнечного источника от его координат.

Выполнено сопоставление параметров солнечных источников с характеристиками МО зарегистрированными на КА. Получены зависимость скорости МО от минимальной широты и, соответствующей ей долготы, источника; зависимость максимальной напряженности магнитного поля (МП) МО от минимальной широты и, соответствующей ей долготы источника; зависимость Vz-компоненты максимальной напряженности МП МО от минимальной широты и, соответствующей ей долготы источника; зависимость широтного и долготного углов вектора МП МО от минимальной широты и, соответствующей ей долготы источника.

Обращено внимание на существование зависимости элементов геомагнитной активности от параметров солнечных источников структур солнечного ветра. Найдены связи координат солнечного источника с геомагнитной активностью оболочки МО и координат солнечного источника с геомагнитной активностью тела МО.

1. Бархатов Н.А., Левитин А.Е., Ревунова Е.А. Классификация комплексов космической погоды с учетом типа солнечного источника, характеристик плазменного потока и создаваемого им геомагнитного возмущения // Геомагнетизм и аэронавигация. Т. 54. № 2. С. 185-191. 2014.

2. E.K.J. Kilpua, Y. Li, J.G. Luhmann, L.K. Jian, C.T. Russell. On the relationship between magnetic cloud field polarity and geoeffectiveness // Ann. Geophys. V. 30. P. 1037–1050. doi:10.5194/angeo-30-1037-2012. 2012.

3. <https://sohowww.nascom.nasa.gov>

### **Диаграмма направленности и геометрический фактор телескопических систем заряженных частиц с учетом реальных толщин детекторов и их эффективностей и сравнение с приближением геометрической оптики**

Е.А. Маурчев<sup>1</sup>, А.А. Абунин<sup>2</sup>, П.Г. Кобелев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, e-mail: maurchev1987@gmail.com

<sup>2</sup>ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, e-mail: abunin@izmiran.ru, kosmos061986@yandex.ru

Получены аналитические выражения для диаграммы направленности и геометрического фактора методом «теневых областей» для наиболее распространенных телескопических систем в приближении геометрической оптики. Для важного случая телескопической системы, в котором расстояние между детекторами (счетчиками, сцинтилляторами) сравнимо с их толщинами, проведено моделирование с учетом конкретной геометрии системы. Кроме того, при моделировании учтена эффективность и

### **Использование пакета RUSCOSMICS в задачах оценки скорости ионизации атмосферы Земли протонами космических лучей**

Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, e-mail: maurchev1987@gmail.com*

В этой работе рассмотрено моделирование прохождения протонов космических лучей через атмосферу Земли и их вклад в процесс ионизации на высотах от 0 до 80 км во время двух событий GLE №65 и GLE № 67. Расчеты проводились при помощи комплекса RUSCOSMICS, разработанного на базе GEANT 4 в лаборатории космических лучей г. Апатиты. Параметризация столбов воздушной массы для заданных значений жесткости геомагнитного обрезания получена с использованием модели NRLMSISE. Класс точечного источника частиц наследован от General Particle Source и имеет спектральные характеристики, соответствующие моментам времени 28.10.2003 и 02.11.2003. На интересующих высотах расположены чувствительные объемы, обладающие как методами класса G4SensitiveDetector, так и определенными нами, и позволяющие собирать информацию об энергии, оставленной взаимодействующей частицей, а также пересчитывать ее в количество ионов, образующихся в 1 секунду. В ходе моделирования получены высотные профили скорости ионообразования для различных значений широты и долготы. Также проведена верификация модели методом сравнения численных результатов и экспериментальных данных, полученных во время запуска шаров-зондов с установленными на них счетчиками Гейгера. Проведен анализ и показано хорошее соответствие.

### **Мобильный малогабаритный детектор вторичной электронно-мюонной компоненты**

Е.А. Михалко, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

В лаборатории космических лучей ПГИ (г. Апатиты) ведется постоянная регистрация таких частиц различных типов, при помощи комплексной системы мониторинга. Для улучшения информативности производимого мониторинга в дополнение к сцинтилляционному спектрометру, регистрирующему как заряженные частицы, так и гамма-кванты, был разработан и введен в эксплуатацию детектор заряженной компоненты (ДЗК) на основе счетчиков Гейгера-Мюллера. Особенностью этого детектора является то, что он позволяет выделить из всей электронно-фотонной компоненты вторичного космического излучения регистрируемой нами, только заряженную, а именно: мюоны, электроны, позитроны. Преимуществом данного детектора является его мобильность, полученная благодаря использованию компактных счетчиков (СТС-6). Было произведено усовершенствование электрической схемы ДЗК при помощи установки в прибор стабильного источника высокого напряжения для обеспечения работы счетчиков. Также разработана схема низковольтного питания, обеспечивающая высокую энергоэффективность и, соответственно, автономность всего детектора в целом.

## **The response of the ionospheric F2 layer peak parameters around the crest of the EIA to some space weather events**

J.O. Adeniyi<sup>1</sup>, B.W. Joshua<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria, e-mail: segun47@yahoo.com*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Kebbi State University of Science and Technology Aliero, Kebbi State, Nigeria, e-mail: benjaminjoshua7@gmail.com*

The equatorial electrodynamic is known to play a vital role in the distribution of ionization at the equatorial/low latitude ionospheric region; it is responsible for the formation of the equatorial ionization anomaly (EIA). The EIA is characterized by the formation of two crests of ionization around  $\pm 20^{\circ}$  magnetic latitude with a trough at the equator. This study investigates the response of the ionospheric F2 layer over four equatorial/low latitude stations to three (two moderate ( $Dst \geq -100$  nT) and one strong ( $Dst = -100$  to  $-150$  nT)) geomagnetic storms. Two stations were chosen on either side of the geomagnetic equator, such that they fall within the same or a close range of local time. Results from the study show similarities in the response of NmF2 from all the stations to the storm events; both positive and negative phases were recorded from the two stations. The highest percentage change in NmF2 of about 86% was recorded at Jeju, South Korea, while that of the main phase (about 160%) was recorded in Townsville, Australia. Averagely, depletions in NmF2 dominate all the phases of the geomagnetic storms, except the strong storm of 30 September – 01 October, 2011. The main phase of this geomagnetic storm corresponds to the daytime period in all the stations. Results from this study further confirm the dependence of the Ionospheric response during geomagnetic storms to the local time, longitude and latitude of the stations.

## **The structural pattern and degree of perturbation in the ionosphere based on the radio tomography data under different geomagnetic activity levels**

E.S. Andreeva<sup>1</sup>, E.D. Tereshchenko<sup>2</sup>, M.O. Nazarenko<sup>1</sup>, I.A. Nesterov<sup>1</sup>, A.M. Padokhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Polar Geophysical Institute RAS, Murmansk, Russia*

The results of studying the structure of the ionosphere under different geomagnetic conditions by satellite radio tomography (RT) are presented. The techniques used include the low-orbiting (LO) RT based on radio transmissions from the Parus/Tsikada low Earth orbiters and the high-orbiting (HO) RT employing the signals from the high-orbiting global navigational satellite systems (GNSS). RT diagnosed a variety of the ionospheric structures: multi-extremum distributions of electron density with anomalous high values, steep gradients of electron density, narrow density features elongated in the direction of the geomagnetic field, wavelike structures, blobs, patches, ionization troughs, ionospheric traces of particle precipitation, etc. Particular attention is placed on the results of RT reconstructions based on the data from the Russian (Moscow–Svalbard) RT system. The ways for constructing new indices of perturbation of the ionospheric plasma which take into account the specificity of the HORT and LORT data are discussed. The suggested new indices of the degree of ionospheric perturbation are compared to the geomagnetic activity indices.

The research is supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects nos. 16-05-01024 and 17-05-01250).

## **Production and quenching of Herzberg states of molecular oxygen in the nightglow of Venus, Mars, Earth**

O.V. Antonenko, A.S. Kirillov, Yu.N. Kulikov

*Polar Geophysical Institute (PGI), Apatity, Russia, e-mail: antonenko@pgia.ru*

The processes of production and quenching of Herzberg states of molecular oxygen in the atmospheres of Venus, Mars, and Earth at the heights of the nightglow are discussed. The altitudes with high concentrations of atomic oxygen related with the dissociation of O<sub>2</sub> by solar UV radiation are considered. Principal differences in the kinetics of O<sub>2</sub> Herzberg states in the Earth's atmosphere and in the atmospheres of Venus and Mars are discussed. The calculated quenching constants for vibrational levels of three Herzberg states of molecular oxygen are compared with the

experimental data. Altitude profiles of concentrations of the electronically excited oxygen molecules in the upper atmospheres of Venus, Mars, and Earth for various vibrational levels are calculated.

### **Estimation of the mode conversion effect for a VLF inverse problem solution in the cases of ultra-energetic relativistic electron (~ 100 MeV) precipitations**

A.M. Astafiev<sup>1,2</sup>, G.F. Remenets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Physics Department of St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*IEE-RAS, St. Petersburg, Russia*

Previously [1, 2] we have determined the southern boundaries of ultra-energetic relativistic electron precipitations (UREP) which had been registered by a VLF-method. The method is based on continuous ground-based measurements of amplitude and phase disturbances for several VLF-signals for two radio paths: one path S1 (North Norway – Kola Peninsula) was completely auroral and the second path S2 (United Kingdom – Kola Peninsula) was partly auroral. The part of atmosphere which is higher than 61° of magnetic latitude is electrically disturbed while an UREP. Due to a precipitation a profile of electric conductivity changes, a sporadic D<sub>s</sub>-layer under a regular ionosphere D-layer appears due to the bremsstrahlung X-ray radiation by the electrons precipitating. Therefore the radio path S2 becomes significantly inhomogeneous along its length. Inhomogeneity of the radio path is a cause of conversion of a normal wave of the earth-ionosphere guide into other normal waves. We ignored this effect in our previous publications. Here we take into account the effect of conversion of the normal waves in order to estimate its influence on the value of southern boundary calculated in our works [1, 2].

To assess the impact of these effects on the main result (latitude of the southern boundary) a task of mode reflection and conversion at a single step (abrupt) change in the properties of earth-ionosphere VLF waveguide [3, 4] was solved. For it we used from a work [5] two models of the effective electron density distribution for disturbed and not disturbed auroral part of the radio path S2. Calculation for powerful disturbances (PwD's) showed that reflection mode does not exceed 1%. The field in the disturbed auroral waveguide is represented by main normal wave and second normal wave. The main wave decreases at 14%. The phase of the main wave is shifted on 2.2 mcs. The pointed values are the above estimations of the conversion effect because in the work which we are commenting the weaker disturbances were used (the strong ones and moderate ones) and the signal/noise ratio for the amplitudes was about 10 before a disturbance and at several times less during it. If one considers that in the reality instead of an abrupt change a relatively smooth change of the electric properties has place then the neglecting of the overexcitement effect while the southern boundary determination was acceptable.

1. Remenets G. F., Astafiev A. M., 2015. Southern boundaries of ultraenergetic relativistic electron precipitations in several cases from 1982 - 1986 years. // *J. Geophys. Res., Space Physics*, vol. 120(5), pp. 3318-3327. doi: 10.1002/2014JA020591.
2. Remenets G. F., Astafiev A. M., 2016. Solution unicity of an inverse VLF problem: A case-study of the polar, ground-based, VLF radio signal disturbances caused by the ultraenergetic relativistic electron precipitations and of their southern boundaries // *Advances in Space Research*, vol. 58, pp. 878-889. doi: 10.1016/j.asr.2016.05.45.
3. Wait J. R., Spies K. P., 1968. On the calculation of mode conversion at a graded height change in the earth-ionosphere waveguide at VLF // *Radio Sci.*, vol. 3, pp. 787-791.
4. Wait J. R., 1968. On the theory of VLF propagation for a step model of the nonuniform Earth-ionosphere waveguide // *Canad. J. Phys.*, vol. 46, issue 17, 1979-1983.
5. Beloglazov M. I., Remenets G. F., 2005. Investigation of powerful VLF disturbances // *Intern. J. Geomagn. Aeronomy*, vol. 5, no. 3, April issue, GI3004. doi:10.1029/2005GI000101.

### **The influence of different ionospheric disturbances on the GPS scintillations at high latitudes**

V.B. Belakhovsky<sup>1</sup>, Y. Jin<sup>2</sup>, W.J. Miloch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway*

In this work we compare the influence of auroral particle precipitation and polar cap patches (PCP) on scintillations of the GPS signals in the polar ionosphere. We use the GPS scintillation receivers at Ny-Ålesund and Skibotn, both of which are operated by the University of Oslo (UiO). The presence of the auroral particle precipitation and polar cap patches was determined by using data from the EISCAT 42m radar on Svalbard. We analyzed approximately 100



## ***Ionosphere and upper atmosphere***

events for years 2010-2017, when simultaneous EISCAT 42m and GPS data were available. For some of the events, the optical aurora observations of Polar Geophysical Institute (PGI) and UiO on Svalbard were also used. We consider the following types of the auroral precipitation: i) the dayside and morning precipitation, ii) precipitation on the nightside during substorms, iii) precipitation associated with the arrival of the interplanetary shock wave. All considered types of ionospheric disturbances lead to enhanced GPS phase scintillations. For the polar cap patches, the morning and daytime precipitation (i), and precipitation related to the shock wave (iii), the phase scintillations index reaches values less than 1 radian. We observe that auroral precipitation during substorms leads to the greatest enhancement of the phase scintillation index (up to 3 radians). Thus, the substorm precipitation has the strongest impact on the scintillation of GPS radio signals in the polar ionosphere.

## **Reaction of the geomagnetic field to the flights of the Vilyuisk and Sayanogorsk meteors**

S.M. Cherniakov, R.A. Rakhmatulin, S.V. Nikolashkin

Reactions of the geomagnetic field to destruction of meteors over Vilyuisk, Yakutia (4 March 2014 21:29 UT; 64.3°N, 123.1°E) and Sayanogorsk, Khakassia (6 December 2016 11:37 UT; 52.9°N, 91.4°E), and behavior of the geomagnetic field in control days on 7-8 March 2014 and on 4 December 2016 according to the data of the magnetic observatory "Irkutsk" of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (52.23°N, 104.25°E) are considered. The analysis of the variations of the geomagnetic field components has shown that flights and explosions of meteors were followed by appearance of geomagnetic disturbances. The periods of wave disturbances and speed of their propagation from the places of meteor explosions are estimated.

## **Ionospheric effects of meteor explosion over North Finland on November 2017**

S.M. Cherniakov, V.A. Turyansky, A.D. Gomonov

*Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russia*

On 16 November 2017 at 16:40:22 UT over Northern Finland there was a powerful explosion of a meteor. Response of the ionosphere to this explosion was fixed by the partial reflection facility at the radio physical observatory Tumanny and by the all sky camera at the radio physical observatory Verkhnetulomsky. Using variations of the ordinary wave amplitude at the height of 90 km the periods corresponding to the acoustic cut-off and Brunt-Vaisala periods were identified and they were equal to 4.19 and 4.64 min, respectively. It allowed calculating temperature (189 K) and speed of sound (275 m/s) at this height. Optical registration of the meteor flight allowed calculating exact time and the place of explosion of the meteor. Explosion caused appearance of the considerable disturbances in the ordinary wave amplitude. The first disturbance was at the height of 95 km at 16:57:43 UT, the second – at 17:21:39 UT at the height of 90 km and the third – at 17:50:42 UT at the height of 85 km. The first and second disturbances had an impulse-like appearance, the third – the type of a wave packet. Speed of propagation of the first disturbance was equal to about 395 m/s, the second – 165 m/s, and the third – 100 m/s that could correspond to propagation from the explosion of a shock wave, a shock slow magnetohydrodynamic wave and a slow magnetohydrodynamic wave, respectively.

## **Comparison of occurrence of the TEC irregularity oval and the optical auroral oval model**

S.A. Chernouss<sup>1</sup>, I. Shagimuratov<sup>2</sup>, M. Filatov<sup>1</sup>, I. Efishov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute RAS, Murmansk, Russia*

<sup>2</sup>*West Department of IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

The work is devoted to an assessment of the practical possibility of using the parameters and characteristics of the auroral oval, discovered in the sixties of the last century, in nowadays. A comparison is made between the location of the model representations of the auroral oval and irregularities boundaries oval. The present paper concerned with the

solution of the small-scale ionospheric irregularities occurrence predicting. They arise simultaneously with the appearance of discrete forms of auroras in the polar ionosphere. A relationship between two types of ovals permits us to provide a reliable forecast of the appearance of ionospheric irregularities, which affect the propagation of high-frequency navigation signals. It was done on the basis of quantitative dependences of spatial-temporal total electron content distribution in the polar ionosphere and the same distribution of aurora. It was own by the all sky ground cameras, partially at the Lovozero Observatory. A preliminary conclusion is made about a rather good correlation of the boundaries development tendencies, obtained by the two methods.

This investigation was supported by RFBR Grants No.17-45-510341 p\_a and partly Program №28 of the Presidium of RAS.

### **Photochemical model for atomic oxygen ion retrieval from ground-based observations of airglow**

Y. Duann<sup>1</sup>, L.C. Chang<sup>1</sup>, Y.C. Chiu<sup>1</sup>, I.V. Medvedeva<sup>2</sup> and K. Ratovsky<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Graduate Institute of Space Science, National Central University, Taiwan,  
e-mail: cntwtpe@gmail.com, loren@jupiter.ss.ncu.edu.tw*

<sup>3</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics (ISTP), Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia,  
e-mail: ivmed@iszf.irk.ru, ratovsky@iszf.irk.ru*

To study the chemistry and composition of the upper atmosphere, we can utilize airglow emissions from the photochemical reactions of the ions in this region. When the atomic oxygen ions distributed in the ionospheric F region experience an energy level transition, visible light with a wavelength of 630 nm is released. We used the photometer system built by our team to perform ground-based observations of airglow over the sky of Taiwan at Lulin Observatory (23°28'07"N, 120°52'25"E) during nighttime. We combined the mean values of our observations every 10 minutes with a photo chemistry model based on the formula derived from the theories of *R. Link and L. L. Cogger (1988)*, *Sobral et al (1993)*, and *Vladislav Yu. Khomich et al. (2008)*. With these different methods, we can estimate how the density of oxygen atomic ions varies with time and altitude, and compare the results from empirical models with satellite-based observation data from FORMOSAT-3/COSMIC. This system will be used for long term observations to study the whole year variation of upper atmosphere composition.

Ground-based airglow photometer observations throughout 2016 from the Institute of Solar-Terrestrial Physics (ISTP) in Irkutsk, Russia are also analyzed using these models. The atomic oxygen ion density calculated by our photochemical models show a similar tendency as the ground-based time variation of airglow radiance (Rayleigh) and the electron density observations of FORMOSAT-3/COSMIC. The pattern of atomic oxygen ion variation is resolved by our inversion model, which will be utilized for further analysis of ionospheric composition variation in the future.

### **A comparative analysis of the electron concentration from the observations of the partial reflections facility and the IRI model**

A.D. Gomonov, Yu.A. Shapovalova

*Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russia*

A comparative analysis of the diurnal variations of the electron density in the altitude range of 65 to 90 km has been carried out according to the data of the partial reflections facility of the Polar Geophysical Institute, which located at the radiophysical polygon "Tumanny" (69°N; 35.7°E) and the empirical model IRI-2016. The comparison was made for the conditions of the vernal equinox (March 2017) under conditions of low geomagnetic and solar activities.

As a result of the analysis, certain features that are not reproduced by the empirical model are identified in the observed daily variations of the electron concentration.

## **Performance of NeQuick-2 model and IRI-Plas 2017 model during solar maximum year in 2013-2014 over global equatorial and low latitude regions**

K. Iluore<sup>1</sup>, F.N. Okeke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics, Anchor University Lagos*

<sup>2</sup>*Department of Physics and Astronomy University of Nigeria, Nsukka*

This paper inspect the prediction Capability of Nequick-2 model and the latest version of International Reference ionosphere IRI Extended to the Plasmasphere (IRI-Plas 2017) model in predicting the Total electron content (TEC) over nine different equatorial and low latitude regions across the globe during solar maximum year 2013-2014. In all, the diurnal and the seasonal variations agree fairly well with GPS-TEC in all the station although with some upward and downward offsets. The observed GPS-TEC shows the presence of winter anomaly which is high in December (DecSol) and Low in June solstices (June sol). The monthly and seasonal variations of the NeQuick-2 model TEC with IRI-Plas 2017 model has been compared with the GPS-TEC. From the prediction errors, it shows that the monthly and seasonal variation of the IRI-Plas 2017 Overestimate GPS-TEC in all the regions when compared with NeQuick -2 models except in Addis Ababa station where there is a good agreement with the GPS-TEC. The NeQuick -2 model, in general performed better when compared with IRI-Plas 2017 in months and in season. These models exhibit latitudinal variation and showed a seasonal trend. The main problem of the NeQuick-2 model TEC representation is not situated in the Plasmaspheric part, its absence in NeQuick-2 model or its presence in IRI Plas 2017 model, the main source of the resulted discrepancies is still in the IRI topside ionosphere representation.

## **Study of HF radio waves absorption effects during X-ray solar flares using amplitude characteristics of chirp signals**

V.A. Ivanova, A.V. Podlesnyi, B.G. Salimov, A.A. Naumenko

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

Using oblique incidence sounding data obtained over Salekhard-Norilsk and Amderma-Norilsk paths in 2016 we study response of amplitude characteristics to the M-class of X-ray solar flares. We use two approaches for the analysis of amplitudes. The first approach is based on the evaluation of mean maximum amplitude for each frequency of radio signal registered at the oblique incidence sounding ionogram. The second approach is based on the summation of HF signals amplitudes over the frequency range with the step from 0.1 to 0.3 MHz with the goal of more accurate recording of information about the useful signal. We have carried out the comparison of results for both methods. We determined that the method of analysis of HF signal amplitude sums over the frequency range is more acceptable for the goal of evaluation of absorption effects over northern paths. For several X-ray flares we have calculated variations of amplitude sums and mean maximum amplitudes for the frequency range of chirp signal depending on the intensity of the solar flare. Decrease of the value of maximum amplitude sums has been determined for the moments near maximum intensity of solar flare. This effect is connected with the increase of HF radio signal absorption at the D-region of ionosphere while the ionization of D-region is increased during the X-ray solar flare event.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-00539 A). Experimental data were recorded by the Angara Multiaccess Center facilities at ISTP SB RAS.

## **Formation of high density regions in the plasmasphere by vertical fluxes of cold ions from the ionosphere**

V.L. Khalipov<sup>1</sup>, G.A. Kotova<sup>1</sup>, M.I. Verigin<sup>1</sup>, A.E. Stepanov<sup>2</sup>, D.V. Chuginin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, SB RAS, Yakutsk, Russia*

Cold plasma measurements onboard the INTERBALL spacecraft reveal the regions in the plasmasphere where the density was 3 – 5 times higher than in the neighbor regions. Such regions were mostly observed after the substorm activations. Ground based and satellite measurements in the ionosphere during substorms, showed that fast upstreaming plasma fluxes are formed in the polarization jet band. The vertical velocity of such fluxes achieves 1.0 –

1.5 km/s at the height of DMSP satellites (~850km). The case study comparing the observed high-density structures in the plasmasphere with high speed plasma streams from the ionosphere during the polarization jet development, taking into account the time of plasma transport from the ionosphere to the plasmasphere, reveals the interconnection of these phenomena.

### **Geophysical verification of mechanisms for the polarization jet formation**

V.L. Khalipov<sup>1</sup>, A.E. Stepanov<sup>2</sup>, G.A. Kotova<sup>1</sup>, E.D. Bondar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, SB RAS, Yakutsk, Russia*

Observations of polarization jet (PJ) by the coherent backscattering radar – SuperDARN - in Tasmania showed that PJ is developing during the substorm break up. These observations confirm the conclusion made previously from the data of Yakutian chain of ionosondes. This fact is very important for the analyses of possible mechanisms of PJ formation. The SuperDARN data also evidences on the existence of large sporadic electric fields at the moment of PJ formation, and this suggests that thermoelectric mechanism of electric field creation in the mode of voltage generation is effective. The connection of PJ with the injection of ions into the inner magnetosphere is considered in details using simultaneous measurements by the ionosonde chain and onboard AMPTE/CCE. It is shown PJ is formed on the ionospheric projection of the inner injection boundary of ions with the energy of 20-30 keV. According to ground-based measurements on the longitude chain of ionospheric stations the velocity of westward motion of the source responsible for the PJ formation is 3 hours MLT per hour at L=3. This corresponds to the velocity of azimuthal drift of ions, observed by AMPTE/CCE. The mechanism of PJ generation should be effective even in the conditions of high electrical conductivity in sunlit summer ionosphere. In the region of PJ formation due to strong heating of neutrals under the action of electric field, the thermospheric circulation is completely reconstructed.

### **Vibrational populations of electronically excited states of molecular nitrogen in the atmosphere associated with sprites**

A.S. Kirillov

*Polar Geophysical Institute of Russian Academy of Sciences, Apatity, Murmansk region, Russia*

The spectra of sprites are composed primarily of N<sub>2</sub> first positive group (1PG) (B<sup>3</sup>Π<sub>g</sub>–A<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>) and second positive group (2PG) (C<sup>3</sup>Π<sub>u</sub>–B<sup>3</sup>Π<sub>g</sub>). We pay special attention to the simulation of electronic kinetics of the B<sup>3</sup>Π<sub>g</sub> and C<sup>3</sup>Π<sub>u</sub> states at the altitudes of middle atmosphere. The simulation includes the consideration of removal processes in inelastic molecular collisions. We compare the N<sub>2</sub>(B) and N<sub>2</sub>(C) calculated vibrational distributions in sprites with those available in scientific literature. It is shown that intermolecular and intramolecular electron energy transfer processes influence on the vibrational populations of N<sub>2</sub>(B) and N<sub>2</sub>(C) with the increase of atmospheric density.

### **Intermolecular electron energy transfer processes in upper atmospheres of Titan, Triton, Pluto**

A.S. Kirillov<sup>1</sup>, R. Werner<sup>2</sup>, V. Guineva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute of Russian Academy of Sciences, Apatity, Murmansk region, Russia*

<sup>2</sup>*Space Research and Technology Institute of Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Stara Zagora, Bulgaria*

The simulation of N<sub>2</sub>(A<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>) and CO(a<sup>3</sup>Π) vibrational populations at the altitudes of upper atmospheres of Titan, Triton, Pluto is made. The simulation includes the consideration of the electronic excitation of N<sub>2</sub> and CO triplet states by photoelectrons and the quenching processes in spontaneous radiation and in inelastic molecular collisions. Upper atmospheres of the planets are considered as mixtures of molecular nitrogen N<sub>2</sub>, methane CH<sub>4</sub>, carbon monoxide CO.

## ***Ionosphere and upper atmosphere***

The influence of metastable molecular nitrogen  $N_2(A^3\Sigma_u^+)$  on the electronic excitation of CO molecules in inelastic collisions is studied. The role of molecular inelastic collisions in intermolecular electron energy transfer processes is investigated. It is shown that the increase in the density of upper atmospheres of the planets leads to more significant excitation of lowest vibrational levels of CO( $a^3\Pi$ ) by intermolecular electron energy transfers from  $N_2(A^3\Sigma_u^+)$  in comparison with direct excitation of the  $a^3\Pi$  state by photoelectrons.

## **Ionospheric response to 2015 St. Patrick geomagnetic storm**

M.V. Klimenko<sup>1,2</sup>, V.V. Klimenko<sup>1</sup>, I.E. Zakharenkova<sup>1</sup>, K.G. Ratovsky<sup>3</sup>, R.V. Vasiliev<sup>3</sup>, R.Yu. Lukianova<sup>4,5</sup>, I.V. Despirak<sup>6</sup>, B.V. Kozelov<sup>6</sup>, S.M. Cherniakov<sup>6</sup>, A.V. Dmitriev<sup>7,8</sup>, A.V. Suvorova<sup>7,8</sup>, E.S. Andreeva<sup>7</sup>, A.M. Vesnin<sup>3</sup>, E.D. Tereshchenko<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (IZMIRAN) RAS, Kaliningrad, e-mail: maksim.klimenko@mail.ru*

<sup>2</sup>*I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

<sup>3</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk*

<sup>4</sup>*Geophysical Center RAS, Moscow*

<sup>5</sup>*Space Research Institute (IKI) RAS, Moscow*

<sup>6</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity*

<sup>7</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>8</sup>*Institute of Space Science, National Central University, Jhongli, Taiwan*

This study presents an analysis of geomagnetic disturbances and ionospheric electron density distribution during the 2015 St. Patrick's Day geomagnetic storm. To study this event we have used the satellite-borne and ground-based observations. The St. Patrick's Day geomagnetic storm covered the interval of 15-23 March 2015, when there were occurred 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 (Dst dropped as strong as  $-228$  nT). This geomagnetic storm is still the strongest one observed in the current solar cycle. The severe geomagnetic storm on 17-18 March 2015 led to complex effects on the ionosphere. We consider major features of the positive and negative ionospheric storms development at mid- and high-latitudes. One of the interesting phenomena was observation of the positive ionospheric disturbances during the recovery phase. Using the Global Self-consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere and Protonosphere (GSM TIP) we examined the main physical processes that played a major role in dramatic changes of the total electron content and the F2 layer peak electron density during this storm event. We have found that in general, the GSM TIP model give reasonable prediction of both positive and negative ionospheric storms. Most difficulties have been arisen in prediction of a strong positive storm at low latitudes above the Pacific and in the South Atlantic Anomaly region on the main and recovery phases. The positive storm could be explained with the additional ionization by high energy electrons. Dynamics of negative ionospheric storms at middle latitudes was predicted by the GSM TIP model quite well though the amplitude of storms was underestimated. The latter could result from underestimation of the  $N_2$  contribution especially under conditions of unusual anomalous expansion of auroral oval toward the middle latitudes during the 2015 St. Patrick's Day storm.

The work of M.V. Klimenko and I.E. Zakharenkova (model runs, comparison of model input parameters (high energy particle precipitation) with observational data and analysis of ionospheric disturbances at high latitudes, GPS TEC data processing and analysis) were supported by the Russian Science Foundation (grant 17-77-20009). Comparison and analysis of IRTAM and GSM TIP model results were performed by A.M. Vesnin at financial support of Russian Foundation for Basic Research (grant 17-305-500054). The work of E.S. Andreeva (radio tomography data processing and analysis) was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 16-05-01024). Processing of observation data (ionosonde, and POES satellite) and its interpretation were performed by K.G. Ratovsky, V.V. Klimenko, A.V. Dmitriev, A.V. Suvorova at financial support of Russian Foundation for Basic Research (grant 18-55-52006).

## **Triangulation of auroral rays in Apatity by MAIN system**

B.V. Kozelov, V.E. Ivanov, Z.V. Dashkevich

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, e-mail:boris.kozelov@gmail.com*

The Multiscale Aurora Imaging Network (MAIN) system of auroral cameras has two identical synchronized digital cameras with diagonal field of view of 18 degrees [1]. The cameras are equipped with glass filters that separate the blue-green part of the visible spectrum [2]. The observation points are separated by 4 km in longitude, so it is possible to triangulate small-scale auroral forms. Here we analyzed observations of auroral rays near local magnetic zenith. Successful identification of solitary rays in images from both cameras allows us to deduce the altitudinal profile of auroral emission [3]. The spectra of precipitating electron fluxes were estimated from these altitude profiles using a numerical model of electron degradation in the atmosphere [4, 5]. It is concluded that the brightening in rayed forms is usually accompanied by a hardening of the spectra of precipitating electrons.

- [1] Kozelov B.V., Pilgaev S.V., Borovkov L.P., Yurov V.E., Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010-2011 // *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, 1, 1-6, 2012, [www.geosci-instrum-method-data-syst.net/1/1/2012/doi:10.5194/gi-1-1-2012](http://www.geosci-instrum-method-data-syst.net/1/1/2012/doi:10.5194/gi-1-1-2012).
- [2] Kozelov B.V., Brandstrom B.U.E., Sigernes F., Roldugin A.V., Chernouss S.A., Practice of CCD cameras' calibration by LED low-light source. // "Physics of Auroral Phenomena" – Apatity, 2013. - P. 151-154.
- [3] Dobrolenskiy Y. S., Kozelov B. V., Kuzmin A. K., Lyahov A. N., Maslov I. A., Merzlyi A.M., Pulinets S. A., Chernous S. A. Researches of Auroral Characteristics and Altitude-Latitude Emission Structures of the Earth's Upper Atmosphere and Ionosphere by Means of Space Reconstruction of Auroral Images Detected from the Orbit Perspective Microsatellite // In book: mechanics, management and informatics. – Moscow: IKI RAS, 2015. - ISSN: 2075-6836. - T.7. №4 (57). - P.77-90 (in Russian).
- [4] Ivanov V.E., Kozelov B.V. Transport of electron and proton-hydrogen fluxes in the Earth's atmosphere // Apatity: KSC RAS, 2001.- P.260 (in Russian).
- [5] Dashkevich Z.V., Kozelov B.V. Synthetic radiation spectra of some systems of blue-green spectral bands // "Physics of Auroral Phenomena" - Apatity, 2015. - P.123-126.

## **The ionospheric ELF/VLF source electromagnetic field and the lower ionosphere electron density profile by ground-based observations in ionosphere heating experiments**

A.V. Larchenko, Yu.V. Fedorenko, O.M. Lebed, S.V. Pilgaev

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We present the results of ground-based observations of low-frequency electromagnetic fields from ionospheric source initiated by powerful HF radio-waves emitted by EISCAT facility. The report is dealing with the results of the heating experiment carried out by AARI in October 2014. The components of the ELF/VLF electromagnetic field have been recorded by the observatories in the PGI high-latitude stations network: namely in the "Lovozero", the "Verkhnetulomsky", and also at the Barentsburg station (Svalbard, Norway). The electromagnetic field parameters, such as circular polarization index of the horizontal magnetic field and wave impedance at the frequencies of 1017, 2017, and 3017 Hz, are considered. The results of observations are compared with the results obtained by modeling of the electromagnetic ELF/VLF waves generation and their propagation in the Earth-ionosphere waveguide.

## **High-latitude lower ionosphere sounding using results of heating experiment in October 2016**

O.M. Lebed<sup>1</sup>, Yu.V. Fedorenko<sup>1</sup>, N.F. Blagoveshchenskaya<sup>2</sup>, A.V. Larchenko<sup>1</sup>, S.V. Pilgaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

The experiments of ionosphere heating by a powerful modulated radio signal on high latitudes are conducted to investigate the mechanisms of excitation of low-frequency waves in the Earth-ionosphere waveguide and the physical processes in the ionospheric plasma. The powerful HF radio wave creates a low-frequency ionospheric source. In this

## ***Ionosphere and upper atmosphere***

work, we show that the electromagnetic field excited in the Earth-ionosphere waveguide by this source can be used for lower ionosphere sounding.

We present an approach to solving of the inverse problem of estimation of the ionosphere electron density profiles using ground-based measurements. The basic idea of the approach is that we estimate the profile of the lower ionosphere at altitudes within 60-120 km range comparing the measured phase velocities with those obtained by the full-wave modeling. To find the optimal profile we employed the Monte-Carlo search in which the trial solutions are random modifications of the basic electron density profile preserving its shape and continuity. As a basic profile, we took the profile from the IRI-2016 model. We used ground-based measurements of electromagnetic ELF/VLF fields at the PGI observatories “Lovozero” and “Verkhnetulomsky” at the frequencies 1017 and 3017 Hz to obtain phase velocities of TEM and TE01 waveguide modes. The experiment was conducted by AARI at the EISCAT/Heating facility (Norway) in October 2016. The peculiarities of the solutions to the inverse problem and their confidence intervals are discussed.

## **Simulation of oblique sounding ionogram at high latitudes**

I.A. Nosikov<sup>1,2</sup>, M.V. Klimenko<sup>1,2</sup>, P.F. Bessarab<sup>3</sup>, G.A. Zhabankov<sup>4</sup> and E.R. Somina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences, 236017, Kaliningrad, Russia, e-mail: igor.nosikov@gmail.com*

<sup>2</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, 236041, Kaliningrad, Russia,*

<sup>3</sup>*Science Institute of the University of Iceland, 107, Reykjavik, Iceland*

<sup>4</sup>*Southern Federal University, 344006, Rostov-on-Don, Russia*

In current work the simulation results of oblique ionograms are presented using the International Reference Ionosphere Model (IRI – 2007) and the numerical model of HF radio wave point-to-point ray tracing. The several examples of ionogram synthesis for high-latitude ionosphere are shown and compared with experimental data. The special feature of our work is an application of the direct variational method for point-to-point ionospheric ray tracing based on the Fermat’s principle. There are several advantages of the direct variational method over traditional methods for the ionogram simulation: (1) position of receiver and transmitter are kept fixed during optimization procedure; (2) global automatic optimization for both high and low rays; (3) robust simulation in case of the minimum and maximum usable frequencies.

This work was supported by the Russian Science Foundation (project №17-77-20009).

## **BDS-GEO TEC variability at different time scales**

A.M. Padokhin<sup>1</sup>, N.A. Tereshin<sup>1</sup>, G.A. Kurbatov<sup>1</sup>, A.S. Yasyukevich<sup>2</sup>, Yu.V. Yasyukevich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia*

With the development of GNSS systems, the coherent multi-frequency L band transmissions are now available from a number of geostationary satellites. These signals can be used for ionospheric TEC estimations in the same way as widely used GPS/GLONASS signals, taking the advantage of almost motionless ionospheric pierce points. Among these geostationary satellites, Chinese BDS-GEO are of the peculiar interest, providing the best noise pattern in TEC estimations, which corresponds to those of GPS/GLONASS systems.

In this work we discuss the capabilities of BDS-GEO data for studying ionospheric variability driven by space weather and meteorological sources at different time scales. Analyzing data from IGS/MGEX receivers we present seasonal variations of geostationary TEC in equatorial ionosphere and its relation to Solar activity, as well as day-to-day TEC variability driven by Solar flares, geomagnetic storms and SSWs. Our results show large potential of geostationary TEC estimations with BDS-GEO signals for continuous monitoring of low-latitude and equatorial ionosphere.

## **An empirical scintillation model for a mid-latitude station, Weihai, China**

S. Priyadarshi, Q.-H. Zhang and Y. Wang

*Shandong Provincial Key laboratory of Optical Astronomy and Solar-Terrestrial Environment, Institute of Space Sciences, Shandong University, Weihai, China 264209*  
*e-mail: spriyadarshi@sdu.edu.cn*

Mid-latitude ionospheric scintillation has been studied in very poor proportion as compared to the equatorial and high latitude ionospheric scintillation. Mid-latitude ionospheric scintillations are often associated with either day time photo-ionization or due to the storm enhanced density. Using phase screen model and the wave propagation theory in random media, we have identified the orientation of the ionospheric irregularities over Weihai to the local geomagnetic field. Amplitude and phase scintillation data observed using GPS scintillation receiver deployed at the mid-latitude observation station Weihai have been used along with K-index derived from the horizontal magnetic field component of the local magnetometer. The proposed model uses the scintillation indices relationship with the local K-index. We identified the scintillation dependence over local K-index during geomagnetic quiet and disturbed condition. This dependence coefficient is used on the real scintillation data for modeling. The presented model has been validated by comparing it to the real observations. The co-relation coefficient is more than 90% during the disturbed as well as quiet geomagnetic conditions.

## **The response of the ionospheric TEC on travelling convection vortices**

V.E. Pronin<sup>1</sup>, V.A. Pilipenko<sup>2</sup>, V.I. Zakharov<sup>1</sup>, and D.L. Murr<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Augsburg College, Minneapolis, USA*

*e-mail: tolgamrab@yandex.ru*

We examine the manifestation of Travelling Convection Vortices (TCV) in the ionosphere of the Earth in a form of fluctuations of its Total Electron Content (TEC).

To detect TCV event we have used magnetometer data from the ground arrays CANMOS and CARISMA. TEC fluctuations were obtained by processing GNSS data from IGS and UNAVCO stations. The use of array of GPS receivers enables us to monitor the origin and dynamics of disturbance and also to obtain its physical parameters such as its amplitude and propagation speed along the ionosphere.

For processing GPS data we have developed an algorithm that allows to detect isolated TEC fluctuations of specific duration and to find their location (and the corresponding time) on the map. In this way we successfully find a considerable agreement between data from ground-based magnetometers and ionospheric TEC data.

The formation of TCV is observed almost simultaneously in both data time series and it is localized in a very small map region. We have also estimated the horizontal propagation speed of ionospheric disturbance. The calculated speed values (about some km per sec) are in agreement with expected velocities of the ionospheric projection of the solar wind flow around the magnetopause.

This collaborative research is supported by RFBR grants 14-05-00588, 16-05-1024.

## **Software detection of ionosphere precursors to earthquakes: Problem statement**

Yu.V. Romanovskaya<sup>1</sup>, O.V. Zolotov<sup>2</sup>, M.A. Knyazeva<sup>2</sup>, E.V. Parkhimovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia*

<sup>2</sup>*Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia*

Studies of the lithosphere-ionosphere coupling last more than four decades and still have no a widely accepted solution. Many researchers analyze the ionosphere total electron content (TEC) maps to reveal possible ionosphere responses to the impacts of seismic origin. We expect the wide use is due to the availability of a huge amount of TEC data in open access with good spatial and temporal resolution. However, “manual” analysis of those data is a very man-power consuming procedure. Therefore, many researchers consider TEC variation just at a point or a few points



## ***Ionosphere and upper atmosphere***

(which is not hard to automate). The points in consideration are usually the near-epicenter and / or magnetically conjugated one. Full 2D TEC maps are not usually analyzed but taking into account the whole map is an essential factor to derive the spatial features and to reveal the statistical significance of possibly related to seismic events disturbances. In this paper we formulate the base principles that must be followed to create a software system for an automated detection of the ionosphere TEC precursors to earthquakes. We describe the developed prototype of such software system and discuss the first test results.

## **IAR pulses and regional thunderstorms**

A.Yu. Schekotov, N.V. Yagova, E.N. Fedorov, V.A. Pilipenko, N.S. Nosikova

*IPE RAS, Moscow*

*Fedorov et al.* (2014) have shown that SRS IAR are predominantly generated by simple reflection. In the time domain their waveforms correspond to a pair of subsequent pulses. The present study develops the results of the technique of source localization, suggested by *Nikolaenko et al.* (2014). For that, we use polarization parameters of pulse pairs in the IAR frequency range to localize the source of these pulses. The data analyzed was recorded at a network of search-coil magnetometers in Canada. The data processing includes detection and synchronization of over-threshold pulse sequences at three or more points, preliminary localization of the source, and an iteration procedure to localize a more precise source position. Local thunderstorm activity as a possible source of these pulse sequences is discussed.

The study is partly supported by the RFBR grant 18-05-00108 A

Fedorov, E., A. Schekotov, Y. Hobara, R. Nakamura, N. Yagova, and M. Hayakawa (2014), The origin of spectral resonance structures of the ionospheric Alfvén resonator. Single high-altitude reflection or resonant cavity excitation?, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 3117–3129, doi:10.1002/2013JA019428.

Nickolaenko A.P., Schekotov A.Y., Hayakawa M., Hobara Y., Satori G., Bor J., Neska M., Multi-point detection of the ELF Transient caused by the gamma flare of December 27, 2004, 57(2), 125-140, 2014.

## **Occurrence of the Main Ionospheric Trough in GPS-TEC measurements**

I.I. Shagimuratov<sup>1</sup>, G.A. Yakimova<sup>1</sup>, S.A. Chernouss<sup>2</sup>, I.I. Efishov<sup>1</sup>, and L.M. Koltunen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*West Department IZMIRAN, Kaliningrad, Russia, e-mail: shagimuratov@mail.ru*

<sup>2</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

For analyses of the trough occurrence in TEC the latitudinal profiles formed from TEC maps over Europe have been used. GPS/GLONASS observations collected by International European Permanent Network (EPN) were used to create TEC maps. More than 150 stations from Europe were included in the analysis. The large number of GPS stations in Europe provides good coverage for GPS data and enable high-accuracy TEC maps with a temporal resolution of 5 min to obtain. The profiles were created with resolution of 1° at fixed longitude of 20°E in latitudinal range 40–74°N. We analyzed the dynamics of trough minima location for winter (December, 2015), equinox (March, 2015) and summer (Jun, 2015) and accordingly storm days December 20, March 17 and Jun 22, 2015. In winter the trough was regularly registered during quiet as well as disturbed days. In quiet geomagnetic condition, on average, the low location the trough was occurred at 60°N of geographic latitude in night time. In day time the trough was raised higher than 73°N. The relation of TEC in the trough minimum to the equator and polar walls amounted to a factor more than of two.) In range of time of 09-16 LT the trough do not registered in GPS-TEC observations. During storm 20 December 2015 ( $\Sigma K_p \sim 45$ ,  $Dst \sim -155$ nT) trough shifted to equator. The lowest location of trough was near 50–51°N. During March 15, 2015 the trough in whole was located at latitudes higher than in December 2015. During strong storm of March 17, 2015 ( $\Sigma K_p \sim 48$ ,  $Dst \sim -223$ nT) trough shifted to equator. The lowest location of trough reached, as well as in December storm, latitude of 50–52°N. During Jun 2015 the trough was observed only during strong storm day of Jun 22–23, 2015 ( $\Sigma K_p \sim 42$ ,  $Dst \sim -200$ nT). The trough was weakly pronounced. The relation of TEC in the trough minimum to the equator and polar walls amounted to a factor 1.5–2.0. The lowest location of trough was near 52–56°N.

This investigation was supported by RFBR Grants No. 16-05-01077 and 17-45-510341, partly Program №7 of the Presidium of RAS.

## **Study on the types of ionospheric spread-F at different low latitudes**

J.K. Shi<sup>1</sup>, G.J. Wang<sup>1</sup>, Z. Wang<sup>1</sup>, X. Wang<sup>1</sup>, G. Zherebtsov<sup>2</sup>, K. Ratovsky<sup>2</sup>, N. Polekh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

<sup>2</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

According to the URSI's handbook, the spread-F (SF) is divided as four types: frequency SF, range SF, mixed SF, and branch SF. According to the data from different low latitude stations including Zhigansk (123.4°E, mag.56.2°N), Norilsk (88.0°E, mag.60.3°N), Yakutsk (129.6°E, mag.53.1°N), Hainan (109.1°E, mag.9.2°N), Vanimo (141.3°E, mag.11.2°S), and Tucumán station (294.6°E, mag.15.5°S), we perform a statistical study on the ionospheric SF. The results show that the SF has different properties at different latitude. At high latitude, the type of the SF is just as that mentioned above. However, at low latitude, the branch SF never occurred and a new type of SF, named strong range SF (SSF) drawn from the range SF, often took place. The SSF has a characteristics of that diffuse echoes in the ionogram extend from low frequency to high frequency and make the critical frequency is not definable. The SSF was observed only at low latitude, and had a maximum occurrence before midnight. The SSF had closer correlation with the ionospheric scintillations but the other types of SF had not. Since the ionospheric scintillation at low altitude is caused by the EPBs, the SSF should have similar physics mechanism with the EPBs. Therefore, we suggest that, at low latitude, the ionospheric SF should be divided into four types, i.e., frequency SF, mixed SF, range SF and strong range SF, at high latitude, the types of the SF are just as that described in the URSI's Handbook.

## **Ion upward flows in subauroral polarisation jet**

A.E. Stepanov<sup>1</sup>, A.Yu. Gololobov<sup>2</sup>, V.L. Khalipov<sup>3</sup>, I.A. Golikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakutsk, Russia*

<sup>2</sup>*North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia*

<sup>3</sup>*Space Research Institute, Moscow, Russia*

Polarisation Jet, or SAID, is a narrow band of fast westward convection which can appear during magnetic storms in the subauroral zone approximately along the nightside plasmopause. It causes strong heating of subauroral plasma due to collisions, fast plasma outflows, and ion conic formation. It results at F-region altitudes in upward or downward plasma motions, a narrow drop in density, or "trough in the trough", changes in ion composition, an electron temperature peak, weak SAR-arc, density inhomogeneities and other effects. Data on ion drifts and field-aligned ion outflows from Kosmos-184 and DE-2 satellites at ionospheric altitudes are analysed. Model calculation have shown that bi-Maxwellian ion distributions resulting from perpendicular ion heating in regions where the magnetic field is inclined to the satellite velocity vector, can produce vertically asymmetric fluxes in a driftmeters frame which mimic fast field-aligned ion flows. It is shown that in many cases the data within the Polarisation Jet are consistent with the contribution of the perpendicular ion heating as an additional cause of the observed fast convection.

## **An analysis of one approach to model electric currents of seismic origin floating between the Earth and ionosphere**

O.V. Zolotov

*Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia*

*Kuo et al.* [2011] and *Kuo et al.* [2014] modeled the ionosphere response to the seismic electric currents and seemed to solve the problem of the seismic impact propagation through the neutral atmosphere. *Prokhorov and Zolotov* [2017] demonstrated that *Kuo et al.* [2014] formulation of the Ohm's law may be obtained as a special case of *Kuo et al.* [2011] equations and, therefore, is expected to have the same problems. Recently *Kuo and Lee* [2017] published a reply. This paper analyses their approach to justify the *Kuo et al.* [2014] solution of the system of equations.

## **UAM and another models intercomparison for subauroral ionosphere: Preliminary results**

O.V. Zolotov<sup>1</sup>, M.V. Rybakov<sup>2</sup>, A.A. Namgaladze<sup>1</sup>, M.A. Knyazeva<sup>1</sup>, B.E. Prokhorov<sup>3</sup>, M.I. Karpov<sup>1,4</sup>, S.A. Parfenov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia*

<sup>2</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences Saint Petersburg Branch (SPbF IZMIRAN), Saint Petersburg, Russia*

<sup>3</sup>*Helmholtz Center Potsdam, GFZ German Research Center for Geosciences, Potsdam, Germany*

<sup>4</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

This paper presents the preliminary results of the Upper Atmosphere Model (UAM) intercomparison with the Voeikovo observatory CADI digisounder data for the February 2013 as well as with the other well known ionosphere models – TIE-GCM (2 versions), CTIPe (3 versions), UAM-P (Potsdam version of the UAM). The aim of this investigation is to estimate the accuracy of the UAM subauroral ionosphere modeling. The preliminary results (without any calibration) show that (1) TIE-GCM in general reproduce the form and amplitude of the NmF2 at day-time, other models, including the UAM, underestimate the NmF2 values at day-time; (2) TIE-GCM and CTIPe significantly overestimate the observed NmF2 values at night; the overestimate for TIE-GCM is larger over the CTIPe's ones; both UAM and UAM-P in general underestimate NmF2 night values, also regions with overestimations exist.

## **Моделирование процессов распространения электромагнитных волн в волноводе Земля-ионосфера с учетом анизотропной ионосферы**

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

*ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, e-mail: akhmetov@pgia.ru*

В докладе рассматриваются результаты численного моделирования распространения электромагнитных волн с частотами от 20 до 2000 Гц от естественных и искусственных источников в волноводе Земля-ионосфера. Обсуждаются особенности предложенной авторами явной консервативной схемы расщепления для интегрирования уравнений Максвелла с учетом анизотропии среды. Выявлены особенности влияния параметров ионосферной плазмы на распространение радиоволн ОНЧ диапазона в зависимости от различных гелиогеофизических условий. Показано соответствие модельных результатов реальным наблюдениям вариаций электромагнитного поля, регистрируемым в обсерваториях ПГИ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

## **Ионосферная и геомагнитная возмущенность на фоне суббуревых процессов**

О.М. Бархатова<sup>1,2</sup>, Н.В. Косолапова<sup>2</sup>, Н.А. Бархатов<sup>2</sup>, В.Г. Воробьев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет"*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина"*

<sup>3</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

Установлено, что МГД возмущенность, характеризуемая ионосферными и геомагнитными волновыми процессами, регистрируется в периоды воздействия на магнитосферу проявлений солнечной активности. В эти же периоды имеют место последовательности суббурь, а иногда возникает и глобальная геомагнитная буря [Лазутин, 2012].

Важной задачей здесь является исследование причин происхождения самой суббури и существования в ее интервале низкочастотных внутримангитосферных возмущений. В литературе описано множество событий развития суббуревой активности, вызванной изменениями параметров солнечных плазменных потоков. При этом известно, что магнитные облака (МО) солнечного ветра являются наиболее геоэффективными из них. В связи с этим, актуально установление внемагнитосферного агента нестабильности авроральных

электроджетов, которая в свою очередь проявляется во внутримангнитосферных МГД возмущениях. Представляют также интерес условия этого явления.

В данной работе выполнен анализ МГД возмущений, регистрируемых в ионосфере и магнитосфере Земли в интервалы, отвечающие суббурям, следующим за ударными волнами МО. Эти интервалы практически отвечали этапу прохождения магнитосферы через турбулентную область МО. Интенсивность рассматриваемых суббурь оценивалась на основе значений индекса AL и лежала в диапазоне от -500 до -1300 нТл. Изучение МГД возмущений выполнялась на основе одновременных наблюдений за вариациями ПЭС, Н и D компонент геомагнитного поля. Анализировались случаи совпадения особенностей вейвлет-спектров ионосферных и геомагнитных возмущений МГД типа. Исследование показало, что в диапазоне периодов от 20 до 40 минут в местное ночное время на суббуревом интервале отмечается синхронная ионосферная и геомагнитная возмущенность регистрируемая на обсерваториях, расположенных в интервале широт от 20° до 70° с.ш.

Поскольку отмеченная синхронная МГД ионосферная и геомагнитная возмущенность наблюдается в периоды суббурь, то она может быть генерирована нестабильностью западного электроджета (AL) [Бархатова и др., 2017]. Возможность проникновения МГД возмущений на глобальные расстояния обеспечивается участием ночной ионосферы в суббуревом процессе в качестве элемента крупномасштабной трёхмерной токовой системы – токового клина суббури (SCW). В свою очередь нестабильность электроджета по всей вероятности является следствием волновых явлений происходящих в турбулизованной области следующей за ударной волной МО.

*Бархатова О.М., Косолапова Н.В., Бархатов Н.А., Ревунов С.Е.* Событие синхронных возмущений в ионосфере и геомагнитном поле над станцией Казань // Солнечно-Земная физика, 2017, Т.3, № 4, с. 24-36  
*Лазутин Л.Л.* Мировые и полярные магнитные бури. Изд. МГУ. 214 стр. 2012.

## **О связи пространственной глубины фронта зондирующего электромагнитного импульса в среде с дисперсией с эффективностью обнаружения объектов**

Л.Б. Волкомирская, О.А. Гулевич, А.С. Кюрегян, А.М. Мёрзлый, А.Е. Резников, В.И. Сахтеров, В.В. Тихонов

*ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, e-mail: alex\_reznikov@inbox.ru*

Рассматривается связь крутизны фронта зондирующего импульса с обнаружением малых по сравнению с длиной несущей волны неоднородностей в средах с дисперсией. Совместный анализ экспериментальных данных эффективной полосы пропускания при односкачковом распространении декаметровых волн на трассе Москва-Екатеринбург и результатов сверхширокополосного георадиолокационного зондирования на десятках и сотнях мегагерц природных сред с сильной дисперсией создаёт предпосылки для проведения натуральных экспериментов по возвратно-наклонному зондированию ионосферы. Предлагается создание конструктивно простых оптоэлектронных коммутаторов [1], способных формировать импульсы напряжения от единиц до десятков киловольт с фронтом от десятков до сотен пикосекунд на 50-омной активной нагрузке. Для протяжённой фазированной антенны можно сформировать фронт зондирующего импульса, не менее чем из 100 элементов с малой пространственной глубиной (менее метра). Для эффективного управления коммутатором и фронтом зондирующего сигнала можно использовать импульсы света с длительностью порядка десятков пикосекунд и энергией, примерно в 1000 раз меньше, чем:

- а) излучается многими современными пикосекундными Nd:YAG лазерами с длиной волны 1.064 мкм, подходящей для кремниевых фотодиодов и
- б) необходима для работы коммутаторов на основе фотоспротивлений использованных при создании сверхширокополосного радара [2], в СВЧ диапазоне.

1. А.С. Кюрегян Пикосекундное переключение высоковольтных обратносмещенных  $p^+n^+n^+$ -структур в проводящее состояние при импульсном освещении. Физика и техника полупроводников, 2014, том 48, вып. 12 стр. 1686-1692.
2. M. Lalande, J.C. Diot, S. Vauchamp, J. Andrieu. Progr. In Electromagnetics Res. B, 11, 205 (2009).

## **Оценка концентрации окиси азота в полярных сияниях по данным наземных фотометрических наблюдений**

Ж.В. Дашкевич, В.Е. Иванов

*ФГБНУ Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, e-mail: zhanna@pgia.ru*

Предложен метод оценки концентрации NO в полярных сияниях по данным фотометрических измерений эмиссий 391.4 нм, 557.7 нм и 630.0 нм. В обосновании метода лежит факт зависимости интенсивности эмиссии 557.7 нм от концентрации окиси азота через диссоциативную рекомбинацию иона  $O_2^+$  и его гашение окисью азота.

Получены оценки содержания окиси азота NO в полярных сияний, сделанные на основе анализа результатов наземных фотометрических измерений интенсивностей эмиссий 427.8, 557.7 и 630.0 нм. Показано, что концентрация окиси азота в максимуме ее высотного профиля лежит в интервале от  $1 \cdot 10^8$  до  $3.3 \cdot 10^8$  см<sup>-3</sup>. Замечено, что полученные оценки свидетельствуют об отсутствии прямой корреляции между интенсивностью свечения эмиссии 427.8 нм и величиной концентрации окиси азота.

## **Анализ высокоширотных ионограмм наклонного зондирования в период геомагнитной бури 17 марта 2015 г.**

Д.С. Котова<sup>1,2</sup>, М.В. Клименко<sup>1,2</sup>, В.В. Клименко<sup>1</sup>, Д.В. Благовещенский<sup>3</sup>, В.Е. Захаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, г. Калининград, e-mail: darshu@yandex.ru, maksim.klimenko@mail.ru, vvk\_48@mail.ru*

<sup>2</sup>*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, e-mail: vezakharov@kantiana.ru*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: donatbl@mail.ru*

Трехмерная численная программа распространения коротких радиоволн в ионосфере была дополнена блоком пристрелки для нахождения КВ радиотрасс между передатчиком и приемником. Новый блок позволил получать модельные ионограммы наклонного зондирования. Было проведено исследование влияния сильнейшей в этом солнечном цикле геомагнитной бури 17-18 марта 2015 года на распространение КВ радиоволн. Проведено сравнение результатов моделирования с данными наблюдений. В качестве среды распространения радиоволн в работе использовалась Глобальная Самосогласованная Модель Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), т.к. модель ГСМ ТИП качественно и количественно описала отклик ионосферы на выбранное геомагнитное событие. Полученные результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными ионограммами. В период геомагнитной бури наблюдался усиленный E-слой, который воспроизводится в модельных ионограммах, а значит и описывается моделью среды распространения. Показано, что результаты, полученные при совместном использовании моделей распространения радиоволн и ГСМ ТИП, адекватно описывают КВ-радиотрассы в ионосфере Земли в период сильных геомагнитных бурь, а представленный комплекс прикладных программ может быть использован в практических целях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-77-20009) и программы повышения конкурентоспособности «5-100» БФУ им. И. Канта, работа Благовещенского Д. В. выполнялась при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00343.

## **Возмущения верхней ионосферы и геомагнитного поля над тайфуном VongFong 2014 г. по данным спутников SWARM**

В.А. Мартинес-Беденко<sup>1</sup>, В.А. Пилипенко<sup>2</sup>, В.И. Захаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики Земли РАН, г. Москва, e-mail: lera\_m0@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований РАН, г. Москва, e-mail: pilipenko\_va@mail.ru*

<sup>3</sup>*МГУ им. Ломоносова, г. Москва, e-mail: zvi\_555@list.ru*

Сильные метеорологические возмущения в атмосфере, сопровождающиеся генерацией акустических волн и турбулентности, могут оказывать влияние и на ионосферу. В последние годы проявления атмосферных возмущений в ионосфере удается обнаруживать и по данным низкоорбитальных спутников. Для изучения механизмов воздействия метеорологических процессов на ионосферу мы проанализировали данные электромагнитных и плазменных измерений на спутниках SWARM во время пролетов над тайфуном VongFong 2014 г. Во время интенсивной фазы тайфуна (со скоростями ветра более 100 узлов) зарегистрировано наличие в верхней ионосфере "магнитной ряби" - флуктуаций малой амплитуды (0,1-5 нТл) с преобладающим периодом около нескольких десятков секунд, вызванной мелкомасштабными продольными токами. Магнитные всплески сопровождаются одновременными усилениями интенсивности флуктуаций электронной плотности с относительной величиной до нескольких десятков %.

## **Модель расчета лучевых траекторий коротких радиоволн с учетом анизотропии ионосферной плазмы и отклоняющего поглощения**

И.В. Мингалев, З.В. Суворова, В.С. Мингалев

*ПГИ РАН, г. Анапты, Мурманская обл., Россия, e-mail: mingalev\_i@pgia.ru*

В работе изложено краткое описание модели для расчета лучевых траекторий коротких радиоволн и поглощения этих волн на траекториях. Эти расчеты проводятся в приближении геометрической оптики с учетом анизотропии ионосферной плазмы и отклоняющего поглощения за счет столкновений электронов без каких-либо упрощений. Для расчета концентрации электронов и частоты их столкновений в ионосферной плазме используется эмпирическая модель ионосферы IRI 2016. Представленная модель расчета лучевых траекторий предназначена для определения возможности радиосвязи на коротких волнах между двумя точками на поверхности Земли и определения оптимальных частот для этой связи по соотношению сигнал/шум в приемнике.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

## **Прикладная модель расчета распространения коротких радиоволн**

И.В. Мингалев, З.В. Суворова, А.М. Мёрзлый, В.В. Тихонов, В.В. Никишов, В.С. Мингалев, О.В. Мингалев

В докладе представлено описание прикладной модели, предназначенной для определения возможности радиосвязи на коротких волнах между двумя точками на поверхности Земли и определения оптимальных частот для рабочих каналов этой связи. В модели осуществляются расчеты лучевых траекторий коротких радиоволн и поглощения этих волн на траекториях. Эти расчеты проводятся большого набора частот из диапазона 3-30 МГц в приближении геометрической оптики с учетом анизотропии ионосферной плазмы и отклоняющего поглощения за счет столкновений электронов без каких-либо упрощений. Для расчета концентрации электронов и частоты их столкновений в ионосферной плазме используется эмпирическая модель ионосферы IRI 2016. Также в модели рассчитывается амплитуда радиосигнала в приемной антенне и определяется соотношение сигнал/шум. На основании последнего соотношения определяются оптимальные частоты для радиосвязи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

### **Возможность создания самосогласованной совместной модели магнитосферы и ионосферы**

И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, А.Н. Ляхов, А.М. Мерзлый, В.В. Тихонов, В.В. Трекин, В.С. Мингалев, М.В. Клименко, В.В. Клименко

В докладе рассматривается перечень прикладных вопросов, для которых важен прогноз состояния магнитосферы и ионосферы. Обсуждаются главные физические процессы, обеспечивающие самосогласованность системы "магнитосфера-ионосфера-верхняя и средняя атмосфера". Проводится обзор существующих типов моделей магнитосферы и ионосферы и теоретических подходов к описанию протекающих в магнитосфере и ионосфере физических процессов, на которых основаны существующие типы моделей. Также проводится обзор существующих моделей верхней и средней атмосферы. Обсуждаются необходимость и перспективы создания самосогласованной модели системы "магнитосфера-ионосфера-верхняя и средняя атмосфера", а также теоретический подход к описанию в этой системе движения ионов и электронов, эволюции самосогласованных магнитного и электрического полей. Рассматриваются системы уравнений, описывающие динамику отдельных частей этой системы, а также уравнения для самосогласованных магнитного и электрического полей в этой системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

### **Выделение высокочастотных составляющих вариаций критической частоты методами спектрального анализа**

Д.Б. Рождественский, В.А. Телегин, В.И. Рождественская

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

Выделение спектральных областей прогнозирования осуществляется с помощью цифровых низкочастотных фильтров. Для первичной обработки данных ионосферного зондирования, полученных с помощью ионозонда DPS-4 критических частот слоя F2, использовались фильтры Чебышева. Для реального процесса критических частот выделены области прогнозирования отдельных спектральных составляющих. Проведен анализ вклада отдельных составляющих в формирование критической частоты слоя F2. Разделение суточной и высокочастотной составляющей, получено с помощью цикла программ, созданных на основе анализа сложного сигнала. Амплитуда высокочастотной составляющей для среднеширотной ионосферы как правило не превышает 0.5 МГц в летний период времени. В высокочастотной составляющей присутствуют составляющие с периодами от 30 мин (частота Найквиста) до 3-х часов. Расчеты показывают, что приемлемые значения прогноза высокочастотной составляющей критической частоты могут быть получены в интервале от 0,5 до 5 часов.

### **Корреляция между направлением дрейфа и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в ионосфере над Москвой**

Н.Ю. Романова<sup>1</sup>, В.А. Панченко<sup>2</sup>, В.А. Телегин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, Россия*

Проведено численное сравнение экспериментальных данных, полученных в F-области ионосферы над Московским регионом. Используются данные, полученные в январе 2015 года. Сравнение проводилось между направлением дрейфа электронов (ионозонд DPS-4, установленный в ИЗМИРАН), и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных (несколько сот метров) неоднородностей электронной плотности (радиотомографический приемник, созданный в Полярном геофизическом институте, установленный в МГУ). Получено хорошее согласие между экспериментальными данными. В ряде случаев различные значения ориентации поперечной анизотропии соответствовали изменению в направлении дрейфа.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-01024 А.

## **Наблюдение мелкомасштабных неоднородностей 8 сентября 2017 г. в период геомагнитного возмущения**

Н.Ю. Романова

*Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия, e-mail: romanova@pgi.ru*

В период геомагнитного возмущения в сентябре 2017 г., когда минимальное значение Dst достигло величины  $Dst_{min} = -142$  нТл 8 сентября 2017 г. (по данным [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realttime/201709/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realttime/201709/index.html)), радиотомографическими станциями в п. Верхнетуломский и г. Кемь были зафиксированы интенсивные амплитудные сцинтилляции спутникового сигнала в период сеанса 15:25 ÷ 15:45 UT. Спутниковый сигнал прошел через ионосферу от низкоорбитального спутника (~ 1000 км) и был принят наземными приемниками. Амплитудные сцинтилляции свидетельствуют о присутствии в F-области ионосферы мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности. Интенсивность сцинтилляций позволила определить параметры этих неоднородностей. Важно, что в аналогичный период времени предыдущих суток (до начала геомагнитного возмущения) не наблюдались амплитудные сцинтилляции подобной интенсивности. Также важно, что в дневное время в спокойных геомагнитных условиях интенсивность сцинтилляций часто не достаточна для определения параметров неоднородностей. Таким образом, наблюдаемые 8 сентября 2017 г. в 15:25 ÷ 15:45 UT сцинтилляции есть следствие геомагнитного возмущения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-01024 А.

## **Два новых аспекта применения КВ-радиолокации в Арктике**

В.А. Телегин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

Актуальность рассматриваемого материала обусловлена необходимостью эффективного освоения Северного морского пути.

Первый аспект относится к решению задач оперативной океанографии для морей Северного Ледовитого океана на основе использования методов и средств прибрежной КВ-радиолокации. Отработка этого подхода ведется в настоящее время на черноморском полигоне. В дальнейшем предполагается, что данная технология будет адаптирована к условиям морей Северного Ледовитого океана.

Второй аспект относится к возможностям применения в высоких широтах, создаваемой в России системы внешнего зондирования ионосферы Земли. Наличие в авроральной ионосфере неоднородностей, вытянутых вдоль магнитного поля, оказывает значительное влияние на распространение радиоволн КВ-диапазона и должно учитываться при интерпретации ионограмм внешнего зондирования. В качестве примера могут быть использованы данные спутника ИК-19.

## **Анализ ионограмм внешнего зондирования ИК-19 в области аврорального овала для условий равноденствия**

В.А. Телегин<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>2</sup>, О.И. Ягодкина<sup>2</sup>, В.И. Рождественская<sup>1</sup>, Е.В. Осипенкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

<sup>2</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

<sup>3</sup>*Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва, Россия*

Анализ ионограмм внешнего зондирования ИК-19 ограничивался рассмотрением случаев, когда спутник находился в высоких широтах северного полушария. Таким образом, исследовались ионограммы в областях: диффузных высыпаний экваториальнее овала, овала дискретных форм сияний, мягкого диффузного свечения полюснее овала и полярной шапки. Рассмотрение проводилось для различных условий магнитной активности.



### **Учет особенностей диаграмм направленности для ретроспективного анализа и соответствующей интерпретации ионограмм внешнего зондирования**

В.А. Телегин<sup>1</sup>, В.А. Гарбацевич<sup>1</sup>, И.И. Иванов<sup>2</sup>, А.А. Каптюг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

<sup>2</sup>*Южный федеральный университет, ЮФУ, г. Ростов, Россия*

На примере спутника ИК-19 рассмотрены и объяснены аспекты скачкообразного изменения характера ионограмм внешнего зондирования при переходе от одного диапазона частот радиозондирования к другому в рамках одного и того же сеанса радиозондирования. Установлена определяющая роль геометрии диаграмм направленности независимо функционирующих фрагментов антенн. Понимание данного вопроса является необходимым для интерпретации ионограмм внешнего зондирования в высоких широтах, отличающихся наличием большого числа неоднородностей, вытянутых вдоль магнитного поля.

### **Исследование явления F-рассеяния по данным спутника ИК-19 в период равноденствия**

В.А. Телегин<sup>1</sup>, А.Т. Карпачев<sup>1</sup>, Н.А. Дятко<sup>1</sup>, С.О. Галкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

<sup>2</sup>*Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва, Россия*

При внешнем зондировании ионосферы можно выделить три характерных типа рассеяния сигнала на неоднородностях, наблюдаемых на высоте спутника (тип F1), в центре ионограммы внешнего зондирования (тип F2) и в максимуме слоя F2 (тип F3). В настоящей работе анализируется распределение различных типов рассеяния по локальному времени, инвариантной широте и географической долготе в период равноденствия. Анализ выполнен на основе более чем 50 000 ионограмм внешнего зондирования, полученных на спутнике ИК-19.

### **Аномальное изменение поглощения ППШ в период дневной фазы эффекта день-ночь вариации**

В.А. Ульев, Д.Д. Рогов, А.В. Франк-Каменецкий

*Арктический и Антарктический Научно-исследовательский институт (АНИИ, СПб), отдел геофизики АНИИ, e-mail: vauliev@yandex.ru*

Рассмотрены 3 явления ППШ в сентябре 2017г., зарегистрированные риометрами на трёх станциях, расположенных в центре антарктической полярной шапки: Восток, Мирный и Прогресс. На всех станциях проявляется эффект день-ночь вариации (ДНВ): резкое повышение поглощения в утренне-дневные часы (дневная фаза ДНВ) и резкое уменьшение поглощения – в вечерне-ночные часы (ночная фаза ДНВ). В дневные часы вариация поглощения аналогична изменению интенсивности потоков протонов (ПП), вызывающих явления ППШ.

Эти тенденции (резкого повышения поглощения на дневной фазе ДНВ, и соответствие вариации дневного поглощения ППШ изменению интенсивности ПП в этот же период) сохраняются почти на всех станциях почти во все дни ППШ. Однако отмечены два случая, когда на одной станции в один из дней ППШ на дневной фазе ДНВ поглощение возрастает очень медленно и вариация поглощения не соответствует изменению интенсивности ПП в этот период. Эти случаи названы утренне-дневной аномалией (УДА). При этом на других станциях дневная аномалия (УДА) отсутствует. Эффект УДА обнаружен впервые.

Предполагается, что появление УДА обусловлено высокой локальной активностью внутренних гравитационных волн в рассматриваемый период.

**Измерения красной дуги и плазмосферы во время развития поляризационного джета 10 января 1997 г.**

В.Л. Халипов<sup>1</sup>, И.Б. Иевенко<sup>2</sup>, В.В. Безруких<sup>1</sup>, А.Е. Степанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт космических исследований, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера, г. Якутск, Россия*

Рассмотрены данные комплексных синхронных измерений во время события 10 января 1997 года, когда при южном ММП с  $B_z = -10.3$  нТл произошел скачок плотности солнечного ветра. Плотность  $N_{sw}$  возросла от 6 до  $16 \text{ см}^{-3}$  в 10.50 UT. Положение плазмосферы по измерениям прибора ALPHA-3 - на спутнике INTERBALL - AURORAL PROBE изменилось с  $L = 4.2$  до  $L = 2.4$  в раннем вечернем секторе. Наземные ионосферные измерения ст. Якутск ( $L = 3.0$ ,  $\Lambda = 130^\circ \text{ E}$ ) свидетельствуют о развитии поляризационного джета. Измерения на спутнике DMSP F-13, обнаруживают полосу западного дрейфа со скоростью 2000 м/сек. на этих же  $L$  оболочках. По спектрофотометрическим данным ст. Маймага ( $L = 3.2$ ,  $\Lambda = 130^\circ \text{ E}$ ) регистрируется мультиплетная SAR дуга, экваториальная граница которой примыкает к плазмосфере с внешней стороны. В последующие часы происходило возрастание  $L$ -оболочки плазмосферы, при этом широтное положение SAR-дуги не изменялось. Были рассмотрены три случая синхронных измерений SAR-дуг на ст. Маймага и радиальных профилей ионной концентрации по измерениям на спутнике VAN ALLEN PROBE. Во всех случаях SAR - arc развивалась на  $L$  оболочках резкого радиального градиента концентрации ионов водорода и примыкала к плазмосфере с внешней стороны.

## **The contribution of bremsstrahlung effect to the ionization of the polar atmosphere during the relativistic electron precipitation**

K.S. Golubenko, I.A. Mironova

*Saint Petersburg University, Saint-Petersburg, Russia*

In this paper we consider the contribution of bremsstrahlung effect to the ionization of the polar atmosphere during the relativistic electron precipitation. For comparison of the obtained results, the ionization profiles prepared for CMIP 6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) are used. A one-dimensional chemical model of the atmosphere was used to verify the computed ionization and analysis of the chemical composition of the polar atmosphere. The results of our analysis show the importance of taking into account the relativistic electron precipitation and their bremsstrahlung effect for analyzing the properties of the middle atmosphere during the perturbed conditions of the magnetosphere and the solar wind.

## **Microclimatic variations of air temperature in the Spitsbergen archipelago**

B.V. Kozelov, V.I. Demin

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, e-mail: boris.kozelov@gmail.com*

Trial measurements of the spatial distribution of surface air temperature in the Spitsbergen archipelago in the city of Longyearbyen and in the vicinity of the village of Barentsburg were carried out in the conditions of the polar night from October 28 to November 3, 2017. The measured temperature varied from  $-1^{\circ}\text{C}$  to  $-8^{\circ}\text{C}$  in the absence or weak (less than 3 m/s) wind.

The main attention was paid to microclimatic variations of temperature under the influence of the relief forms and the proximity of the water area. A decrease in the air temperature in negative relief forms was detected, with the temperature variation near the surface greater than at some height above it. The effect of the open water surface on the thermal regime of the coastal territories turned out to be poorly expressed and, apparently, was blocked by orographic effects.

The possibility of revealing local variations in temperature in the central part of Longyearbyen and their possible causes was estimated from the data of route temperature measurements and images in the thermal (infrared) range.

## **Simultaneous monitoring of middle atmosphere ozone at Apatity and Peterhof in the winter 2017/2018**

Y.Y. Kulikov<sup>1</sup>, A.F. Andriyanov<sup>1</sup>, V.I. Demin<sup>2</sup>, A.S. Kirillov<sup>2</sup>, B.V. Kozelov<sup>2</sup>, S.I. Osipov<sup>3</sup>, A.V. Poberovsky<sup>3</sup>, V.G. Ryskin<sup>1</sup>, V.A. Shishaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>3</sup>*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

We present preliminary results of observations of the ozone emission line in winter 2017/2018 by method of microwave radiometry. Measurements of spectra of middle atmosphere ozone were executed with the help of two of mobile ozonemeters (observation frequency 110836.04 MHz). One spectrometer was installed at physical faculty in Peterhof (60N, 30E) in 28 km from the centre of Saint Petersburg [1]. Other spectrometer was installed at Polar Geophysical Institute in Apatity (67N, 33E). Both devices had identical techniques as measurement and an estimation of vertical structures of ozone. Results of joint ground-based measurements of middle atmosphere ozone content with the use microwave equipment are presented. The importance of similar observations in the studying of the influence of various disturbances on ozone layer is discussed. The comparative analysis of received results with satellite MLS/Aura data, and also with ozonesonde data at station Sodankyla (67N, 27E) and with model profiles are given.

The work was supported by the RFBR grant 15-05-04249.

I. Y.Y. Kulikov, S.I. Osipov, A.V. Poberovsky, V.G. Ryskin, V.A. Yushkov. Monitoring of variations of a middle atmosphere ozone in polar latitudes of Arctic during stratospheric warming in the winter 2016. XL Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena». Proceedings. 13-17 March 2017. P. 131-134, Apatity, 2017.

## **Influence of the solar activity on cave air temperature regimes**

P. Stoeva and A. Stoev

*Space Research and Technology Institute - BAS, Stara Zagora Department, Stara Zagora, Bulgaria,  
e-mail: penm@abv.bg, stoev52@abv.bg*

Caves and their evolution are influenced by solar activity as all the natural processes. The study of this influence needs constant monitoring of the air temperature and physical parameters of the cave – rock temperature, condense processes, heat exchange etc.

We discuss cave air temperature response to climate and solar and geomagnetic activity for four show caves in Bulgaria (latitude  $\varphi=42.50^\circ$ , longitude  $\lambda=25.30^\circ$ ) for a period of 46 years (1968 – 2013). Everyday noon measurements in Ledenika, Saeva dupka, Snezhanka and Uhlovitsa cave have been used.

Cave temperatures in the zone of constant temperatures (ZCT) are compared with surface temperatures recorded at meteorological stations situated near about the caves – in the towns of Vratsa, Lovech, Peshtera and Smolyan, respectively.

The Hansen cave, Middle cave and Timpanogos cave from the Timpanogos Cave National Monument, Utah, USA have also been examined for comparison (latitude  $\varphi=40.27^\circ$ , longitude  $\lambda=111.43^\circ$ ).

It has been found that the correlation between cave air temperature time series and sunspot number is better than that between the cave air temperature and  $A_{\text{max}}$  indices; that  $t^{\circ}_{\text{ZCT}}$  is rather connected with the first peak in geomagnetic activity, which is associated with transient solar activity (CMEs) than with the second one, which is higher and connected with the recurrent high speed streams from coronal holes.

Decreasing trends in the air temperatures of all examined show caves have been identified, except for the Ledenika cave, which is ice cave. The well known mechanism of cooling is clearly expressed – the dry surface air lowers the temperature of the cave air and the drier air evaporates water from the cave environment, which further cools the cave.

On the contrary, increasing trends in the air temperatures on the surface, measured at the meteorological stations near about the show caves in Bulgaria have been identified. The trend is decreasing for the Timpanogos cave system, USA.

It can be concluded that surface temperature trends depend on the climatic zone, in which the cave is situated, and there is no apparent relation between temperatures inside and outside the caves.

Our results can help in studying heat exchange between the surface and subsurface air and its influence on cave ecosystems.

## **Determination of the total ozone column with consideration of the cloud optical depth**

R. Werner<sup>1</sup>, B. Petkov<sup>2</sup>, D. Valev<sup>1</sup>, A. Atanassov<sup>1</sup>, V. Guineva<sup>1</sup>, A. Kirillov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Space Research and Technology Institute (SRTI) - BAS, Stara Zagora Department, Stara Zagora, Bulgaria*

<sup>2</sup>*Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC)- CNR, Bologna, Italy*

<sup>3</sup>*Polar Geophysical Institute (PGI) - RAS, Apatity, Russia*

Since the installation of a GUV-2511 instrument in February 2015 automatic measurements of the solar irradiances at wavelengths 305, 313, 320, 340, 380, 395 nm in the UV spectral range and the irradiance at the wavelength interval from 400 to 700 nm in the visible range have been carried out. The GUV instrument receives the irradiance from the sky. Therefore a simple calculation based on the Beer-Lambert Law is not applicable. So-called Lookup tables are prepared - for a multitude of ozone values irradiance ratios depending on different parameters as zenith angle and cloud optical depth were calculated previously using the Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) radiation transfer model. The total ozone column amount was retrieved by interpolation of the tables for real measured ratios of irradiances at 313nm, a wavelength with significant ozone absorption, and a second irradiance at 340 nm, which is insensitive against ozone absorption. For the estimation of the optical depth the ratio of the observed irradiance and the estimated irradiance for cloudless conditions at 380 nm is determined depending on the zenith angle. In addition

## *Low atmosphere, ozone*

a lookup table was previously calculated to obtain the actual optical depth in dependence from the zenith angle and the irradiance ratios at 380 nm. Ozone column data from OMI-instrument satellite Aura on the Earth Observing System were used for comparisons and to set the exact wavelength centre position for the 313 nm filter to minimise the ozone retrieval error for our algorithms. All observations from February 2015 up to January 2018 were included in the data processing. By regression of our ozone data against the OMI data, when ozone amounts were retrieved for the same days, the exact central wavelength for the 313 nm filter was determined.

## **Типы профилей возрастных гамма-фона при осадках и их связь с атмосферными явлениями**

Ю.В. Балабин

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

Мониторинг фонового гамма-излучения (20-400 кэВ) в приземной слое атмосферы, проводимый на станциях Апатиты и Баренцбург, показал наличие явления: возрастания потока гамма-излучения во время осадков. Возрастания происходят круглый год при осадках и достигают амплитуды 60 %, хотя в среднем возрастание составляет 20-30 %. В данной работе использованы результаты этого многолетнего мониторинга, дополненные данными о состоянии атмосферы и метеопараметров, полученных на метеостанциях. Анализ профилей возрастных гамма-фона при осадках был проведен с учетом состояния атмосферы и происходящих в ней метеоявлений: температуры, осадков, ветра, облачности, тумана и др. Профили возрастных также разделялись по форме; были выделены несколько типичных профилей (с крутым фронтом и медленным спадом, симметричные (треугольные), с плато). Поскольку стандартные метеонаблюдения проводятся с периодичностью 6 часов, то для коротких возрастных (2-5 часа) эти данные недостаточны. В то же время для возрастных длительностью от десяти часов они вполне подходят и позволяют выявить некоторые связи между ними. Также произведен критический анализ выявленных связей.

## **Возрастания гамма-фона при осадках: характеристики событий и их статистические особенности**

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

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

В результате многолетнего мониторинга на полярных станциях Апатиты и Баренцбург собрана уникальная и обширная база данных об уровне фонового гамма-излучения (20-400 кэВ) в приземной слое атмосферы за период 2009-2017 г. Она дополнена измерениями, проведенными на ряде среднеширотных станций в последние годы. Все измерения выполнены на однотипных детекторах, изготовленных в ПГИ. На всех станциях и на протяжении многих лет наблюдается явление, впервые обнаруженное авторами: возрастание гамма-фона при осадках. Причем, как установлено было дополнительными экспериментами, эти возрастания не связаны ни с радионуклидами в осадках, ни с увеличением концентрации радона в приземном слое воздуха. Они наблюдаются только в электромагнитной компоненте, возникающей в атмосфере от космических лучей. Комплексная обработка этих данных показала, что характеристики событий (такие как амплитуда, длительность, скорость нарастания и спада, полная энергия) имеют четкие различия по сезону на каждой станции. В то же время некоторые характеристики оказались мало зависящими от расположения станции (полярные или среднеширотные). Последнее говорит о том, что это явление (возрастание гамма-фона при осадках) обусловлено единым процессом в атмосфере.

## **Еще раз о сезонных вариациях мягкого гамма-излучения в нижней атмосфере**

Ю. Балабин<sup>1</sup>, А. Луковникова<sup>2</sup>, А. Торопов<sup>3</sup>, А. Германенко<sup>1</sup>, Б. Гвоздевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*Институт солнечно-земной физики, Иркутск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт космических исследований и аэронавтики, Якутск, Россия*

Наличие довольно длинного ряда наблюдений на двух станциях космических лучей (Апатиты и Баренцбург), а также появление новых точек наблюдений в других климатических зонах (Тикси, Якутск, Саяны, Ростов) вместе с новым подходом к сравнению данных от разных станций позволили получить новую информацию. Измерения выполняются однотипными детекторами, изготовленными в ПГИ, на основе кристалла NaI(Tl). Они имеют эффективный диапазон регистрации 20-400 кэВ и поставлены в режим мониторинга фонового гамма-излучения, приходящего из верхней полусферы из атмосферы. Уже известно, что сезонная вариация связана с наличием снежного покрова на земной поверхности. Представление профилей в абсолютных единицах (скорость счета в имп/мин) показало, что максимум потока, приходящийся на теплый бесснежный период, из года в год на станции держится на постоянном уровне, тогда как минимум, на каждой станции наступающий весной перед таянием снега, зависит от толщины накопившегося за зиму снега. Фаза роста от минимума к максимуму очень короткая и совпадает с периодом схода снежного покрова. Кроме того, в минимуме и на фазе роста отмечается значительное уменьшение событий возрастания гамма-излучения, связанных с осадками, хотя весной погода неустойчивая и с обильными осадками. Сезонная вариация на станции в Ростове-на-Дону отсутствует, как и постоянный снежный покров. Кроме того, в зимний период на всех станциях наблюдаются длительные (многие дни, до недели) вариации (до 10 %) с очень растянутыми фронтами, которые ни с какими атмосферными явлениями не удается связать.

## **Суточная вариация мягкого гамма-излучения в нижней атмосфере**

Ю.В. Балабин<sup>1</sup>, А.А. Торопов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований и аэронавтики, г. Якутск, Россия*

По данным многолетних наблюдений на ряде станций от Шпицбергена до Ростова в потоке мягкого фонового гамма-излучения (20-400 кэВ), приходящего из атмосферы, наблюдается суточная вариация. В спокойные дни она наблюдается отчетливо. Методом наложения эпох она была получена как среднее по сотни дневных профилей. Амплитуда суточной вариации составляет 2-4 %, различаясь от станции к станции. Фоновое гамма-излучение возникает в атмосфере как вторичное при взаимодействии космических лучей с атмосферой. Основной вклад вносят следующие процессы: распад короткоживущих частиц (различных мезонов), аннигиляция позитронов, тормозные процессы и Комpton-эффект. В результате этого в потоке фонового гамма-излучения могут присутствовать вариации, обусловленные как изменением первичного потока космических лучей, так и локальными процессами в атмосфере. Известно, что поток космических лучей имеет небольшую суточную вариацию (по данным нейтронных мониторов (НМ) ~1 %), однако, корреляция между суточной вариацией на НМ и на детекторе гамма-излучения отсутствует: в дни с хорошей суточной вариацией на НМ в гамма-излучении суточной вариации нет. Кроме того, не совпадают экстремумы суточных вариаций. Сделан вывод, что малые вариации космических лучей типа суточной не оказывают существенного влияния на мягкое фоновое гамма-излучения. В тоже время четкая суточная вариация потока гамма-излучения означает, что в атмосфере имеются процессы, влияющие на генерацию гамма-излучения. Рассмотрены несколько предположений о возможных причинах этих вариаций.

## **Микроклиматические вариации температуры воздуха в условиях слабовсхолмленного рельефа**

В.И. Демин<sup>1</sup>, Е.А. Заров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Апатиты

<sup>2</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Исследованы микроклиматические вариации температуры воздуха на территории полевой учебно-экспериментальной станции «Мухрино» (Югорский университет, Ханты-Мансийский АО). Обнаружено, что в условиях даже очень выровненного участка с относительными превышениями до 2 метров в приземном слое возникают холодные и теплые области с разностью температур между ними, достигающими в зимнее время 2-2.5°C.

## **О роли тепловой энергии в формировании острова тепла в г. Апатиты**

В.И. Демин<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, А.П. Собакин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Апатиты

<sup>2</sup>Апатитская ТЭЦ филиала "Кольский" ПАО "ТГК-1", г. Апатиты

Исследовано влияние энергии, затраченной на обогрев г. Апатиты, на тепловой режим приземного слоя воздуха. Показано, что возникновение положительной аномалии температуры воздуха внутри городской застройки по сравнению с пригородами, достигающей зимой 16°C, определяется метеорологическими процессами и не зависит от объема потребленной городом тепловой энергии.

## **Применение математической модели для исследования влияния рельефа Земли на глобальную циркуляцию ее средней атмосферы**

И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, В.С. Мингалев

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия*

Разработанная ранее в Полярном геофизическом институте математическая модель трехмерной системы нейтрального ветра в нижней и средней атмосфере Земли была усовершенствована за счет учета рельефа поверхности планеты и была применена для исследования влияния рельефа планеты на формирование глобальной циркуляции земной атмосферы. Эта модель основана на численном решении системы нестационарных трехмерных уравнений переноса, включающей в себя уравнения Навье-Стокса для сжимаемого вязкого газа, а также уравнений неразрывности и теплопроводности для него. Модель позволяет рассчитывать трехмерные глобальные распределения зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости нейтрального ветра, температуры и плотности воздуха на уровнях тропосферы, стратосферы, мезосферы и нижней термосферы Земли. В модели вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной составляющей скорости без пренебрежения какими-либо членами. При этом все три компоненты скорости рассчитываются при помощи численного решения полных уравнений движения вязкого сжимаемого газа, и уравнение гидростатики не применяется, таким образом, математическая модель является негидростатической.

Были выполнены расчеты планетарной системы нейтрального ветра в земной атмосфере в январских условиях при помощи двух вариантов этой модели, в первом из которых поверхность Земли считается гладкой, а во втором усовершенствованном варианте модели учитывается рельеф земной поверхности. Результаты моделирования показали, что рельеф планеты должен оказывать заметное влияние на глобальные распределения скорости горизонтального ветра в атмосфере Земли не только в прилегающей к земной поверхности тропосфере, но и на вышележащих уровнях стратосферы и мезосферы.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-01-00100.

## **Газодинамическая модель общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли с высоким пространственным разрешением**

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

*ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, e-mail: mingalev\_i@pgia.ru*

В данной работе изложено краткое описание модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли, предназначенной для изучения динамики атмосферы в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Модель основана на численном интегрировании полной системы уравнений динамики вязкого атмосферного газа на пространственной сетке с высоким разрешением. В модели учитываются рельеф земной поверхности и наличие в атмосфере аэрозолей в виде микрокапель воды и ледяных микрочастиц, а также фазовые переходы водяного пара в аэрозольные частицы и обратно. В модели предусмотрена вставка области со сверхвысоким разрешением, в которой шаг сетки по горизонтальным направлениям в 4, в 8 или в 16 раз меньше, чем в остальной области моделирования. Важная особенность нашей модели состоит в том, что ее динамическое ядро полностью работает на графических процессорах и использует массивно параллельные вычисления. Это позволяет проводить расчеты на современном персональном компьютере с двумя или более графическими ускорителями последнего поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.

## **Параметризации оптических параметров в дальнем и среднем ИК диапазонах в нижней и средней атмосфере Земли**

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

*Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты*

В данной работе представлено новое семейство параметризаций молекулярного поглощения в атмосфере Земли в частотном диапазоне  $10\text{-}2000\text{ см}^{-1}$  в интервале высот от поверхности Земли до 75 км. Проведено сравнение результатов расчетов поля собственного излучения атмосферы Земли, с использованием этих параметризаций с результатами эталонных расчетов (Line-by-Line). Рассмотрены как случай безоблачной атмосферы, так и случаи наличия облачных слоев нижнего, среднего и верхнего ярусов, обладающих большой оптической толщиной. Эталонные расчеты выполнены с разрешением по частоте излучения  $0.001\text{ см}^{-1}$ . При расчетах использовалось приближение горизонтальной однородной атмосферы и учитывалось молекулярное рассеяние. Для численного решения 1-мерного по пространству уравнения переноса излучения использовался новый вариант 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. Обсуждается точность представленных параметризаций, а также влияние облачных слоев на поле собственного излучения в нижней и средней атмосфере. Результаты расчетов показали, что в спектральном интервале  $10\text{-}2000\text{ см}^{-1}$  в диапазоне высот от 0 до 70 км с помощью параметризации, содержащей несколько сотен модельных каналов, можно добиться точности в расчетах скоростей нагрева-выхолаживания атмосферного газа лучше  $0.5\text{ К/сутки}$ . Для достижения точности лучше  $0.2\text{ К/сутки}$  высота, на которой производится объединение узких спектральных каналов в широкие модельные каналы, должна находиться в пределах 40-45 км. Также результаты расчетов показали, что увеличение числа модельных каналов не всегда сопровождается повышением точности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00100.



## **Footprints of volcanic activity in polar tree rings**

E.A. Kasatkina<sup>1</sup>, O.I. Shumilov<sup>1</sup>, M. Timonen<sup>2</sup> and A.G. Kanatjev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Natural resources Institute Finland (LUKE), Rovaniemi, Finland*

Volcanic activity is considered to be one of the most important factors of climate variability throughout the Holocene prior the industrial period. Volcanic eruptions emit huge amounts of volcanic dust, sulfur dioxide and water vapor into the atmosphere, which, through the formation of an aerosol layer, can change the radiation balance of the atmosphere, thus impacting climate. Sulfate aerosols that enter the stratosphere after powerful volcanic eruptions exist there for several years. The aim of this study is to verify a hypothesis concerning the possible climatic response in polar region (Kola Peninsula and Finnish Lapland) to the most powerful volcanic eruptions (VEI>4) during the last millennium. The analysis was based on the Kola (1445-2005) and Finnish supra-long (~ 7500 years) tree-ring chronologies. These chronologies were developed from *Pinus sylvestris* L. (scots pine) samples collected near the northern tree line at Loparskaya station (68.6 N, 33.3 E) and Finnish Lapland (68-70 N, 20-30 E), respectively. It was shown that sometimes volcanic eruptions may mask or enhance the action of solar activity, depending on the time of the event. The 1815 eruption of Tambora in Indonesia (VEI>7), which was the most powerful over the study period, occurred during the Dalton minimum of solar activity and seemed to intensify the regional climatic response. A superposed epoch analysis indicated a significant decrease in polar tree-ring growth over 7 years after the eruptions with subsequent recovery to its normal level. Our results showed that the most powerful eruptions of low-latitude volcanoes lead to a tree growth depression above the Arctic Circle. For example, the 1600 Huaynaputina eruption (VEI=6), which was the largest volcanic eruption in South America over the past 2000 years, caused the most significant (by 25% relative to the previous year) depression in tree growth. By contrast, eruptions of high-latitude Icelandic volcanoes (Katla (1721, 1755); Laki (1783); Askja (1875)) had no significant impact on the climate of Kola Peninsula and Finnish Lapland. Possible reasons for the lack of a regional response to the eruptions of Icelandic volcanoes were considered. The results open new possibilities of using polar tree-ring widths as indicators of volcanic activity above the Arctic Circle.

## **The advanced vascular plant reactions on the large-scale Earth directed Solar CMEs**

P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva, E.Y. Zhurina

*Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of RAS, Apatity, Russia*

To detect the fine plausible responses of terrestrial biota on either global climatic changes or on the space physical events the long-term monitoring of terrestrial biota at various latitudes is of actual significance scientific task. We carry out the regular observations upon vascular plants physiological activity since 2014 yr in terms of Pulse Amplitude Modulated (PAM) chlorophyll fluorescence measurements. The non invasive optical methods allow one to control daily state of the plants organisms *in situ* and their current reactions on the environment. In July of 2016 yr the abrupt fall of *Betula* and *Salix* indicators trees foliage variable fluorescence was detected after large CMEs and three days before the follow Earth's Magnetosphere disturbance. In 2017 yr a number of explicit plant responses on splashes of solar activity were detected which were preceded the solar events in terms of W numbers and visible Sunspot Area and F<sub>10.7</sub> cm wave emission. The advanced plant reactions with two temporal gap classes: shot-term (2-3 days) and long-term (6-8 days) were registered. The reactions appeared as sharp sudden changes in chlorophyll fluorescence daily run and were detected among both indoor decorative and wild outdoor species. Those responses seem as an early physiological prediction on follow consequence of the solar and geophysical events and plausibly may be treated as a Velkhover – Chizhevsky effect in relation to vascular flora objects. The effect was discovered in 20-30-s of 20<sup>th</sup> century among some corynebacteria strains and widely known since 1967.

## Dendrochronological dating of Russian Pomor stations at South Spitsbergen

O.I. Shumilov<sup>1</sup>, M. Krapiec<sup>2</sup>, E.A. Kasatkina<sup>1</sup>, J. Chochorowski<sup>3</sup> and A.G. Kanatjev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, AGH – University of Science and Technology, Krakow, Poland*

<sup>3</sup>*Institute of Archaeology, Jagiellonian University, Krakow, Poland*

The matter of the discovery of Spitsbergen archipelago by the Russian Pomors before Willem Barents (1596) remains controversial and needs reinforcement with new data. The results of the dendrochronological analysis of the three Russian hunting stations at South Spitsbergen (Bjornbeinfløyene, Palffyodden, and Schonningholmane) are presented. These stations were discovered during excavations conducted by the Polish archaeological expedition of Jagiellonian University in the Sorkapland and Hornsund fjord regions of Spitsbergen. Traditionally, the Pomor hunting huts were mostly prefabricated and brought from the mainland, and only the oldest ones were built of driftwood timber. Wood samples found during excavations are fragments of wood dwellings, monumental crosses, and a shipwreck. Measurements of annual growth widths were made and analyzed with help of radiocarbon dating and wiggle-matching method at the University of Science and Technology and the Laboratory of Absolute Dating (Krakow, Poland). Here we present the results of dendrochronological dating of some floating chronologies. In total, 8 samples of larch (3 pieces) and pine (5 pieces) were examined. These samples are constructional elements of dwellings, appearing to be prefabricates brought from the continent. To obtain absolute dates, these floating chronologies were cross-dated against more than 200 master tree-ring chronologies from Siberia, Komi, Archangelsk region, Karelia, Kola Peninsula, and Northern Fennoscandia, including our own data. Cross-dating was performed by CORINA software which includes  $t$ -values calculated with different detrending options. Samples from two stations (Bjornbeinfløyene and Schonningholmane) were successfully dendro-dated with the existing master tree-ring chronologies. The dendro-dating obtained for the wood samples from these two stations were established as AD 1759-1812 ( $t=5.7$ ; pine, Archangelsk region) and AD 1698-1776 ( $t=4.6$ ; larch, Yamal Peninsula) respectively. The first dating does not contradict the results of radiocarbon and archaeological dating. The discovery of some relics in Bjornbeinfløyene (kaolinite pipe) helped determine 1770-1810 as the time period when the hut was used. In other cases, additional information is required. Nevertheless, the second dating is consistent with the fact that since the XV century, the Pomors regularly went on their ships from Arkhangelsk to the Yamal Peninsula and the Gulf of Ob where they founded the town of Mangazeya. This route, known as the Mangazeya seaway, was an early precursor to the Northern Sea Route. Our results confirmed the radiocarbon wiggle-matching dating of Russian hunting stations at South Spitsbergen.

## Biological effects of natural geomagnetic disturbances. A review of possible physical mechanisms

N.V. Yagova and E.N. Fedorov

*IPE RAS*

The main problem in the total problem of biological effects of natural geomagnetic disturbances is a deficit which reaches 5-7 orders of magnitude between modelled current and fields in biological media by slow and weak fields caused by geomagnetic disturbances, including the most severe storms, and reported correlations between biological objects and geomagnetic disturbances. Several mechanisms, such as super-paramagnetic properties of specific proteins, can partly compensate this deficit. This allows to discriminate between studies, based on false correlations, and the effects, which may be related to geomagnetic disturbances. In the present review, we give a summary of biological phenomena related to magnetic field variations of “geophysical” amplitudes and frequencies. We attempt to classify reported biological studies in accordance with possible physical mechanisms.

## **Количественная оценка двигательной активности серых тюленей при воздействии на них низкочастотных электромагнитных полей**

В.Ф. Григорьев, А.П. Яковлев

<sup>1</sup>*Полярный геофизический институт РАН, г. Мурманск*

<sup>2</sup>*Мурманский морской биологический институт, г. Мурманск*

В настоящее время имеется достаточно сведений о том, что слабые комбинированные (переменные и постоянные) магнитные поля с амплитудой, близкой к магнитному полю Земли, способны вызывать изменения в метаболизме самых различных живых организмов – от человека до микроорганизмов. В современном мире, изобилующем бытовыми электрическими приборами, являющимися источниками электромагнитного поля, актуальность исследования механизмов действия таких полей не вызывает сомнения.

Совокупность современных данных магнитобиологии позволяет говорить о том, что биологическое действие весьма слабых переменных магнитных полей, связанных с геомагнитной активностью, является реальностью. Геомагнитные возмущения могут вызывать в организме животных неспецифическую реакцию по типу общего адаптационного синдрома, возникающего под действием любых внешних факторов стресса. Возможно развитие и специфических реакций.

Авторами было показано, что экспозиция серых тюленей в электромагнитном поле с частотами от 0,01 Гц до 36 Гц на протяжении различных промежутков времени (от 20 минут до 8 часов) вызывает изменения активности животных как в сторону угнетения, так и в сторону возбуждения. Данные эффекты зависят от времени экспозиции и частоты ЭМП [1,2]. В данной работе мы показали, как изменяется, так называемый «индекс активности» животных – математическое отношение проявления активности к числу регистрации отсутствия двигательной активности, при воздействии на серых тюленей электромагнитного поля с частотой 8 Гц, при экспериментах с «мнимым воздействием» и при фоновых наблюдениях.

1. Яковлев А.П., Михайлюк А.Л., Григорьев В.Ф. Оценка изменений параметров поведения серого тюленя при воздействии на него электромагнитных полей экстремально низких частот в диапазоне 0,01–36 Гц // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1/2. С. 345–352.
2. Яковлев А.П., Григорьев В.Ф. Изменение двигательной активности серого тюленя при воздействии на него магнитного поля частотой 2, 18 и 36 Гц в течение 1–4 часов // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 2. С. 503-510.

## AUTHOR INDEX

### A

Abunin A.A. ....	43, 45
Abunina M.A. ....	43
Adeniyi J.O. ....	46
Akhmetov O.I. ....	58
Alexeev I.I. ....	24
Amelyushkin A.M. ....	29
Anashin V.S. ....	38
Andreeva E.S. ....	46, 52
Andriyanov A.F. ....	66
Antonenko O.V. ....	46
Antonova E.E. ....	19, 28
Apatenkov S.V. ....	23
Artemyev A.V. ....	26, 27, 28, 43
Astafiev A.M. ....	47
Atanassov A. ....	67

### B

Baishev D.G. ....	23
Balabin Yu. V. ....	44, 45, 68, 69
Balykina N. V. ....	38
Barkhatov N.A. ....	20, 44, 58
Barkhatova O.M. ....	58
Bazilevskaya G.A. ....	24, 39
Belakhovsky V.B. ....	17, 47
Belenkaya E.S. ....	24
Belov A. V. ....	38, 43
Benghin V. V. ....	29
Bessarab P.F. ....	54
Bezrukih V. V. ....	65
Blagoveshchenskaya N.F. ....	53
Blagoveshchensky D.V. ....	60
Boldar A.Y. ....	23
Bondar E.D. ....	51
Borisenko A.V. ....	38
Borodkova N.L. ....	22, 41

### C

Chang L.C. ....	49
Cherniakov S.M. ....	18, 48, 52
Chernouss S.A. ....	48, 56
Chiu Y.C. ....	49
Chochorowski J. ....	73
Chugunin D.V. ....	50

### D

Danilova O.A. ....	38
Dashkevich Z.V. ....	53, 60
Demekhov A.G. ....	31, 36, 37
Demin V.I. ....	66, 70

Denisova V.I. ....	38
Despirak I.V. ....	13, 15, 52
Divin A.V. ....	32, 34
Dmitriev A.V. ....	52
Dmitrieva N.P. ....	13
Dremukhina L.A. ....	14
Duann Y. ....	49
Dyatko N.A. ....	64

### E

Efishov I.I. ....	48, 56
Eroshenko E.A. ....	38, 43
Evdokimova M.A. ....	14

### F

Fedorenko Yu.V. ....	33, 53, 58
Fedorov E.N. ....	19, 32, 56, 73
Fedotova E.A. ....	71
Feygin F.Z. ....	32
Filatov M. ....	48
Frank-Kamenetsky A.V. ....	64

### G

Gaidash S.P. ....	43
Galkin S.O. ....	64
Garbatsevich V.A. ....	64
Germanenko A.V. ....	44, 45, 68, 69
Glavatskij Yu.A. ....	20
Golikov I.A. ....	57
Gololobov A.Yu. ....	57
Golovchanskaya I.V. ....	16
Golubenko K.S. ....	66
Gomonov A.D. ....	48, 49
Gordeev E.I. ....	18, 23, 26
Grigor'ev V.F. ....	74
Gromov S.V. ....	14
Gromova L.I. ....	14
Guinea V. ....	15, 51, 67
Gulevich O.A. ....	59
Gushchina R.T. ....	38, 43
Gvozdevsky B.B. ....	24, 38, 43, 44, 68, 69

### H

Han D. ....	15
-------------	----

### I

Ievenko I.B. ....	23, 65
Iluore K. ....	50
Ismagilov V.S. ....	35
Ivanov I.I. ....	64

Ivanov V.E. ....	53, 60
Ivanova V.A. ....	50

## J

Jin Y. ....	47
Joshua B.W. ....	46

## K

Kalacheva N.V. ....	72
Kalinin M.S. ....	39
Kanatjev A.G. ....	72, 73
Kaptyug A.A. ....	64
Karpachev A.T. ....	64
Karpov M.I. ....	58
Kasatkina E.A. ....	72, 73
Kashulin P.A. ....	72
Kazaryan P.S. ....	28
Khabarova O.V. ....	16
Khabazin Yu.G. ....	32
Khalipov V.L. ....	50, 51, 57, 65
Khomutov S.Yu. ....	22
Kirillov A.S. ....	46, 51, 66, 67
Kirpichev I.P. ....	28
Kleimenova N.G. ....	13, 14, 32, 34
Klimenko M.V. ....	52, 54, 60, 62
Klimenko V.V. ....	52, 60, 62
Knyazeva M.A. ....	55, 58
Kobelev P.G. ....	45
Kogai T.G. ....	16
Koltunen L.M. ....	56
Kopytenko Yu.A. ....	35
Kornilova T.A. ....	16
Kosolapenko V.I. ....	22
Kosolapova N.V. ....	58
Kotova D.S. ....	60
Kotova G.A. ....	50, 51
Kozelov B.V. ....	16, 52, 53, 66, 70
Kozelova T.V. ....	16
Kozyreva O.V. ....	24
Kraïnev M.B. ....	24, 39
Krapiec M. ....	73
Kulikov Y.Y. ....	66
Kulikov Yu.N. ....	46
Kurbatov G.A. ....	54
Kusin S. ....	39
Kyuregyan A.S. ....	59

## L

Larchenko A.V. ....	37, 53
Lavrukhin A.S. ....	24, 25
Lebed O.M. ....	33, 53
Lodkina I.G. ....	14
Lubchich A.A. ....	13, 15, 35, 36, 37
Lubchich V.A. ....	25
Lukianova R.Yu. ....	52
Lukin A.S. ....	26

Lukovnikova A. ....	69
Lyakhov A.N. ....	62

## M

Malova H.V. ....	20, 30
Malysheva L.M. ....	32
Manninen J. ....	37
Martines-Bedenko V.A. ....	61
Marzouk B. ....	39
Maurchev E.A. ....	43, 44, 45, 68
Mazur N.G. ....	32
Medvedeva I.V. ....	49
Melnik M.N. ....	20, 30
Merkin V.G. ....	26
Merzlyi A.M. ....	59, 61, 62
Mihalko E.A. ....	44, 45, 68
Miloch W.J. ....	47
Mingalev I.V. ....	20, 30, 58, 61, 62, 70, 71
Mingalev O.V. ....	20, 30, 58, 61, 62
Mingalev V.S. ....	61, 62, 70, 71
Mironova I.A. ....	66
Mit' S.K. ....	28
Murr D.L. ....	55

## N

Namgaladze A.A. ....	58
Naumenko A.A. ....	50
Nazarenko M.O. ....	46
Nechaev O.Yu. ....	29
Nesterov I.A. ....	46
Nikiforov O.V. ....	18, 21
Nikishov V.V. ....	61
Nikitenko A.S. ....	33
Nikolashkin S.V. ....	48
Nosikov I.A. ....	54
Nosikova N.S. ....	19, 56

## O

Okeke F.N. ....	50
Oleneva V.A. ....	43
Orlov K.G. ....	70, 71
Osipenkova E.V. ....	63
Osipov S.I. ....	66
Ovchinnikov I.L. ....	28

## P

Padokhin A.M. ....	46, 54
Panasyuk M.I. ....	29
Panchenko V.A. ....	62
Parfenov S.A. ....	58
Parkhimovich E.V. ....	55
Parkhomov V.A. ....	22
Parnikov S.G. ....	23
Pashinin A.Yu. ....	22

Pasmanik D.L. ....	37
Pertsov A. ....	39
Petkov B. ....	67
Petlenko A.V. ....	35
Petrishev M.S. ....	35
Petrov V.L. ....	29
Petrukovich A.A. ....	14, 18, 21, 26, 27, 28
Pilgaev S.V. ....	53
Pilipenko V.A. ....	17, 24, 32, 55, 56, 61
Poberovsky A.V. ....	66
Podgorny I.M. ....	40
Podgorny A.I. ....	40
Podladchikova T. ....	18
Podlesnyi A.V. ....	50
Polekh N. ....	57
Popova T.A. ....	33, 36
Priyadarshi S. ....	55
Prokhorov B.E. ....	58
Pronin V.E. ....	55
Protopopov G.A. ....	38
Pryamushkina I.I. ....	43
Pulinets M.S. ....	28

## R

Raita T. ....	22
Rakhmanova L.S. ....	41
Rakhmatulin R.A. ....	48
Ratovsky K.G. ....	49, 52, 57
Remenets G.F. ....	42, 47
Repin A.U. ....	38
Revunov S.E. ....	20
Revunova E.A. ....	44
Reznikov A.E. ....	59
Riazantseva M.O. ....	41
Rogov D.D. ....	64
Roldugin A.V. ....	17, 18
Roldugin V.C. ....	17, 18
Romanov R.V. ....	44
Romanova N.Yu. ....	62, 63
Romanovskaya Yu.V. ....	55
Rozhdestvenskaya V.I. ....	62, 63
Rozhdestvenskii D.B. ....	62
Rybakov M.V. ....	58
Ryskin V.G. ....	66

## S

Safargaleev V.V. ....	36
Sakharov Ya.A. ....	17, 22
Sakhterov V.I. ....	59
Salimov B.G. ....	50
Sapunova O.V. ....	41
Schekotov A.Yu. ....	56
Schur L.I. ....	68
Selivanov V.N. ....	17
Semeida M. ....	39
Semenov V.S. ....	32, 34
Semenova N.V. ....	27, 31

Sergeev V.A. ....	18, 23, 26
Sergushin P.A. ....	35
Setsko P.V. ....	20, 30
Shagimuratov I.I. ....	48, 56
Shapovalova Yu.A. ....	49
Shi J.K. ....	57
Shishaev V.A. ....	42, 66
Shukhtina M.A. ....	13, 18
Shumilov O.I. ....	72, 73
Shustov P.I. ....	27
Sidorenko A.E. ....	25
Sitnov M.I. ....	26
Sobakin A.P. ....	70
Soloviev A.A. ....	24
Somina E.R. ....	54
Sotnikov N.V. ....	28
Stepanov A.E. ....	50, 51, 57, 65
Stepanova M.V. ....	28
Stoev A. ....	39, 67
Stoeva P. ....	39, 67
Suhovey M.I. ....	42
Suvorova A.V. ....	52
Suvorova Z.V. ....	58, 61
Svirzhevskaya A.K. ....	39
Svirzhevsky N.S. ....	39

## T

Telegin V.A. ....	62, 63, 64
Tereshchenko E.D. ....	46, 52
Tereshchenko P.E. ....	36
Tereshin N.A. ....	54
Tikhonov V.V. ....	59, 61, 62
Timonen M. ....	72
Titova E.E. ....	37
Toropov A.A. ....	69
Trekin V.V. ....	62
Tsegmed B. ....	22
Tsurgaev A.V. ....	38
Turyansky V.A. ....	48
Tyutin I.V. ....	25

## U

Uliev V.A. ....	64
Uvarov I.A. ....	18, 21

## V

Valev D. ....	67
Vasiliev R.V. ....	52
Vasko I.Y. ....	26, 43
Verigin M.I. ....	41, 50
Vesnin A.M. ....	52
Vinogradov A.A. ....	43
Volkomirskaya L.B. ....	59
Volkov M.A. ....	28
Vorobjev V.G. ....	18, 19, 20, 44, 58, 63
Vovchenko V.V. ....	28

**W**

Wang G.J.....	57
Wang X.....	57
Wang Y.....	55
Wang Z.....	57
Werner R.....	15, 51, 67

**Y**

Yagodkina O.I.....	18, 19, 20, 63
Yagova N.V.....	19, 32, 56, 73
Yahnin A.G.....	13, 22, 27, 31, 33
Yahnina T.A.....	27, 31, 33
Yakimova G.A.....	56
Yakovlev A.P.....	74
Yanke V.G.....	38, 43
Yashin I.V.....	29
Yasyukevich A.S.....	54
Yasyukevich Yu.V.....	54

Yermolaev Yu.I.....	14, 41
Yushkov E.V.....	26, 27, 28, 43

**Z**

Zaitsev I.V.....	32, 34
Zakharenkova I.E.....	52
Zakharov V.E.....	60
Zakharov V.I.....	55, 61
Zarov E.A.....	70
Zastenker G.N.....	41
Zelenyi L.M.....	20, 30
Zhang Q.-H.....	55
Zhbankov G.A.....	54
Zherebtsov G.....	57
Zhurina E.Y.....	72
Znatkova S.S.....	28
Zolotarev I.A.....	29
Zolotov O.V.....	55, 57, 58
Zverev V.L.....	19

ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
183010, г. Мурманск, ул. Халтурина, 15

---

POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE  
15, Khakurina str., Murmansk, 183010, RUSSIA

