

*Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation*

Polar Geophysical Institute

PGI-23-01-143

PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

46th Annual Seminar

Abstracts

13 – 17 March 2023

Apatity
2023

The organizing committee:

Andrey Demekhov (chair)

Andris Lubchich

Irina Despirak

Boris Gvozdevsky

Konstantin Orlov

Tatyana Popova

Pavel Setsko

Addresses:

Apatity department

Akademgorodok, 26a

Apatity, 184209

Murmansk region

Russia

Murmansk department

Khalturina str., 15

Murmansk, 183010

Russia

The editor:

A.A. Lubchich

<http://pgia.ru/seminar>

© Polar Geophysical Institute, 2023

CONTENTS

SESSION 1. GEOMAGNETIC STORMS AND SUBSTORMS

E.E. Antonova, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, N.V. Sotnikov, I.P. Kirpichev, I.L. Ovchinnikov, D.Yu. Naiko, M.S. Pulinets, M.V. Stepanova, V. Pinto, A. Inostroza	Magnetospheric substorms and relativistic electrons	15
I.V. Despirak, N.G. Kleimenova, L.M. Malysheva, L.I. Gromova, A.A. Lubchich, A.V. Roldugin	Features of substorms on a compressed auroral oval	15
L.I. Gromova, N.G. Kleimenova, I.V. Despirak, S.V. Gromov, L.M. Malysheva, A.A. Lubchich	Substorms and changes in the solar wind dynamic pressure: Case study 3 November 2021	16
V. Guineva, R. Werner, R. Bojilova, L. Raykova, A. Atanassov, D. Valev	Spatial distribution of the midlatitude positive bays and the Y magnetic component disturbances over Europe during substorms: Case study	16
N.G. Kleimenova, I.V. Despirak, L.M. Malysheva, L.I. Gromova, A.A. Lubchich, S.V. Gromov	“Polar” substorms and the Harang discontinuity	17
D. Lissa, K. Venkatesh, D.S.V.V.D. Prasad, K. Niranjana	Distinct ionospheric response to three different geomagnetic storms during 2016 using GPS-TEC observations over the Indian equatorial and low latitude sectors	17
G.A. Makarov	The dependences of the geomagnetic indices ASY-H and SYM-H on interplanetary parameters	18
V.V. Mishin, Yu.A. Karavaev, M.A. Kurikalova, V.E. Kapustin	Dynamics of distribution of field-aligned currents in the ionosphere of two hemispheres during pre-storm intervals in the equinox season	18
V.V. Mishin, R.A. Marchuk, Yu.Yu. Klibanova, A.V. Mikhalev, Yu.V. Penskiikh	Dynamics of field-aligned currents, broadband pulsations, and night airglow at middle latitudes during sawtooth events	18
I.N. Myagkova, I.M. Gadzhiev, O.G. Barinov, R.D. Vladimirov, V.R. Shirokiy, S.A. Dolenko	Classification and prediction of geomagnetic storms using machine learning methods	19
S.G. Parnikov, I.B. Ievenko	Occurrence of the STEVE subauroral luminosity during a substorm. Case study	20
K.G. Ratovsky, M.V. Klimenko, A.M. Vesnin, K.V. Belyuchenko, Y.V. Yasyukevich	Comparative analysis of statistical characteristics of magnetic storms identified by various indices	20

I.I. Shagimuratov, I.I. Efishov, M.V. Klimenko, M.V. Filatov, N.Yu. Tepenitsyna, G.A. Yakimova	Occurrence SED/TOI structures in the ionospheric TEC observations during storms: Case studies	21
I.I. Shagimuratov, M.V. Filatov, N.Yu. Tepenitsyna, G.A. Yakimova, I.I. Efishov	Occurrence of TEC fluctuations and GPS positioning errors over Europe during November 2021 storm	21
V.N. Selivanov, T.V. Aksenovich, V.A. Bilin, V.V. Kolobov, Ya.A. Sakharov	Registration of geoinduced currents in overhead transmission lines by the differential method	22
P.V. Setsko, I.V. Despirak, Ya.A. Sakharov, V.A. Bilin, A.A. Lubchich, V.N. Selivanov	Geomagnetically induced currents during two moderate magnetic storms in September 2017	22
P. Srivastava, A.K. Singh	A comparative analysis of major SEPs associated with SXR and GLE events during Solar cycle 23 and 24 for low energy channel ($E > 10$ MeV)	23
A.V. Vorobev, V.A. Pilipenko, A.A. Soloviev, G.R. Vorobeva, V.B. Belakhovsky, A.V. Roldugin, S.V. Pilgaev	Local diagnostics of auroras based on intelligent processing of geomagnetic data	23
R. Werner, V. Guineva, I.V. Despirak, A.A. Lyubchich, R. Bojilova, L. Raykova, A. Atanassov, D. Valev	Statistical study of geomagnetic disturbances in the European sector at the auroral and high latitudes	24
S. Yadav, A.K. Singh	Correlative study of solar transients parameters associated with Dst index for solar cycle 23 and 24	24
I.A. Zolotarev, V.V. Benghin, B.Yu. Yushkov, G.I. Antonyuk, I.V. Yashin, O.Yu. Nechaev	Enhancements in relativistic electron fluxes in auroral regions according to the data of the DEPRON instrument	25
Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, О.И. Ягодкина	Классификация изолированных суббурь при учете условий генерации и характеристик фаз	25
В.Б. Белаховский, В.А. Пилипенко, Я.А. Сахаров, В.Н. Селиванов	События экстремального роста геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач на Кольском полуострове и в Карелии за 11 лет наблюдений	26
О.В. Мингалев, В.М. Митрофанов, Т.Г. Когай, О.В. Хабарова, А.М. Мерзлый	Каталог геомагнитных событий с 2013 года	27
О.В. Мингалев, П.В. Сецко, М.Н. Мельник, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.М. Мерзлый, Л.М. Зелёный	Нарушение замагниченности электронов в ионном тонком токовом слое ближнего хвоста магнитосферы Земли	27

Я.А. Сахаров, В.А. Билин, В.Н. Селиванов, Т.В. Аксенович, Н.В. Ягова	Низкочастотные пульсации в геоиндуцированных токах	28
В.Н. Селиванов, Т.В. Аксенович, Я.А. Сахаров, В.А. Билин, А.М. Мёрзлый, С.А. Золотой	Функция отклика ЛЭП «Карельский транзит» на однородное геоэлектрическое поле	28

SESSION 2. FIELDS, CURRENTS, PARTICLES IN THE MAGNETOSPHERE

G. Behailu, M. Nigusie, G.D. Reeves	Energetic electrons flux variations for strong geomagnetic storms in the period from 2013 to 2018	29
A.V. Divin, J. Deca, I.P. Paramonik, D. Zhong, M.S. Rumenskikh, A.A. Chibrarov, A.G. Berezutsky, Yu.P. Zakharov, I.F. Shaikhislamov	Analysis of reflected ions in quadrupolar minimagnetosphere by means of Particle-in-Cell simulations and KI-1 experiment	29
D.V. Grankin, I.A. Mironova, G.A. Bazilevskaya	Study of the relation between energetic particle precipitation and geomagnetic disturbance indices	30
I.B. Ievenko, S.G. Parnikov	Comparison of the aurorae and SAR arc dynamics with the energetic particle fluxes in plasmopause vicinity based on measurements aboard the Van Allen probe. Case Study	30
I.P. Kirpichev, E.E. Antonova	Formation of plateau regions in the magnetospheric plasma pressure distribution and large-scale field-aligned currents	31
D.Yu. Naiko, I.L. Ovchinnikov, E.E. Antonova	Spatial distribution of the turbulent diffusion coefficient in the plasma sheet of the Earth's magnetotail and its dependence on the interplanetary magnetic field and geomagnetic activity by MMS data	31
J.A. Ochoa, B.S. Zossi, A.G. Elias	Auroral oval long-term changes linked to secular variations in Earth's magnetic field and geomagnetic activity	32
I.L. Ovchinnikova, D.Yu. Naiko, E.E. Antonova	Spectra of fluctuations of electric and magnetic fields in the plasma sheet of the Earth's magnetotail by MMS data	32
I.P. Paramonik, A.V. Divin, A.A. Chibrarov, I.V. Zaitsev, M.S. Rumenskikh, I.F. Shaikhislamov, V.S. Semenov	How the PIC-simulation complements experiments with laser plasma at the KI-1 facility for studying diamagnetic cavities	33
P.I. Shustov, M.E. Gedalin, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Shock wave magnetic field jumps statistics	33
V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, E.E. Antonova	Simultaneous ground-based and DMSP F16 spacecraft observations of the dayside polar cusp under northward IMF: case study	34
А.А. Любчик, Т.А. Яхнина, А.Г. Демехов, Т.А. Попова	Асимметрия магнитного поля Земли в двух полушариях	34

А.В. Тертышников	Способы зондирования аврорального овала с использованием КА	35
В.М. Уваров	Основные результаты численного моделирования глобального распределения электрических полей в ионосфере Земли с учетом специфики электродинамического взаимодействия ионосфер противоположных полушарий	35
В. Халипов, Д. Сайбек, Г. Котова, А. Степанов, А. Леонович	Исследования субавроральной ионосферы с помощью геофизических спутников и методом коротковолновой радиолокации	36
А.А. Чибранов, А.Г. Березуцкий, Ю.П. Захаров, И.Б. Мирошниченко, В.Г. Посух, М.С. Руменских, П.А. Трушин, И.Ф. Шайхисламов	Исследование Холловских магнитных полей при разлете сферического облака лазерной плазмы во внешнее магнитное поле в лабораторном эксперименте	37

SESSION 3. WAVES, WAVE-PARTICLE INTERACTION

N.A. Aidakina, V.I. Gundorin, M.E. Gushchin, I.Yu. Zudin, A.N. Katkov, S.V. Korobkov, V.V. Kochedykov, K.N. Loskutov, A.S. Nikolenko, I.A. Petrova, A.V. Strikovskiy	Experimental studies of magnetoplasma turbulence and instabilities on the large-scale Krot plasma device	38
N.S. Artekha, D.R. Shklyar	Dispersion features of whistler-mode waves in low-density magnetoactive plasma	38
A.V. Artemyev, X.-J. Zhang, A.G. Demekhov, Yu.V. Fedorenko	Localization of relativistic electron precipitation sources: ionosphere total electron content and ground-based VLF measurements	39
P.A. Bespalov, O.N. Savina, G.M. Neshchetkin	Hausdorf dimensions of typical VLF chorus and verification of their excitation mechanism	40
A.A. Chernyshov, D.V. Chugunin, M.M. Mogilevsky	Auroral kilometric radiation (AKR) as a tool to study the fractal properties of the magnetosphere	40
A.G. Demekhov	Modeling VLF chorus spectra in the generation region in the presence of static sinusoidal geomagnetic field variations	41
D.A. Dorofeev, A.A. Chernyshov, D.V. Chugunin, M.M. Mogilevskiy	Hectometric continuum radiation in the “near zone” in the Earth's magnetosphere	41
V.A. Frantsuzov, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Electron heating in the Earth magnetosheath: a combined effect of compression ultra-low frequency and whistler-mode waves	41
V.S. Grach, A.G. Demekhov	The influence of finite packet length on the interaction of relativistic electrons with EMIC wave packets	42
V.S. Ismagilov, Yu.A. Kopytenko	Electric fields of sea waves	42

V.S. Ismagilov, Yu.A. Kopytenko, M.S. Petrishchev, P.A. Sergushin, A.V. Petlenko	Coastal effect in electric field	42
S.R. Kamaletdinov, I.Yu. Vasko, A.V. Artemyev, R. Wang	Quasi-linear and nonlinear interactions of solar wind electrons and ion acoustic waves in the Earth's bow shock	43
A.S. Lukin, A.V. Artemyev, X.-J. Zhang, I.Y. Vasko, A.A. Petrukovich	The test particle approach for stochastic differential equations: a contribution of wave-particle interactions in long-term thermalization of particle flows	44
A.A. Luzhkovskiy, D.R. Shklyar	Excitation and propagation of electromagnetic and quasi-electrostatic ion cyclotron waves in the Earth's magnetosphere	44
D.L. Pasmanik, A.G. Demekhov	VLF chorus emissions modeling using EPOCH PIC code: First results and comparison with a backward wave oscillator theory	45
V.A. Pilipenko, E.N. Fedorov, N.G. Mazur	New type of active experiment: Generation of artificial Pc1 electromagnetic emission in the ionosphere by decommissioned power lines	45
D.R. Shklyar	Critical points in the applications of geometrical optics to numerical simulation of lightning-related spectrograms	46
D.A. Shubin, A.V. Rubtsov, D.Yu. Klimushkin	Clustering of ULF waves by machine learning methods using THEMIS-A data	46
S.D. Shuvalov, E.E. Grigorenko	Observation of short large amplitude magnetic structures at Mars by MAVEN	47
E.S. Smirnova, S.Yu. Dobrokhotov	Modeling of an acoustic disturbance of the atmosphere initiated by a ground source	47
E.E. Smotrova, P.N. Mager, O.S. Mikhailova, D.Yu. Klimushkin	Influence of the asymmetric ionospheric conductivity on the structure of Alfvén waves in the magnetosphere	48
E.E. Titova, D.R. Shklyar, A.A. Lubchich	VLF hiss in two frequency bands below and above half the electron gyrofrequency observed by Van Allen Probe	48
D.S. Tonoian, X. Shi, A.V. Artemyev, X.-J. Zhang	Electron scattering by whistler-mode waves around the bow shock	49
I.Y. Vasko, R. Wang	Kinetic-scale current sheets in the solar wind: multi-spacecraft analysis	49
A.I. Yakimchuk, A.V. Rubtsov, D.Yu. Klimushkin	Spatial distribution of polarization of transverse ultra-low-frequency waves according to Van Allen Probe A satellite data	50
I.Yu. Zudin, T.M. Zaboronkova, M.E. Gushchin	Peculiarities of whistler waves' ducting by systems of field-aligned plasma density depletions and enhancements: Numerical simulation and analytical description	50

К.Е. Боровлева, В.А. Пилипенко, Е.Н. Федоров, Н.Г. Мазур	Выделение электромагнитных возмущений от подземных УНЧ источников	51
А.С. Никитенко, Н.Г. Клейменова, Ю. Маннинен, Ю.В. Федоренко	Особенности динамики положения области выхода ОНЧ аврорального хисса по данным наземных наблюдений на станциях обс. Ловозеро и Каннуслехто	52
А.С. Никитенко, Н.Г. Клейменова, Ю.В. Федоренко	Наземные наблюдения ОНЧ аврорального хисса в обс. Ловозеро и Баренцбург	52
Д.А. Стуков, В.В. Сурков, В.А. Пилипенко, В.А. Касимова	Применение импедансных соотношений для анализа структуры поля косейсмических электромагнитных возмущений	53
Д. Чжун, А.В. Дивин, И.В. Зайцев, И.П. Парамоник, И.В. Кубышкин, В.С. Семенов	Микронеустойчивости бесстолкновительного магнитного пересоединения при наличии холодных ионов	53
Т.А. Яхнина, А.А. Любич, А.Г. Демехов, Т.А. Попова	Проявление межполушарной асимметрии магнитного поля в потоках заряженных захваченных и высыпающихся частиц на низкоорбитальных спутниках	54

SESSION 4. THE SUN, SOLAR WIND, COSMIC RAYS

M.A. Abunina, A.V. Belov, N.S. Shlyk, A.A. Abunin	Cosmic ray variations and other interplanetary parameters of magnetic clouds	55
G.I. Antonyuk, V.V. Benghin, O.Yu. Nechaev, V.I. Osedlo, I.A. Zolotarev	Overview of the KODIZ instrument's first measurements	55
A.A. Chelpanov, N.I. Kobanov	Wave propagation in and above sunspots	56
R.R. Karakotov, A.A. Kuznetsov, S.A. Anfinogentov	Statistical study of the sloshing oscillations in the flaring coronal loops	56
O.N. Kryakunova, A.V. Belov, B.B. Seifullina, M.A. Abunina, A.A. Abunin, I.L. Tsepakina, N.F. Nikolayevskiy, N.S. Shlyk	Behavior of galactic cosmic rays during flux enhancements of magnetospheric electron with energy > 2 MeV	56
E.A. Mauricev, A.A. Abunin, M.A. Abunina	The modeling of the solar cosmic ray protons propagation through the Earth atmosphere during the GLE №70	57
E.A. Mauricev, A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, A.A. Abunin	Modeling of the NaI (Tl) scintillation detector response function	57
V.A. Parkhomov, V.G. Eselevich, M.V. Eselevich	The role of the presence of alpha particles in proving the penetration of solar wind diamagnetic structures into the magnetosphere	57
A.V. Petrashchuk, D.Yu. Klimushkin, P.N. Mager	Numerical study of coupled MHD waves in the solar corona	58

A.I. Podgorny, I.M. Podgorny, A.V. Borisenko	Magnetic field configurations at solar flare sites above active region AR 10365 from MHD simulation results	58
D.B. Rozhdestvensky, V.I. Rozhdestvenskaya, V.A. Telegin	Prediction of solar activity by spectral analysis	59
N.S. Shlyk, A.V. Belov, M.A. Abunina, A.A. Abunin	An empirical model for estimating ICMEs speeds and delays	60
D.K. Sondhiya, P. Singh, B. Lahari	Analysis of variations in solar and geomagnetic parameters for solar cycle 24 using statistical (ANOVA) method	61

SESSION 5. IONOSPHERE AND UPPER ATMOSPHERE

A.A. Belov, P.A. Klimov, B.V. Kozelov, A.S. Murashov, R.E. Saraev, K.F. Sigaeva, S.A. Sharakin, D.A. Trofimov, K.D. Shchelkanov	Pulsating aurora imaging photometers system	62
A.A. Belov, P.A. Klimov, S.A. Sharakin, K.D. Shchelkanov	Search for UV microbursts in auroral emission	62
D.V. Chugunin, D.S. Kotova, A.A. Sinevich, A.A. Chernyshov, W.J. Miloch	Scintillations of GNSS receivers in the subauroral region in the southern hemisphere	63
A.V. Dmitriev	Ionospheric effects at high latitudes produced by magnetosheath jets	63
M.V. Klimenko, V.V. Klimenko, F.S. Bessarab, T.V. Sukhodolov, K.G. Ratovsky, E.V. Rozanov, K.V. Belyuchenko	Effect of neutral and electron temperature disturbances on the behavior of the high-latitude ionospheric electron density during various space weather phenomena	64
S.I. Knizhin, M.V. Tinin	Using spatial radio wave field processing for near-Earth plasma diagnostics	64
Y.A. Kurdyeva, O.P. Borchevkina, I.V. Karpov, F.S. Bessarab	Modeling of the propagation of atmospheric waves generated by a meteorological source in the Moscow region	65
O.V. Nikiforov, A.M. Merzliy, A.A. Petrukovich, A.K. Kuzmin, R.Yu. Lukianova, I.A. Uvarov, A.T. Yanakov, I.A. Moiseev, G.S. Filatov, A.S. Starilov, I.A. Shagurin, V.Yu. Popov	Information and analytical system of IKI RAS "Heliogeophysics"	65
S.A. Parfenov, B.E. Prokhorov, O.V. Zolotov, A.A. Namgaladze	The IMF input into the Upper Atmosphere electrodynamic	66

B.E. Prokhorov	The system of ionospheric currents and its contribution to the Earth's magnetic field	67
A.D. Shelkov, R.V. Vasilyev, M.F. Artamonov	Research of airglow intensity using data acquired by Irkutsk Scattering Radar and Fabri-Perot interferometers	67
K.F. Sigaeva, P.A. Klimov, B.V. Kozelov, S.A. Sharakin	Frequency analysis of pulsating auroras measured by the imaging photometer in Verkhnetulomsky Observatory	68
A.A. Sinevich, A.A. Chernyshov, D.V. Chugunin, W.J. Miloch, M.M. Mogilevsky	Stratification of polarization jet	68
A.V. Timchenko, F.S. Bessarab	Correlation analysis of intrinsic mode of the Total Electron Content at magnetically conjugated points	69
I.D. Tkachev, R.V. Vasilyev, A.S. Poletaev, A.G. Chensky	Thunderstorm activity monitoring in the Baikal natural area	69
O.S. Ugolnikov	RGB all-sky imaging of noctilucent clouds: Altitudes, particle sizes and wave analysis	70
V.A. Uliev	Features of the manifestation of the midday recovery effect in the phenomena of PCA during the main phase of the geomagnetic storm	70
G.R. Vorobeva, A.V. Vorobev, A.A. Soloviev, V.A. Pilipenko	The information system for short-term forecast of aurora possibility	71
О.В. Антоненко, А.С. Кириллов	Исследование интенсивностей свечения различных полос ночных атмосфер Земли и Марса в спокойных геомагнитных условиях	71
О.И. Ахметов, В.Б. Белаховский, О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, А.В. Ларченко, З.В. Суворова	Влияние высыпающихся релятивистских электронов на характеристики сигналов системы РСДН-20	72
Н.С. Ачкасов, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, Е.Н. Козакова, Ю.В. Поклад, И.А. Ряховский	Особенности регистрации СДВ сигналов пространственно-разнесённой системы приемных пунктов	72
Н.С. Барабаш, И.А. Ряховский	Влияние солнечных вспышек различных классов на динамику полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы	73
В.Б. Белаховский, П.А. Будников, С.В. Пильгаев, А.В. Ролдугин, А.С. Калишин, Я. Джин, В. Милош	Влияние ионосферных возмущений на сцинтилляции сигналов ГНСС на авроральных широтах	73
В.Б. Белаховский, А.С. Кириллов	Оценка влияния солнечных протонных событий на содержание озона в высокоширотной атмосфере	74
К.В. Белюченко, М.В. Клименко, В.В. Клименко, К.Г. Ратовский	Моделирование УТ-эффекта возмущений параметров верхней атмосферы для геомагнитной бури в марте 2015	75

Л.С. Варзарь, Г.А. Курбатов, А.М. Падохин	Ионосферные эффекты частичного солнечного затмения 25 октября 2022 года по данным СДВ и ГНСС зондирования	75
Ф.И. Выборнов, А.В. Шиндин, М.Е. Гушин	О модернизации уникальной научной установки “Многоцелевой стенд для исследования околоземного и космического пространства (стенд СУРА)” и развитии ее диагностических средств	76
К.К. Грехнева, С.П. Моисеев, А.В. Шиндин, В.А. Павлова	Реализация функции ЛЧМ-приемника на основе системы Red Pitaya SDRlab 122-16	76
Е.Н. Ермакова, А.В. Рябов	Особенности регистрации искусственных УНЧ сигналов при разном уровне и характере спектров естественной шумовой помехи	77
О.В. Золотов	О модификации модели FIRI-2018 и Python-пакета rufigi для условий Южного полушария	77
О.В. Золотов, Б.Е. Прохоров	Обзор современного состояния моделей высыпаний электронов и моделей продольных токов	78
Н.В. Иванов	Суточная динамика резонансных структур приземного естественного электромагнитного шума	78
А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, И.М. Егоров, Г.А. Загорский, А.С. Ковалев	Характеристики мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей при O- и X-нагреве стенда EISCAT/Heating по данным метода ракурсного рассеяния	78
Б.В. Козелов	Определение пространственной структуры высыпаний авроральных электронов с помощью ИНС по стереометрическим наблюдениям: обучение на модельных данных	79
Б.В. Козелов	Классификация данных камеры всего неба в Апатитах с использованием ИНС для исследования полярных сияний	79
Б.В. Козелов, В.Г. Воробьев, Е.Е. Титова, Т.А. Попова	Характеристики пространственной структуры авроральных высыпаний по наблюдениям ПГИ	80
В.И. Колпак, М.М. Могилевский, Д.В. Чугунин, А.А. Чернышов, И.Л. Моисеенко	Исследование "захвата" аврорального километрового радиоизлучения (АКР) в плазменные каналы с пониженной плотностью	81
А.О. Куприянов, А.А. Петрукович, А.М. Мёрзлый, О.В. Никифоров, Я.А. Сахаров, А.А. Чернышов, А.Т. Янаков, Д. Замогильный	Оперативный мониторинг высокоширотной ионосферы с применением мультисистемного спутникового оборудования	81
А.В. Ларченко, А.С. Никитенко, О.М. Лебедь, А.В. Ролдугин, С.В. Пильгаев, Ю.В. Федоренко	Влияние суббуревой активности и авроральных высыпаний на распространение СДВ сигналов передатчиков радионавигационной системы РСДН-20	82

В.А. Любич, Ю.А. Шаповалова	Исследования влияния магнитосферных источников естественного электромагнитного поля на результаты измерения импеданса в высоких широтах	82
И.В. Мингалев, З.В. Суворова, Б.В. Козелов, А.М. Мерзлый, А.Т. Янаков, В.Н. Шубин	Влияние ионосферных неоднородностей в E-слое на распространение радиоволн КВ-диапазона в высоких широтах	83
И.А. Моисеев, И.В. Мингалев, В.В. Никишов, З.В. Суворова, А.М. Мерзлый, А.Т. Янаков, В.Н. Шубин	Применение ФАР для зондирования слоев ионосферы радиоволнами КВ диапазона с применением сложного сигнала	83
В.А. Павлова, А.В. Шиндин, К.К. Грехнева, С.П. Моисеев	Реализации функции ионозонда вертикального зондирования на двух SDR-платах без ПК	84
А.М. Падохин, Е.С. Андреева, И.А. Павлов, А.В. Тимченко, Г.А. Курбатов	Адаптивное моделирование ионосферы по разнородным данным дистанционного зондирования	85
Ю.В. Поклад, Н.С. Ачкасов, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, Е.Н. Козакова, И.А. Ряховский	Сравнение восстановленных параметров нижней ионосферы на близких трассах по данным приема СДВ передатчиков в двух пунктах	85
Е.А. Полянская, В.А. Пилипенко, Г.М. Коркина, М.С. Соловьева	Воздействие гамма-вспышек на нижнюю ионосферу по данным СДВ просвечивания в Тихоокеанском регионе	86
Н.Ю. Романова	Исследование ориентации поперечной анизотропии высокоширотных неоднородностей в F-области ионосферы методом радиопросвечивания	86
Н.Ю. Романова, В.А. Телегин, В.А. Панченко, Г.А. Жбанков	Исследование параметров средне- и мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы методами радиопросвечивания и радиолокации	87
И.А. Ряховский, С.З. Беккер	Вклад D области ионосферы в величину ПЭС во время солнечных вспышек различного класса в сентябре 2017 года	87
Р.Е. Сараев, С.А. Шаракин	Современные методы анализа данных на примере обнаружения и реконструкции трековых событий в данных изображающего фотометра обсерватории «Верхнетуломская»	88
А.Е. Степанов, С.И. Данилов, Д.Г. Байшев, В.Л. Халипов, С.Е. Кобякова	Временная продолжительность поляризационного джета по спутниковым и наземным наблюдениям	88
А.В. Тертышников, Р.Ю. Юрик	Результаты эксперимента на стенде EISCAT в 2018 г.	89
В.М. Уваров	Дрейф магнитных полюсов и строение полярной ионосферы	89
Ю.В. Федоренко, А.В. Ролдугин, А.В. Ларченко, С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, Д.С. Швецов, М.В. Кузнецова	Спектральный риометр	89

М.В. Филатов, С.В. Пильгаев, Ю.В. Федоренко, А.С. Никитенко, А.В. Ларченко, А.В. Ролдугин	Возможности сцинтилляционного GNSS приемника Septentrio PolarX5S установленного в г. Апатиты	90
В.Л. Халипов	Характеристики среднеширотных и субавроральных красных дуг свечения атмосферы	90
А.В. Шиндин, Ф.И. Выборнов, Л.Б. Бовин, И.В. Крашенинников	О приеме на севере Ленинградской области коротковолнового ЛЧМ-сигнала, рассеянного искусственно возмущенной областью ионосферы	91

SESSION 6. LOW ATMOSPHERE, OZONE

Yu.V. Balabin	Experimentum crucis: The presence of radionuclides in precipitations is not the main reason for the observed increase in gamma flux	92
Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky	Peculiarities of gamma-radiation spectra increases during precipitations: Radionuclide lines and continuum spectrum	92
Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky	Spectral measurements during gamma-ray increase events	92
Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky	Features of variations of X-ray (up to 1 MeV) and gamma radiation (more than 1 MeV) according to the data of the scintillation spectrometer in Apatity	93
A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky, V.B. Belakhovsky	Electric field measurements at the cosmic ray station in Apatity	93
A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky	Cosmic ray variations based on observations by pairs of identical detectors in Apatity and Barentsburg	94
D.I. Iudin, A.A. Syssoev, V.A. Rakov	Lightning initiation and development problems	94
A.S. Kirillov, R. Werner, V. Guineva	The study of kinetics of molecular nitrogen in the stratosphere of Titan during precipitation of galactic cosmic rays	95
Y.Y. Kulikov, V.B. Belakhovsky, V.I. Demin, V.M. Demkin, A.S. Kirillov, A.V. Losev, V.G. Ryskin	The microwave monitoring the diurnal variations of the mesospheric ozone in the winter 2022-2023 at Apatity during Solar Cycle 25	95

M.Yu. Kulikov, A.A. Krasil'nikov, M.V. Belikovich, V.G. Ryskin, A.A. Shvetsov, A.M. Feigin	Measurements of resonance frequency of ozone rotational transition $J = 6_{1,5} - 6_{0,6}$ in the real atmosphere with high precision	95
A.D. Mironov, V.A. Zubov, E.V. Rozanov	Study of the polar ozone annual cycle with CCM SOCOL-3	96
I.A. Mironova, D.V. Grankin, E.V. Rozanov, V.S. Makhmutov, G.A. Bazilevskaya	Atmospheric response to energetic particle precipitation	96
L.A. Trefilova, P.G. Kobelev, V.G. Yanke	Monitoring of the thickness of the snow cover based on the neutron component data of cosmic rays	97
S.V. Veretenenko, P.B. Dmitriev	Solar rhythms in trajectories of extratropical cyclones in the North Atlantic	97
В.И. Демин	Исследование изменений температуры воздуха в Мурманске для выявления эволюции городского острова тепла	97
В.И. Демин, Б.В. Козелов, Ю.В. Меньшов	Вариации температуры воздуха в тепловом пограничном слое атмосферы в условиях города и в фоновом районе	98
А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Инфракрасное свечение окиси азота в средней атмосфере Земли во время GLE69	98
Ю.Н. Куликов, А.С. Кириллов	Возбуждение синглетных состояний молекулярного кислорода на высотах мезосферы и нижней термосферы Земли в ночные и сумеречные часы	99
И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, В.С. Мингалев	Возмущения циркуляции нижней и средней атмосферы, которые могут быть вызваны изолированным горным массивом	99
Е.Е. Тимофеев, И.В. Артамонова, T.S. Viridi, M.K. Vallinkoski	Геопотенциальный анализ физической природы зимней ночной дуги полярного сияния, протянувшейся вдоль береговых гранитов норвежского моря	100

SESSION 7. HELIOBIOSPHERE

П.А. Кашулин, Н.В. Калачёва	Вариации суточного ритма растений и исхода случайных процессов в периоды повышенной солнечной активности и околоземных геофизических возмущений	101
Author index		102

Magnetospheric substorms and relativistic electrons

E.E. Antonova^{1,2}, V.G. Vorobjev³, O.I. Yagodkina³, N.V. Sotnikov¹, I.P. Kirpichev², I.L. Ovchinnikov¹, D.Yu. Naiko¹, M.S. Pulinets¹, M.V. Stepanova⁴, V. Pinto⁴, A. Inostroza⁴

¹*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, 119991; Russia,*
e-mail: elizaveta.antonova@gmail.com

²*Space Research Institute (IKI) Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

³*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

⁴*Department of Physics, University of Santiago de Chile, Santiago, Chile*

Storm time substorms are ordinarily considered as the source of the seed population of energetic electrons, which are additionally accelerated during storm and form an outer radiation belt (ORB). A number of observations, however, show that large magnetospheric substorms can lead to the appearance of relativistic electrons without magnetic storms. Such substorms in accordance with Vorobjev et al. (2018) lead to the noticeable decrease of the SYM-H index of geomagnetic activity, which shows the dip connection of processes leading to substorms and storms. The clarification of such connection became possible based on the analysis of storm time substorms, which provide dispersionless energetic electron injection deep inside the magnetosphere to the Earth from the geosynchronous orbit. Injected energetic electrons are additionally accelerated by betatron mechanism during storm recovery phase and form ORB population. Important part of such analysis is the study of plasma sheet turbulence, processes during substorm onset and first auroral arc brightening. We try to show that the obtained results provide the reason to reanalyze the role of the auroral processes in the ORB formation.

Vorobjev V.G., O.I. Yagodkina, E.E. Antonova, and V.L. Zverev (2018). Influence of solar wind plasma parameters on the intensity of isolated magnetospheric substorms. *Geomagnetism and Aeronomy*, 58(3), 295–306. doi:10.1134/S0016793218030155

Features of substorms on a compressed auroral oval

I.V. Despirak¹, N.G. Kleimenova², L.M. Malysheva², L.I. Gromova³, A.A. Lubchich¹, A.V. Roldugin¹

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

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

³*IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow, Russia*

The high-latitude magnetic substorms observed at geomagnetic latitudes higher 70° MLAT under the substorm absence at the lower latitudes are known as “substorms on the contracted oval” or “polar” substorms. We analyzed above 250 “polar” substorms, recorded at the Scandinavian IMAGE magnetometer chain during the winter seasons of 2010-2020. The ionospheric electrojets and field-aligned currents (FAC) distribution was studied basing on the AMPERE satellites measurements. On basic of this study and on the example of individual events registered on archipelago Svalbard, the general morphological features of polar substorms are considered. It is shown that polar substorms, like “classical” substorms, are characterized by the formation of a current wedge of a substorm, abrupt movement to the pole after the onset of a substorm; generation of Pi2 geomagnetic pulsations, increase in the PC index of the polar cap before the onset of a substorm. But “polar” substorms showed a tendency to occur in the late evening (~19-23 MLT), that is, a bit earlier than the “classical” substorms (22-24 MLT). Besides, “polar” substorms developed in the compressed auroral oval, during low solar wind speed, and weakly disturbed geomagnetic conditions, their onset was located at higher geomagnetic latitudes. We found that “polar” substorm onsets are associated with an enhancement of FACs in a localized evening area. Our observations showed also that during “polar” substorms, the auroras, recorded at the high-latitude Barentsburg station, demonstrated the dynamics, typical for “classical” substorms, but some spiral auroral structures were sometimes registered. It has been suggested that “polar” substorms, apparently, represent a specific type of “classical” substorms developing in the evening sector under magnetically quiet or weakly disturbed conditions, when the auroral oval is compressed. The source of polar substorms can also be associated with a local intensification of previously existing substorms in the post-midnight sector.

Substorms and changes in the solar wind dynamic pressure: Case study 3 November 2021

L.I. Gromova¹, N.G. Kleimenova², I.V. Despirak³, S.V. Gromov¹, L.M. Malysheva², A.A. Lubchich³

¹*IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow, Russia*

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

³*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We studied the geomagnetic effects of abrupt and large-amplitude changes in the solar wind dynamic pressure (P_{SW}) in the magnetic storm on the 3-4 November 2021. There were observed three large-amplitude P_{SW} pulses (up to 20 nPa) under the strong (up to -18 nT) southward IMF B_z during the SHEATH ahead the fast magnetic cloud, caused the storm. Basing on the IMAGE magnetometer data, we found three substorm onsets associated with these P_{SW} impulses. The first substorm developed according to the classic scenario and was observed at 64-75° MLAT, the second one shifted equatorward up to 60-64° MLAT. Contrary to that, the third unusual substorm unexpectedly shifted poleward. Its abrupt huge (up to 1000 nT) onset was observed in the very large latitude range, from 77° up to 61° MLAT. It was found that according to the AMPERE global maps of the ionospheric and the field-aligned currents (FACs) distributions, the westward and eastward electrojets demonstrated the classical development during the first and second substorms. However, during the third substorm, the westward electrojet (around the midnight) and eastward electrojet (in the evening) became dramatically intense and expanded both poleward and equatorward. The similar change could be seen in the FAC structure. We supposed that the third huge high-latitude substorm with the onset near the poleward magnetosphere boundary was caused by the third abrupt large-amplitude change in the solar wind dynamic pressure under the strong negative IMF B_z and strong positive IMF B_y . Probably, such interplanetary situation could effected on the complex structure of FACs that in turn caused the complex development of the considered substorms.

Spatial distribution of the midlatitude positive bays and the Y magnetic component disturbances over Europe during substorms: Case study

V. Guineva¹, R. Werner¹, R. Bojilova², L. Raykova¹, A. Atanassov¹, D. Valev¹

¹*Space Research and Technology Institute (SRTI) – Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Bulgaria*

²*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG) - Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

The goal of this work is to study the spatial distribution of the disturbances in the magnetic field X and Y components during substorms, when the central substorm meridian is located over Europe, where a dense network of magnetic stations exists. Only in this case the typical for substorm changes in the signs of the magnetic components could be observed in the spatial structure. For this reason, an isolated substorm, the substorm on 11 May 2015 at ~22:49 UT, with central meridian over Europe has been chosen. Magnetic field data from INTERMAGNET, SuperMAG and IMAGE databases have been used. The X and Y variations on 11 May 2015 were computed for more than 50 stations based on the developed programs. Maps of the spatial distribution of the magnetic disturbances at the time of the maximal substorm development have been created, longitudinal and latitudinal profiles for this event have been composed for this time. Some characteristics of the magnetic components as the line of sign conversion latitude, the central meridian, the longitudinal and latitudinal extent of the positive bays and the latitudinal and longitudinal dependence of the variations have been estimated. A local MPB index was computed for the European region, which provide an inside into the substorm manifestation at midlatitudes for substorms, developing over Europe.

This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-18003).

“Polar” substorms and the Harang discontinuity

N.G. Kleimenova¹, I.V. Despirak², L.M. Malysheva¹, L.I. Gromova³, A.A. Lubchich², S.V. Gromov³

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

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

³*IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow, Russia*

The “polar” substorms are recorded at the latitudes above 70° MLAT under the absence of negative magnetic bays at the lower latitudes. Like the “classical” substorms, the “polar” substorms are accompanied by aurora brightening, poleward expansion, substorm current wedge formation. The onsets of “polar” substorms are typically located near 70° MLAT at ~19-23 MLT. Another important phenomenon, namely, the Harang discontinuity (the evening narrow latitude-zone between the westward and eastward electrojets) is often observed at this area and at the same MLT interval. Our aim is to study a possible relationship between the location of the “polar” substorms and the Harang discontinuity (HD). Using the IMAGE geomagnetic data, we found that the “polar” substorm onsets exhibit a tendency to occur near the HD latitude. The longitudinal relationship between the “polar” substorms and the HD was studied basing on the ionospheric AMPERE measurements by the 66 simultaneous satellites. We revealed the ground-based magnetic vortex associated with FACs enhancement near the eastward edge of the Harang discontinuity region separated the evening “polar” substorm development and the after-midnight westward electrojet location. Some individual events of the “polar” substorms are discussed in details.

Distinct ionospheric response to three different geomagnetic storms during 2016 using GPS-TEC observations over the Indian equatorial and low latitude sectors

D. Lissa¹, K. Venkatesh², D.S.V.V.D. Prasad¹, K. Niranjana¹

¹*Department of Physics, Andhra University, Visakhapatnam 530 003, India*

²*Physical Research Laboratory, Ahmedabad 380 009, India*

The ionospheric response during three distinct geomagnetic storms occurred in the year 2016 is investigated using GPS-TEC observations in the Indian equatorial and low latitude sectors. The three geomagnetic storms are considered for this study which were occurred on 20 January 2016 (2230 LT), 6 March 2016 (0230 LT) and 13 October 2016 (0530 LT) with minimum Sym-H values of -95 nT, -110 nT and -114 nT respectively. These three geomagnetic storms are different from one another in the sustainment of main and recovery phases and are occurred at three different local times corresponding to the Indian longitudes. This study brings out the major differences of these three geomagnetic storms characteristics and their distinct effects on the equatorial and low latitude ionosphere. Significant changes in the VTEC during main and recovery phases of these three storms are found to be mainly associated with prompt penetration electric fields and thermospheric neutral compositional changes. During the storm of 20 January 2016, positive storm effects during main and recovery phases of the storm are in association with the penetration electric fields. The complete main phase for the 6 March 2016 geomagnetic storm was occurred during night time and no changes in VTEC has been identified, which could be due to the weak background electron density. A positive storm effect is noticed during the recovery phases of the storms of 6 March 2016 and 13 October 2016, due to the storm induced electric fields differences and in particular due to the enhanced [O]/[N₂] ratio in thermospheric composition. A strong positive storm effect caused by Co-rotating Interacting Region (CIR) induced disturbances after the 13 October 2016 storm is also discussed.

The dependences of the geomagnetic indices ASY-H and SYM-H on interplanetary parameters

G.A. Makarov

*Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,
Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, Yakutsk, 677980, Russia;
e-mail: gmakarov@ikfia.ysn.ru*

The dependences of the geomagnetic indices ASY-H and SYM-H on interplanetary parameters for the period from 1981 to 2015 according to their daily averages are studied. A correlation analysis of the indices with the solar wind speed, magnitude and the north-south component of the interplanetary magnetic field has been performed. Regression equations relating ASY-H and SYM-H to interplanetary parameters are determined. It has been found that when describing the relationship between the ASY-H and SYM-H indices and the north-south component of the interplanetary magnetic field, it is necessary to take into account the contribution of the interplanetary magnetic field magnitude.

Dynamics of distribution of field-aligned currents in the ionosphere of two hemispheres during pre-storm intervals in the equinox season

V.V. Mishin, Yu.A. Karavaev, M.A. Kurikalova, V.E. Kapustin

Institute of Solar and Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk

We research long pre-storm intervals with a stable IMF azimuthal component during the equinox season. From the data of the global network of ground-based magnetometers of the two hemispheres, on the basis of an extended version of the ISTP magnetogram inversion technique, time series of field-aligned current distribution maps in the high-latitude ionosphere of the two hemispheres were obtained. We discuss the influence of changes in the nonradial IMF components, the solar wind dynamic pressure, diurnal variation in the auroral zone illuminance, and substorm activity on the development of the field-aligned current intensity asymmetry of two types: dawn-dusk and interhemispheric.

Dynamics of field-aligned currents, broadband pulsations, and night airglow at middle latitudes during sawtooth events

V.V. Mishin¹, R.A. Marchuk¹, Yu.Yu. Klibanova², A.V. Mikhalev¹, Yu.V. Pensikh¹

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, 664033*

²*Ezhevskii Irkutsk State Agricultural University, Irkutsk, Russia, 664038*

We analyze the dynamics of field-aligned currents, broadband geomagnetic pulsations, and night airglow during strong magnetospheric storms on November 6, 2000 and October 4, 2000. We use observational data from the mid-latitude geomagnetic and optical observatories of the ISZF Irkutsk (Patrony), Mondy, Uzur and Tory, 1-min data from the global network of ground-based magnetometers, and satellite data from the InterMAGNET website of solar wind (SW) plasma and interplanetary magnetic field (IMF) parameters.

In each storm, sawtooth events (STEs) were observed during long intervals of a steady strong southward IMF. A series of 5–8 quasi-periodic substorms was recorded in each STE. At the each substorm onset, we observe a train of geomagnetic pulsations of the PiB type (example: left panel in Fig. 1), injection of energetic particles in a geosynchronous orbit, and enhancement of night sky glow. We discuss possible mechanisms for the development of periodic substorm activations and related bursts of pulsations and night sky glow.

We also consider the role of the remoteness from observatories in latitude of the southern boundary of the oval of field-aligned currents (FACs) and auroras, and the effect of localization in longitude of the area of foci of FAC vortices and the maximum of the westward electrojet on the decrease in the amplitude of geomagnetic pulsations and the possibility of their observation at ISTP stations near Irkutsk (right panel in Fig.1).

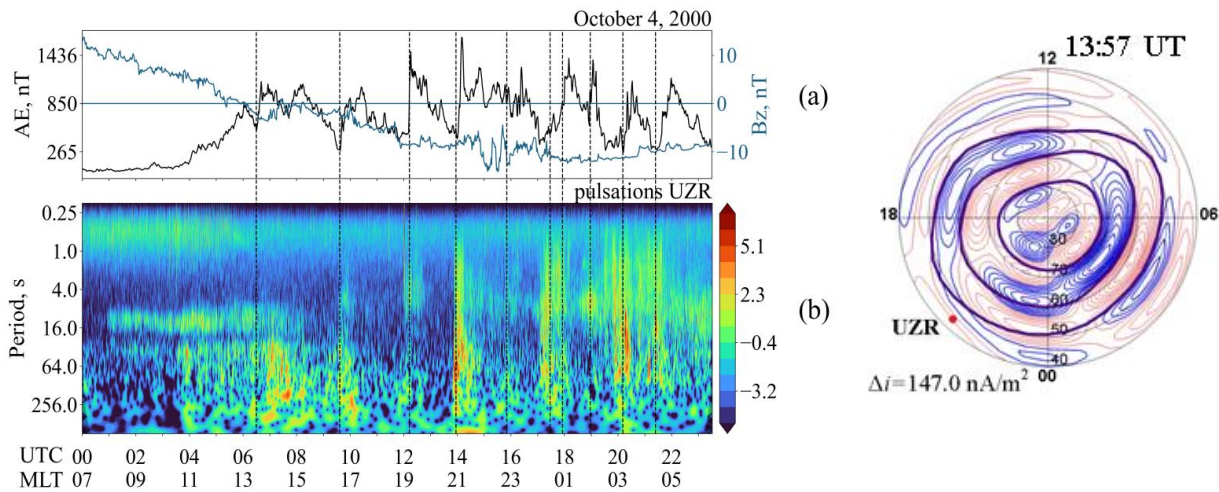


Figure 1. Magnetospheric storm on October 4, 2000.

Left: (a) Variations of the AE geomagnetic activity index and of the IMF Bz component (blue line); (b) dynamic spectrum of geomagnetic pulsations;

Right: field-aligned current map. Heavy blue lines: boundaries of FAC R0, R1 and R2 zones; the red circle shows the position of the Uzur Observatory (UZR) in dipole geomagnetic coordinates (41.93°), MLT.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Experimental data were obtained using the equipment of the Central Collective Use Center "Angara" (ISTP SB RAS) (<http://ckprf.ru/ckp/3056>).

Classification and prediction of geomagnetic storms using machine learning methods

I.N. Myagkova¹, I.M. Gadzhiev^{1,2}, O.G. Barinov¹, R.D. Vladimirov¹, V.R. Shirokiy¹, S.A. Dolenko¹

¹*Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow, Russia*

²*Physics Department of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

Prediction of geomagnetic disturbances is of great practical interest, since magnetic storms can cause disruptions in the operation of telegraph lines and radio communications, pipelines, power lines and electrical networks [1]. In addition, magnetic storms affect the radiation conditions in the near-Earth outer space, since after about half of the magnetic storms, the relativistic electron flux of the Earth's outer radiation belt increases by an order of magnitude or more [2].

One of the most used geomagnetic indices is the planetary index Kp, averaged over 3 hours. In this paper, we study the possibility of classifying geomagnetic disturbances according to the level of the Kp-index; for this, the region of index values is divided into several intervals corresponding to the degree of disturbance.

Machine learning methods such as gradient boosting and artificial neural networks are used to classify the index values according to the degree of disturbance, as well as to predict the amplitude of the geomagnetic disturbance.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-21-00237, <https://rscf.ru/project/23-21-00237/>.

Geomagnetic storms and substorms

1. Schrijver C.J., Kauristie K., Aylward A.D., Denardini C.M., Gibson S.E. et al. 2015. Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015–2025 commissioned by COSPAR and ILWS. *Adv. Space Res.* V. 55. No. 12. P. 2745–2807. DOI: 10.1016/j.asr.2015.03.023.
2. Qiu Q., Fleeman J.A., Ball D.R. 2015. Geomagnetic disturbance: A comprehensive approach by American electric power to address the impacts. *IEEE Elect. Mag.* V. 3. No. 4. P. 22–33. DOI: 10.1109/MELE.2015.2480615.

Occurrence of the STEVE subauroral luminosity during a substorm. Case study

S.G. Parnikov and I.B. Ievenko

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

The Strong Thermal Emission Velocity Enhancement (STEVE) is a newly identified narrow, latitudinally elongated subauroral luminous ribbon of violet light. This glow is associated with subauroral ion drift (SAID). This paper presents observational data on the STEVE phenomenon near the zenith of the «Maimaga» subauroral station (with geomagnetic coordinates 58°, 202°). The glow was recorded using a digital all-sky thermal imager equipped with six interference optical filters with an effective bandwidth of 2 nm. The STEVE luminosity arose ~40 minutes after the onset of the substorm expansion phase. The STEVE arose more polar than the pre-existing SAR arc. During the combined equatorial motion, the STEVE reached the red arc.

The STEVE glow began with the appearance of inhomogeneities moving west. The STEVE was caused by SAID. In our case, the SAID signature was the westerly motion velocity of the inhomogeneities ~840 m/s. Approaching the zenith of the station, the inhomogeneities merged into a continuous band, and then into a narrow luminous ribbon. STEVE existed for ~1 hour and moved to the equator by ~190 km. In the continuous emission spectrum of STEVE the red emission line [OI] was dominated. The STEVE luminosity height has been calculated.

The work was carried out within the framework of state order № 122011700172-2 and with the partial support of the Russian Foundation for Basic Research, project № 21-55-50013.

Comparative analysis of statistical characteristics of magnetic storms identified by various indices

K.G. Ratovsky¹, M.V. Klimenko², A.M. Vesnin¹, K.V. Belyuchenko³, and Y.V. Yasyukevich¹

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia*

²*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Kaliningrad, Russia*

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

The paper presents a comparative analysis of the statistical characteristics of magnetic storms identified by the Dst, Ap and AE indices. In our previous analysis of ionospheric responses to magnetic storms, we used the Dst index to identify magnetic storms. To qualify an event as a magnetic storm we used 2 selection criteria: (1) Dst_{min} is minimum value of Dst in the time interval plus or minus 12 hours from the minimum time of the Dst; (2) Dst_{min} is less than or equal to the storm threshold of -50 nT. The storm was considered to be strong if Dst_{min} was less than or equal to the strong storm threshold of -100 nT. In the same way, storms can be qualified by the Ap and AE indices with the replacement of minimum by maximum and “less” by “more”. The chosen storm threshold and the strong storm threshold for the Ap and AE indices gave a number of all storms and strong storms close to the number qualified by the Dst index. Of all the storms, we selected isolated storms, i.e. storms separated by the 5-day interval. Our analysis compares the number of all storms, strong storms and isolated storms identified by the Dst, Ap and AE indices. Of particular interest is the number of storms that are common to different indices (an event can be classified as a storm

of a certain type by one index and not classified by another index). For the strong and isolated storms, we calculated the mean storm-time variations in Dst and AE with using the Dst minimum (for storms identified by Dst) and the AE maximum (for storms identified by AE) as a common reference epoch. The analysis allowed us to reveal common properties and differences in the mean storm-time variations obtained from the storms qualified by the Dst and AE indices.

The research was funded by the Russian Science Foundation (project No. 23-27-00213).

Occurrence SED/TOI structures in the ionospheric TEC observations during storms: Case studies

I.I. Shagimuratov¹, I.I. Efishov¹, M.V. Klimenko¹, M.V. Filatov², N.Yu. Tepenitsyna¹ and G.A. Yakimova¹

¹*West Department IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

Using ionex TEC data and Madrigal database we observed evolution of the storm-enhanced density (SED) and TOI structures during moderate geomagnetic storms of 4 November 2021 and 14 January 2022 over the high latitude ionosphere on a global scale. Storm of November started 3 November at 23 UT, index Dst reached a minimum of -120 nT at 14:00 on 4 November 2021. The January storm started near 12 UT on 14 January, index Dst reached a minimum of -90 nT on 14 January 2022. The effect of SED/TOI was very clearly identified in the daytime over Europe for November 2021 storm. The TOI as an ionospheric plasma density extension transported from a dayside source toward the nightside across the polar cap region has been traced during both events.

Occurrence of TEC fluctuations and GPS positioning errors over Europe during November 2021 storm

I.I. Shagimuratov¹, M.V. Filatov², N.Yu. Tepenitsyna¹, G.A. Yakimova¹, I.I. Efishov¹

¹*Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia*

²*Polar Geophysical Institute of the Russian Academy of Science, Apatity, Russia*

Total electron fluctuations at high latitudes are caused presence in the ionosphere of different scale irregularities. The TEC fluctuations are occurred as phase fluctuations GPS/GLONASS signals. The most intense ionospheric irregularities have been observed during ionospheric storms and depend on latitude, solar geomagnetic activity, and local time. Irregularities are classified according with subauroral, auroral, cusp and polar cap regions. In the auroral region, phase fluctuations are usually observed during periods of auroral disturbances near the local magnetic midnight and are closely associated with the dynamics of the auroral oval. The ionospheric irregularities also exist a subauroral region equatorward of the MIT. Strong TEC fluctuations can complicate phase ambiguity resolution and to increase the number of undetected and uncorrected cycle slips and loss of signal lock in GPS navigation and positioning errors. Early analysis of TEC fluctuations was done mainly for strong magnetic storms. In this work we present features of the TEC fluctuations occurrence and positioning errors for the moderate geomagnetic storm of 4 November 2021.

Registration of geinduced currents in overhead transmission lines by the differential method

V.N. Selivanov¹, T.V. Aksenovich¹, V.A. Bilin^{1,2}, V.V. Kolobov¹, Ya.A. Sakharov^{1,2}

¹*Kola Science Centre, Apatity, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The principle and device for registering geinduced currents for non-contact measurement of alternating and quasi-direct currents in the phase wires of overhead power lines by the differential method have been developed. The differential method for measuring the current magnetic field in power lines has been known for a long time, the earliest mention dates back to 1994, a fresh review was published in 2020. The magnetic field under the overhead line is a superposition of the Earth's magnetic field and the magnetic field of currents flowing in phase wires. To subtract the Earth's magnetic field from the currents in the overhead line, a differential method is used: measurements are made with two identical sensors, one of which is placed under the wires of the overhead line, and the second at such a distance that the influence of the line currents is negligible. When processing the data, the data from the second sensor are subtracted from the measurement results of the first sensor (the Earth's field is the same at these points). The difference in our implementation is that we use not fluxgate or quartz sensors, but solid-state two-component magnetoresistive magnetic field sensors. This choice made it possible to significantly reduce the cost of the breadboard device, as well as significantly reduce power consumption to increase the autonomy of the monitoring system. Measuring the currents in the overhead line will make it possible to estimate the linear emf excited by geomagnetic disturbances in the lines for use in model calculations. For two months of trial operation of the device, the prospects of the differential method for measuring geinduced currents in overhead line wires were confirmed.

This study is supported by the grant no. 22-29-00413 from the Russian Science Foundation (<https://rscf.ru/project/22-29-00413/>).

Viljanen A., Pirjola R. (1994). Geomagnetically induced currents in the Finnish high-voltage power system. *Surveys in Geophysics*, 15(4), 383–408. doi:10.1007/BF00665999

Hübert J., Beggan C.D., Richardson G.S., Martyn T., Thomson A.W.P. (2020). Differential Magnetometer Measurements of Geomagnetically Induced Currents in a Complex High Voltage Network. *Space Weather*. doi:10.1029/2019sw002421

Geomagnetically induced currents during two moderate magnetic storms in September 2017

P.V. Setsko¹, I.V. Despirak¹, Ya.A. Sakharov¹, V.A. Bilin¹, A.A. Lubchich¹, V.N. Selivanov²

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Northern Energetics Research Centre Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia*

Geomagnetic activity and appearance of geinduced currents (GICs) were studied during two moderate magnetic storms (SYM/H ~ -65 nT and ~ -75 nT) occurring on September 2017. Note, that September of 2017 was an extremely active space weather period with multiple events leading to varying impacts on the Earth's magnetosphere. In this work, we considered events on 12-13 and 27-28 of September 2017, which associated with the development of moderate magnetic storms. During each magnetic storm, there were some intense substorms (AL ~ -600 – -1200 nT). We analyzed the growth of westward electrojet using the latitudinal profiles of the IMAGE network and the equivalent currents of the MIRACLE system data. The increasing of GICs amplitude were monitored by EURISGIC data from Russian stations Vykhodnoy (VKH) and Revda (RVD) in the North-West of Russia (eurisgic.ru) and station Mäntsälä (MAN) in the South of Finland. The data from these stations are convenient for tracking the GIC from subauroral to high latitudes (~60° to ~69° geographical latitudes). Such an arrangement of GIC stations makes it possible to compare them with the motion of an electrojet to the pole during the expansion phase of a substorm. It is shown that all events of GICs growth during moderate storms on September 2017 were connected with an increasing and an expansion of the westward electrojet during substorm expansion and with short bursts of Pc5 pulsations observed at the recovery phase of substorms. It was also shown a relationship between an increase of IL- and Wp- geomagnetic indexes and the growth of GICs.

The work of P.V. Setsko, I.V. Despirak, A.A. Lubchich and V.A. Bilin was supported by the RFBR (№ 20-55-18003 Bulg_a) and National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (№ КП-06-Русия/15).

A comparative analysis of major SEPs associated with SXR and GLE events during Solar cycle 23 and 24 for low energy channel ($E > 10$ MeV)

Priyank Srivastava, A.K. Singh

Physics Department, University of Lucknow, Lucknow-226 007

We studied major solar energetic particles associated with soft X rays and ground level enhancement events during solar cycle 23 and 24. We found that among 91 major SEPs of Solar cycle 23, 16 solar energetic events were capable of producing GLEs and were associated with the higher X and M class x rays. In solar cycle 24, among 44 major solar energetic particle events, 2 only GLEs were found and these were associated with low X and higher M class SXR. We also found that major SEPs identified in solar cycles attained energies of > 4000 MeV in solar cycle 23, while in solar cycle 24, SEPs barely approached the value of 4000 MeV, with most energetic particles falling in the range of 2000 MeV. Solar cycle 24 shows a reduction in the number of occurrences in the category of solar energetic particles (S1, S2, S3, S4). This also confirms the solar cycle 24 to be the weakest.

Keywords: Solar Energetic Particles, Soft X-rays, Ground Level Enhancements, Solar cycles

Local diagnostics of auroras based on intelligent processing of geomagnetic data

A.V. Vorobev^{1,2}, V.A. Pilipenko^{1,3}, A.A. Soloviev^{1,3}, G.R. Vorobeva²,
V.B. Belakhovsky⁴, A.V. Roldugin⁴, S.V. Pilgaev⁴

¹*Geophysical Center of RAS*

²*Ufa University of Science and Technology*

³*Schmidt institute of physics of the Earth of RAS*

⁴*Polar Geophysical Institute of RAS*

Despite the existing variety of approaches to monitoring space weather and various types of geophysical parameters in the auroral oval region, the issue of effective prediction and diagnostics of auroras remains open today.

In this paper, we study the possibility of local (in the vicinity of the Lovozero geophysical station) diagnostics of auroras by intelligent processing of geomagnetic data. The significance is evaluated and the results of the statistical analysis of the indicative variables are presented.

Due to the application of the naive Bayesian approach to the results of aurora observations for 2015, it is shown that with the geomagnetic field variability averaged over 30 min intervals $|d\Delta H_{LOZ}/dt| \geq 4$ nT/min, it is possible to predict the existence of auroras (at the zenith) in the visible spectrum with a probability of $\sim 90\%$ and with a probability of more than 99% at $|d\Delta H_{LOZ}/dt| \geq 9$ nT/min. At the same time, the use of machine learning methods for binary classification problems makes it possible to predict auroras with an accuracy of up to 97%. In conclusion, promising ways to improve the quality metrics of the obtained diagnostic models are considered and areas of their possible application are suggested.

Statistical study of geomagnetic disturbances in the European sector at the auroral and high latitudes

R. Werner¹, V. Guineva¹, I.V. Despirak², A.A. Lyubchich², R. Bojilova³, L. Raykova¹, A. Atanassov¹, D. Valev¹

¹*Space Research and Technology Institute (SRTI) – Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Bulgaria*

²*Polar Geophysical Institute (PGI), Apatity, Russia*

³*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG) - Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

Statistical studies allow probability statements about the frequency of certain events. The occurrence of magnetic substorms and their activity have been described with the help of extreme value distributions in the last few decades using the auroral electrojet indices AE, AL and AU. In this work we examined the distribution of the IL index, derived from observations at stations of the IMAGE magnetometer network. The distributions of magnetic disturbances, based on IL, were separately studied in the morning (3-9 MLT), day (9-15 MLT), evening (15-21 MLT), and night (21-3 MLT) sectors. In addition, we used the values of the IL index calculated from the meridional chains in the auroral zone (PPN-SOR) and from the chain of stations at high latitudes (BJN-NAL). The histograms, the empirical cumulative distributions and the occurrence rates were computed. It was shown that the empirical distributions could be well approximated with exponential distributions. The distribution parameters were determined from the occurrence rates. It was discovered three classes, which differ significantly by the respective distribution parameters. Structure changes in the distributions were found in the morning sector at both auroral and high latitudes. The relationship between the occurrence rate of magnetic disturbances with $IL > 1000$ nT and the frequency of occurrence of geomagnetic induced currents was highlighted.

This study was supported by the RFBR (project number 20-55-18003) and National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06Русия/15).

Correlative study of solar transients parameters associated with Dst index for solar cycle 23 and 24

Soumya Yadav, A.K. Singh

Physics Department, University of Lucknow, Lucknow-226007

Geomagnetic storms and solar coronal mass ejections (CMEs) have been shown to be associated since the discovery of CMEs in solar activity [Yurchyshyn et. al., 2004]. An intense geomagnetic storm can either be stemmed from a CME, or from a coronal hole. However, a great geomagnetic storm can only be sourced from a CME [Le and Gui-Ming, 2011]. The aim of this paper is to study the relation between the coronal mass ejections (CMEs), and their associated solar flares and correlate this with the Disturbance storm time (Dst) index. We have studied the count rate of soft X-rays class of X, M and C type through a histogram type plot for studying the number of X-rays of different class observed during solar cycle 23 and 24. We have also studied the angular width, speed of coronal mass ejections (CMEs) and disturbance storm time (Dst) Index of solar cycle 23 and 24 for the whole cycle.

Enhancements in relativistic electron fluxes in auroral regions according to the data of the DEPRON instrument

I.A. Zolotarev, V.V. Benghin, B.Yu. Yushkov, G.I. Antonyuk, I.V. Yashin, O.Yu. Nechaev

SINP MSU, Moscow, Russia; e-mail: zolotarev@sinp.msu.ru

Enhancements in particle fluxes have been studied on polar satellites since the early 1970s and continue to attract the interest of researchers [1]. Studies show the presence of various types of enhancements in high-resolution POES data, which can be associated with different origins of these phenomena [2].

To study the phenomena of increasing particle fluxes and dose rates based on the results of the DEPRON dosimeter, a catalog of graphic materials was created. The catalog contains graphs of the dose and fluxes of charged particles at each orbit intersection of the outer radiation belt (EP) for half a year of operation of the device. We analyzed the catalog for January 1-9, 2017 and selected graphs containing enhancements. Of the 523 ORB crossings, 25% contain enhancements.

After analyzing the catalog, an algorithm was created to automatically find dose enhancements with a duration of up to 20 s. The results of the algorithm were compared with the selection of an expert. The algorithm successfully determines the position of 77% of the enhancements. Using the algorithm, a search for enhancements over the entire period of operation of the DEPRON device was carried out.

Enhancements in charged particle fluxes and doses are observed at 16% of orbit ORB crossings (25% in January 2017). The contribution of enhancements at the intersection of ORB was 15%, and in the dose of whole ORB for January 2017 - 2.5%. Most of the dose enhancements are at the outer edge of the ORB, L~6. The enhancements frequency increases as the solar wind speed increases. The enhancements do not pose a serious radiation hazard to the spacecraft crew; their contribution is about 1% to the daily dose for the entire time of instrument operation.

In a quiet geomagnetic environment $AE < 500$, periods are observed when bursts are absent for several turns in a row. Intense enhancements $> 7 \mu\text{Gy/s}$ are observed at elevated AE index. The number of enhancements in the northern hemisphere and in the southern is almost the same, while on the night side the number of enhancements is an order of magnitude greater.

1. Yahnin A.G. et al. Relativistic electron precipitation as seen by NOAA POES // *J. Geophys. Res. sp. Phys.* 2016. V. 121. No. 9. P. 8286–8299.
2. Yahnin A.G. et al. Ground pulsation magnetometer observations conjugated with relativistic precipitation electron // *J. Geophys. Res. sp. Phys.* 2017. V. 122. No. 9. P. 9169–9182.

Классификация изолированных суббурь при учете условий генерации и характеристик фаз

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

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

²*Полярный геофизический институт*

Выполнена нейросетевая классификация изолированных событий суббурь, обусловленных воздействием потоков плазмы солнечного ветра на магнитосферу Земли при учете следующих классификационных признаков: продолжительность фазы зарождения, длительность фазы развития, фазы восстановления и всей суббури, а также поведения компоненты B_z межпланетного магнитного поля (ММП). Под поведением компоненты B_z подразумевается ее поворот к югу определяющий начало фазы зарождения суббури. Эти классификационные признаки характеризуют особенности условий генерации различных фаз изучаемых суббурь. Они приняты в качестве входных рядов для создаваемых самообучающихся нейросетевых моделей.

Материалом для исследования послужили изолированные суббури, выбранные по вариациям минутных значений индекса AL за все зимние сезоны (ноябрь, декабрь, январь) с 1995 г. по 2012 г. При этом использованы следующие критерии отбора: 1) временной интервал от предыдущего возмущения не менее 3-

Geomagnetic storms and substorms

х часов; 2) интенсивность магнитной бухты в максимуме $250 \text{ нТл} < \text{Max}|AL| < 1300 \text{ нТл}$; 3) длительность суббури $< 3 \text{ ч}$; 4) окончание суббури: время UT, после которого величина возмущения $|AL| < 0.2\text{Max}|AL|$. Отбор суббурь по критериям 1–3 проводился визуальным просмотром суточных вариаций AL индекса. Дополнительным признаком появления суббури являлось наличие соответствующих вариаций в индексах магнитной активности SYM/H(D) или ASYM/H(D). Всего было отобрано 106 суббурь, удовлетворяющих сформулированным выше условиям.

Применяемая ИНС реализует разработанные ранее алгоритмы машинного зрения для самообучения на прецедентах [1]. Результатом работы классификационной нейросети было формирование графических образов набора указанных выше классификационных признаков. Каждый такой образ содержит информацию о продолжительности фаз рассматриваемых суббурь. В результате нейросетевых экспериментов суббури были классифицированы на пять классов. Их характеристики следующие: класс 1 – продолжительное развитие и восстановление суббури с укороченной фазой зарождения; класс 2 - продолжительная фаза зарождения; класс 3 - равновеликие фазы; класс 4 - относительно продолжительная фаза развития; класс 5 - относительно короткая фаза восстановления.

Причинно-следственные связи продолжительности суббуревых фаз с параметрами солнечного ветра и ММП обуславливают физические особенности [2] обнаруженной классификации.

1. *Barkhatov N.A., Vorobjev V.G., Revunov S.E., Barkhatova O.M., Revunova E.A., and Yagodkina O.I., Neural network classification of substorm geomagnetic activity caused by solar wind magnetic clouds // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 205, 2020. doi:10.1016/j.jastp.2020.105301*

2. *Бархатов Н.А., Воробьев В.Г., Ревунов С.Е., Ягодкина О.И. Проявление динамики параметров солнечного ветра на формирование суббуревой активности // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 57. №3. С. 273–279. 2017.*

События экстремального роста геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач на Кольском полуострове и в Карелии за 11 лет наблюдений

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко², Я.А. Сахаров^{1,2}, В.Н. Селиванов³

¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты

²Геофизический центр РАН, г. Москва

³Центр физико-технических проблем энергетики Севера ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты

E-mail: belakhov@mail.ru

В данной работе проанализированы случаи с экстремальными значениями геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) в линиях электропередач (ЛЭП) на Кольском полуострове и в Карелии за 2011-2022 года. Система регистрации ГИТ создана Полярным геофизическим институтом и Центром физико-технических проблем энергетики Севера ФИЦ КНЦ РАН, система включает в себя 5 станций. Система регистрации ориентирована в основном в направлении север-юг. Регистрация ГИТ ведется непрерывно с 2011 года, поэтому к 2022 году наблюдения ведутся уже 11 лет и включают в себя 24-25 циклы солнечной активности. Данные ГИТ сопоставлялись с данными магнитометров ПГИ в обсерваториях "Ловозеро", "Лопарская", с данными магнитометров сети IMAGE.

При анализе событий в качестве основной выбрана станция Выходной (VKH). Рассмотрено около 15 случаев, когда значения ГИТ на станции VKH превышали 30 Ампер. Например, это сильные магнитные бури 17-18 марта 2013, 17-20 марта 2015, 7-8 сентября 2017, 27-29 мая 2017, 25-27 августа 2018. Эти бури были вызваны корональным выбросом массы (СМЕ). То есть, как правило, именно СМЕ магнитные бури приводят к экстремальным значениям ГИТ. Наибольшие скачки ГИТ происходят во время суббурь, связанных с развитием западного электроджета (отрицательные магнитные бухты). При этом развитие вихревых токовых систем во время суббури (P3 геомагнитных пульсаций) может давать заметный вклад в рост ГИТ для ЛЭП, ориентированной в направлении север-юг. Рассматриваются различные геофизические условия (индексы геомагнитной активности, параметры солнечного ветра и ММП) для разных событий, приводящие к экстремальным значениям ГИТ.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 21-77-30010 (Пилипенко В.А., Сахаров Я.А.).

Каталог геомагнитных событий с 2013 года

О.В. Мингалев¹, В.М. Митрофанов¹, Т.Г. Когай¹, О.В. Хабарова², А.М. Мерзлый³

¹*Полярный геофизический институт, Анатиты; e-mail: mingalev_o@pgia.ru*

²*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва*

³*Институт космических исследований РАН, Москва*

Для проведения анализа экспериментальных данных для событий с геомагнитными возмущениями различных типов составлен каталог событий с 2013 года по 2022 год с разбиением на четыре группы по уровню возмущения геомагнитных индексов Dst и SYM_H. Созданный каталог позволяет отслеживать процесс развития каждого события и определить интервалы времени, для которых нужно анализировать доступные данные спутниковых и наземных измерений.

В каталоге в первую группу внесены события, в которых возмущения индексов Dst и SYM_H присутствовали, но не достигли уровня слабой магнитной бури, то есть один из индексов Dst или SYM_H не опускался ниже -30 нТл. В эту группу событий входят, в том числе, внезапные сжатия магнитосферы, после которых не было магнитной бури, а также суббури без магнитных бурь. Второй группой событий в каталоге являются слабые магнитные бури, во время которых один из индексов Dst и SYM_H имеет минимальное значение в пределах от -50 нТл до -30 нТл. Третьей группой событий являются средние магнитные бури, во время которых один из индексов Dst и SYM_H имеет минимальное значение в пределах от -100 нТл до -50 нТл. Четвертой группой событий являются сильные магнитные бури, во время которых один из индексов Dst и SYM_H имеет минимальное значение менее -100 нТл.

Для каждого события в отдельной папке построены «рабочие» (в автоматическом режиме) графики изменения по времени следующих параметров солнечного ветра в точке Лагранжа L_1 : компоненты в системе координат GSE и величина для магнитного поля и для скорости солнечного ветра, а также концентрация и температура протонов. Кроме того, построены графики изменения по времени геомагнитных индексов кольцевого тока Dst и SYM_H, график индекса Kp, а также графики характеризующих наличие суббури геомагнитных индексов AL и AU. При этом записываются файлы с данными, по которым построены графики.

Отметим, что геомагнитные индексы AL и AU в цифровом виде доступны только до июня 2018 года включительно. Начиная с июля 2018 года доступны только рисунки с графиками (так называемые quick look). Поэтому для событий начиная с июля 2018 года использовалась программа оцифровки по этим рисункам значений этих индексов и запись полученных приближенных значений в форматные файлы.

Нарушение замагниченности электронов в ионном тонком токовом слое ближнего хвоста магнитосферы Земли

О.В. Мингалев¹, П.В. Сецко¹, М.Н. Мельник¹, И.В. Мингалев¹,
Х.В. Малова^{2,3}, А.М. Мерзлый³, Л.М. Зелёный³

¹*Полярный геофизический институт, Анатиты; e-mail: mingalev_o@pgia.ru*

²*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва*

³*Институт космических исследований РАН, Москва*

Данные спутников миссии MMS показывают, что в тонком токовом слое (ТТС) ближнего хвоста магнитосферы могут присутствовать и играть важную роль две популяции электронов с близкой температурой около 0.5-0.7 КэВ: фоновые электроны, которые дают вклад в полную концентрацию на краях слоя примерно 70-80%, а также встречные потоки электронов вдоль силовых линий магнитного поля из долей хвоста с гидродинамической скоростью сравнимой с их тепловой скоростью. Из-за поверхностных электростатических эффектов на аппаратах миссии MMS электронные датчики фактически обрезаны ниже энергии электронов примерно 0.3 КэВ, что делает невозможными более детальные измерения структуры функции распределения электронов, а также усиливает роль численного моделирования и ставит задачу корректного учета обеих популяций электронов в численных моделях ТТС ближнего хвоста магнитосферы.

В работе с целью проверить для электронов применимость приближения замагниченности в магнитном поле протонного ТТС (согласно оценкам, в таком поле электроны находятся на грани замагниченности) проводится расчет большого числа фазовых траекторий электронов с контролем значений магнитного момента вдоль

Geomagnetic storms and substorms

траектории. Так же в нескольких точках токового слоя строятся графики функции распределения как фоновой популяции электронов (для которой на краях токового слоя функция распределения считается максвелловской с нулевой гидродинамической скоростью), так и функции распределения от их встречных продольных потоков (на краях токового слоя функция распределения потока считается максвелловской с направленной в сторону ТТС продольной гидродинамической скоростью). Расчеты показали, что при пересечении протонного ТТС магнитный момент тепловых электронов изменяется в разы, то есть он не является приближенным интегралом вдоль траектории. Это означает, что в центральной области протонного ТТС тепловые электроны размагничиваются. При этом в центре ТТС функция распределения фоновых электронов близка к изотропной, в то время как функция распределения электронов от встречных продольных потоков демонстрирует заметное нарушение гиротропности.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что для корректного моделирования в ТТС ближнего хвоста магнитосферы электростатических эффектов и вклада электронов необходимо численно решать для них уравнение Власова с учетом обеих популяций электронов.

Низкочастотные пульсации в геоиндуцированных токах

Я.А. Сахаров^{1,2}, В.А. Билин^{1,2}, В.Н. Селиванов², Т.В. Аксенович², Н.В. Ягова³

¹Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

²Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия

³Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

Быстрые изменения величины геомагнитного поля в высоких широтах могут вызывать генерацию геоиндуцированных токов в проводящих системах, таких как протяженные кабели, трубопроводы, линии электропередач. В то же время, с различными магнитосферными процессами связаны геомагнитные пульсации в диапазоне частот от единиц Гц до первых миллигерц. В работе обсуждаются события, в которых низкочастотные пульсации в геомагнитном поле совпадают с пульсациями, зарегистрированными в токах, протекающих в нейтральных трансформаторных подстанциях в высоких широтах.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда грант № 21-77-30010 <https://rscf.ru/project/21-77-30010/>.

Функция отклика ЛЭП «Карельский транзит» на однородное геоэлектрическое поле

В.Н. Селиванов¹, Т.В. Аксенович¹, Я.А. Сахаров^{1,2}, В.А. Билин^{1,2}, А.М. Мёрзлый^{3,5}, С.А. Золотой⁴

¹Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия

²Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

³Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

⁴Геоинформационные системы, Минск, Беларусь

⁵Совет по космосу РАН, Москва, Россия

Для расчёта величины геомагнитно индуцированных токов в линиях электропередач по данным о теллурических полях необходимо построить схему замещения реальных цепей и определить отклик полученной схемы на возможные внешние воздействия геоэлектрических полей. При изменении конфигурации линий, числа подстанций и состава оборудования на подстанциях и прочих обновлениях сети изменится отклик системы на внешние воздействия, то есть возникает необходимость определить новую функцию отклика. В докладе представлена новая схема замещения для линии электропередач «Карельский транзит», в которой учтены изменения, внесённые за последние 10 лет, и рассчитанная функция отклика для постоянного однородного геоэлектрического поля.

Работа поддержана грантом № 22-29-00413 РФ (<https://rscf.ru/project/22-29-00413/>).

Energetic electrons flux variations for strong geomagnetic storms in the period from 2013 to 2018

G. Behailu^{1,2,*}, M. Nigussie^{1,2}, G.D. Reeves³

¹*Department of Physics, College of Science, Bahir Dar University, P. O. Box 79, Bahir Dar, Ethiopia*

²*Washera Geospace and Radar Science Laboratory, Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia*

³*Space Science and Applications Group, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, USA*

*E-mails: geletaw2003@yahoo.com, geletaw.behailu@bdu.edu.et

The interplanetary shock caused a major event on geomagnetic activity and in the variations of observation of the energetic electrons flux in Earth's outer radiation belt. The impact of geomagnetic storm on the energetic particles population of the radiation belts were studied by many researchers although their results demonstrated an inconsistent for the probability of occurrence of enhancement, depletion and no change events of the flux. In this study we used Relativistic Electron - Proton Telescope (REPT) energetic electrons flux observations from the Energetic particles, Compositions and Thermal plasma (ECT) instrument suite of the Van Allen probe satellites. This work focuses on analyzing the effects of geomagnetic storm on radiation belt energetic electron fluxes based on solar wind and IMF parameters as well as magnetic indices for the period from 2013-2018. The results illustrated that in all selected geomagnetic storm events the energetic electrons flux enhancements have been observed in the recovery phase and depletion of fluxes occurred in the main phases for energy channel of 1.8 MeV and 3.4 MeV. The energetic electron fluxes post-storm (recovery phase of the storm) were increased dramatically in the outer radiation belt region, with maximum at $L \sim 3.5$. Moreover, for considering geomagnetic storm in 2013 using energy channels from 1.8 MeV up to 7.7 MeV, with L shell of 1–6, we have obtained the energetic electron fluxes were shown enhancement during the recovery phase and deep depletion during the main phase of the storm. Future work will still concentrate on studying the physical processes occurring during this phase of storms and attempts to investigate the causality of the possible mechanisms leading to this enhancement in radiation belt electron fluxes.

Keywords: Geomagnetic storm, Van Allen probe, Radiation belt, RBSP, ECT, REPT, Energetic particle flux

Analysis of reflected ions in quadrupolar minimagnetosphere by means of Particle-in-Cell simulations and KI-1 experiment

A.V. Divin¹, J. Deca², I.P. Paramonik¹, Z. Dahua¹, M.S. Rumenskikh³,
A.A. Chibrinov³, A.G. Berezutsky³, Yu.P. Zakharov³, I.F. Shaikhislamov³

¹*Department of Earth's Physics, St. Petersburg State University, St. Petersburg 198504, Russia;*

e-mail: andrey.div@gmail.com

²*Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP), University of Colorado Boulder, 80303, USA*

³*Laser Physics Department, Institute of Laser Physics, Novosibirsk, Russia*

In this study we present results of three-dimensional Particle-in-Cell (PIC) simulations, which are used to interpret and complement the laboratory experiment KI-1 (Novosibirsk) on plasma flow interaction with a non-dipolar magnetic field. Mini-magnetospheres are kinetic-scale objects, which are formed by the interaction of a plasma flow (e.g., the solar wind), and a weak magnetic field source. Unlike "large" magnetospheres (Earth, Jupiter), the sizes of these objects are comparable to or smaller than characteristic scales of plasma like ion gyroradius or ion inertial length. Such objects are formed around magnetized spacecraft or asteroids, near the Lunar surface (because parts of the lunar crust have strong remanent magnetization on small spatial scales). Past numerical simulations of mini-magnetospheres are performed by means of hybrid or Particle-in-Cell methods and typically assume dipole field as a magnetic field source. These simulations reveal that the normal Hall electric field is formed which scatters/deflects ions non-adiabatically. Lunar surface magnetic fields display complicated non-dipolar magnetic field topology, which is modelled by a quadrupolar field source in the KI-1 experiment. The main experimental result of this work is

Fields, currents, particles in the magnetosphere

measurement of the reflected ion fluxes. We suggest 2-stage reflection in the quadrupolar case: firstly due to electrostatic potential (effective for particles with energies comparable to or smaller than the mean kinetic energy of the flow); secondly, thermal particles with energies above the mean kinetic energy become magnetically reflected. The mechanism is attributed to a much steeper magnetic field (which is $\sim r^{-4}$), hence the interaction resembles that with the solid wall.

A. D. acknowledges support from RNF project 23-22-00386 “Investigation of three-dimensional kinetic properties of energetic cloud expansion by means of laboratory modelling and numerical simulations”.

Study of the relation between energetic particle precipitation and geomagnetic disturbance indices

D.V. Grankin¹, I.A. Mironova¹, G.A. Bazilevskaya²

¹*St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia; e-mail: d.grankin01@gmail.com*

²*Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Energetic particle precipitation (EPP) plays a key role in changing the chemical composition of the Earth's polar atmosphere. Particles emitted by the Sun in the form of the solar wind (SW) reach the Earth's magnetosphere, accelerate to high energies and reach the dense layers of the atmosphere, starting chains of chemical reactions that lead to a change in the chemical composition of the atmosphere. Thus, EPP leads to ionization of the atmosphere. In this work, using experimental data from two sources (LPI database and OMNIWEB), we traced the relationship between EPP and geomagnetic activity indices. The region above Apatity (67.57N, 33.56E, L=5.3) was studied in this work.

The work was carried out at the St. Petersburg State University "Ozone layer and upper atmosphere research laboratory" with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under contract 075-15-2021-583.

Comparison of the aurorae and SAR arc dynamics with the energetic particle fluxes in plasmopause vicinity based on measurements aboard the Van Allen probe. Case Study

I.B. Ievenko, S.G. Parnikov

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia; e-mail: ievenko@ikfia.ysn.ru

Stable auroral red (SAR) arcs arise due to the overlap of the ring current with the outer plasmasphere (plasmopause), where fluxes of energetic ions heat the plasmaspheric electrons. The resulting downward flux of superthermal electrons along magnetic field lines increases the ambient electron temperature at heights of the ionosphere F_2 region in the form of a subauroral electron temperature peak (T_e peak). As a result, the intensity of the red line of atomic oxygen in the SAR arc increases. The literature is dominated by the idea that SAR arcs are observed during the recovery phase of magnetic storms. Our previous studies of the subauroral luminosity at the Yakutsk meridian showed that red arcs arise in the boundary vicinity of diffuse aurora (DA) during the substorm growth and expansion phase. This work presents the comparison results of the energetic particle fluxes measurement and plasma parameters in the inner magnetosphere aboard the VAP-A satellite with simultaneous observations with all-sky imagers of the aurora dynamics at st. Zhigansk (GMLat 62°, GMLon 196°) and the SAR arc occurrence at subauroral st. Maimaga (GMLat 58°, GMLon 202°). The event of intense substorm with $AL \sim -1500$ nT during a weak magnetic storm with SYM-H ~ -40 nT minimum on November 24, 2016 is considered.

As a result of the observational data analysis, the following was obtained: 1) The red arc began to form in the DA boundary vicinity from ~ 12 UT (~ 2010 MLT) during a convection activity at the southward IMF B_z before the substorm expansion onset. Intense aurorae were observed in the geomagnetic latitudes interval of 62-65° at this time.

2) At 1300-1305 UT, the SAR arc registered at latitudes of 57.5-59° and coincided with the projection according to the Tsyganenko TS04D model of the overlapping region of outer plasmasphere by the H⁺ and O⁺ ion fluxes with energies of ~20-50 keV. 3) The DA boundary in the 557.7 and 630.0 nm emissions was conjugated with the projection of sharp increase onset of the electron flux with an energy of 0.2–4 keV in the plasmopause vicinity at this time. 4) After the substorm expansion onset at 1326 UT, the westward and southward propagation of the intense aurorae region was observed. The VAP-A satellite registered the dispersionless increase of electron flux by two orders of magnitude in the energy interval ~15-50 keV at the crossing moment of its projection location by the intense aurorae front at 1330 UT. 5) Further, the irregular variations of magnetic field were registered in the magnetosphere in the frequency interval of 0.025-0.05 Hz on the L-shells magnetically conjugated with the region of pulsating aurorae during the substorm recovery phase.

The work was performed as part of State Task no. 122011700172-2. It was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 21-55-50013.

Formation of plateau regions in the magnetospheric plasma pressure distribution and large-scale field-aligned currents

I.P. Kirpichev¹, E.E. Antonova^{2,1}

¹*Space Research Institute (IKI) Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

²*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, 119991, Russia*

e-mails: *ikir@iki.rssi.ru, elizaveta.antonova@gmail.com*

Large-scale distributions of field-aligned currents of Iijima and Potemra (1976) contains the regions between current sheets where field-aligned currents are very weak or wholly absent. It is ordinarily considered, that large-scale field-aligned currents are generated due to formation of plasma pressure gradients along the isolines of flux tube volumes. The appearance of regions where field-aligned currents are near to zero can be naturally connected with the appearance of regions in the plasma pressure distribution near the equatorial plane where plasma pressure gradients are very small. Such regions can be named the plasma pressure plateaus. The plasma pressure plateaus were first observed on INTERBALL/Tail probe, however, only in two case studies. Results of THEMIS multisatellite observations provide the possibility to observe and study the evolution plateau formation during February, 2009 (Kirpichev and Antonova 2023). We present the latest results of the pressure plateau observations and discuss their importance for the study of the field-aligned current nature.

Iijima T. and Potemra T.A. (1978). *J. Geophys. Res.*, 83, 599–615. doi:10.1029/JA083iA02p00599

Kirpichev I.P., Antonova E.E. (2023). *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 63. doi:10.1134/S001679322260059X

Spatial distribution of the turbulent diffusion coefficient in the plasma sheet of the Earth's magnetotail and its dependence on the interplanetary magnetic field and geomagnetic activity by MMS data

D.Yu. Naiko^{1,2}, I.L. Ovchinnikov¹, E.E. Antonova^{1,3}

¹*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Physics Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

³*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

The results of a preliminary analysis of the distribution of eddy diffusion coefficients depending on the coordinates in the plasma sheet of the Earth's magnetosphere using publicly available Magnetospheric Multiscale Mission (MMS) data are presented. The data of measurements of the hydrodynamic velocity of plasma ions with FPI/DIS devices with

Fields, currents, particles in the magnetosphere

a time resolution of $1/4.5 \text{ s}^{-1}$ were used to calculate the turbulent diffusion coefficient. The localization of the satellites inside the plasma sheet was fixed by the concentration and temperature of plasma ions according to the data of the same instruments and the value of the plasma parameter β , which was calculated using the magnetic field according to the data of the FGM instruments.

The results obtained by Stepanova et al. (2011) during a similar analysis of THEMIS mission data were confirmed. The dependence of the turbulent diffusion coefficient on the interplanetary magnetic field and geomagnetic indices is analyzed according to OMNI data. It is shown that for the southern orientation of the interplanetary magnetic field, the value of the coefficients of turbulent diffusion is several times greater than for the northern one. There is also a similar dependence of the diffusion coefficient on the level of geomagnetic activity.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-22-00076.

Stepanova M., Pinto V., Valdivia J.A., Antonova E.E. (2011). Spatial distribution of the eddy diffusion coefficients in the plasma sheet during quiet time and substorms from THEMIS satellite data. *J. Geophys. Res.* Vol. 116, A00I24. doi:10.1029/2010JA015887

Auroral oval long-term changes linked to secular variations in Earth's magnetic field and geomagnetic activity

J.A. Ochoa¹, B.S. Zossi^{2,3} and A.G. Elias^{1,2,3}

¹*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucuman, Argentina*

²*Laboratorio de Ionosfera, Atmosfera Neutra y Magnetosfera (LIANM), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucuman, Argentina*

³*INFNOA, CONICET-UNT*

Changes in the Earth's magnetic field and in geomagnetic activity through solar wind conditions can both deeply modify the auroral ovals, which are the regions of most frequent precipitation of energetic particles causing aurora. These two auroral change drivers present long-term trends: the well-known magnetic field secular variation, and the Gleissberg cycle of solar and geomagnetic activity that can also be considered as a secular variation. In this work both induced long-term changes are compared by estimating the variations in the auroral zone boundaries and area as a consequence of each one acting independently along the period 1932-2022. That is the last 9 decades, which is the period covered by Kp geomagnetic activity index availability. In the first case, the IGRF is used to estimate the time-evolution of the zone enclosed by the fixed geomagnetic latitudes typical for auroral boundaries during quiet geomagnetic activity levels considering steady interplanetary conditions and assuming scaling relations for a purely dipolar field. In the second case, under fixed Earth's magnetic field conditions, a Kp-based model is used considering an 11-year running mean of this index in order to filter out short-term variations typical of geomagnetic activity. A comparative analysis is then made between the auroral ovals modifications along these last 9 decades.

Spectra of fluctuations of electric and magnetic fields in the plasma sheet of the Earth's magnetotail by MMS data

I.L. Ovchinnikov¹, D.Yu. Naiko^{1,2}, E.E. Antonova^{1,3}

¹*Skobel'syn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Physics Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

³*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

The results of the analysis of the characteristics of the spectra of turbulent fluctuations of the electric and magnetic fields in the plasma sheet of the Earth's magnetosphere using the publicly available data of the Magnetospheric

Multiscale Mission (MMS) are presented. The data of measurements of the electric field by EDP instrument with a time resolution of 32 s^{-1} and the magnetic field by FGM instrument with a time resolution of 16 s^{-1} were used. The localization of the satellites inside the plasma sheet was fixed by the concentration and temperature of the plasma ions obtained from the data of the FPI/DIS instruments.

A preliminary analysis of the shape of the fluctuation spectra in the frequency range from 10^{-3} Hz to 16 Hz has been carried out. The dependency of the power spectral density (PSD) on the frequency were approximated by power dependences $\text{PSD} \propto f^{-\alpha}$ at frequency intervals $f = 0.014\text{--}0.5$, $f = 0.5\text{--}1$, $f = 1\text{--}2$, $f = 2\text{--}4$, $f = 4\text{--}8 \text{ Hz}$ for both electric and magnetic fields and $f = 8\text{--}16 \text{ Hz}$ for electric field only. We obtain the values of spectra indices for the electric field PSD and the magnetic field PSD. We do not observe the noticeable difference between x -, y - and z -components of fluctuations. We have not found also any correlations of the spectral indices with levels of fluctuations, solar wind parameters or geomagnetic indices at this frequency range. In contrast, at higher frequencies strong correlation between the spectral indices and the level of fluctuations is observed.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-22-00076.

How the PIC-simulation complements experiments with laser plasma at the KI-1 facility for studying diamagnetic cavities

I.P. Paramonik^{1,2}, A.V. Divin¹, A.A. Chibranov², I.V. Zaitsev^{1,3},
M.S. Rumenskikh², I.F. Shaikhislamov², V.S. Semenov¹

¹*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia; e-mail: gorparamonik@gmail.com*

²*Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

³*University of Helsinki, Helsinki, Finland*

The processes of spherically symmetric plasma expansion from a point (or relatively small) source are observed in various astrophysical contexts in space plasma. Supernova explosions, coronal mass ejections (CME), experiments in the Earth's magnetosphere (AMPTE, CRRES), dust particle evaporation are examples of such events which happen over a vast range of scales. In these processes the external magnetic field is pushed out by the expanding plasma and a diamagnetic cavity is formed. Direct observations and explorations of these phenomena in space are difficult, hence laboratory experiments and numerical simulations act as important tools to study physics of the phenomena. We present results of two- and three-dimensional simulations using the parallel kinetic particle code iPIC3D. Parameters of the simulations are close to those of KI-1 experimental facility (ILP, Novosibirsk). For example, plasma clouds contain ions of hydrogen and carbon (C^+ or C^{4+} species), the expansion has sub-alfvenic regime and an ionic gyroradius is close to a cavity size. The simulation reproduces such observed features like: cavity formation, instability development at the diamagnetic boundary and the Hall field generation. In this work, we compare the results of simulations and experiments and show what new information about the evolution of the cavity is obtained. Particular attention is paid to the Hall magnetic field and the different motions of hydrogen and carbon ions.

Shock wave magnetic field jumps statistics

P.I. Shustov^{1,2}, M.E. Gedalin³, A.V. Artemyev^{1,4}, A.A. Petrukovich¹

¹*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*HSE University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

³*Department of Physics, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva 84105, Israel*

⁴*Department of Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, California, USA*

In this work we statistically investigate the dependence between maximum magnetic field jumps through the magnetosphere shock wave and plasma's Mach number. We compare the statistics of 2797 Magnetospheric Multiscale

Fields, currents, particles in the magnetosphere

(MMS) Mission shock wave cross section events with theoretical relation for these parameters. Based on this comparison we provide an estimation for the electrostatic potential jump for the magnetic shock waves. Also, we compare the in-situ observations of magnetic field across shock waves with related solar wind magnetic field data, which often used for estimation of upstream magnetic field and provide the statistics for these observations.

Simultaneous ground-based and DMSP F16 spacecraft observations of the dayside polar cusp under northward IMF: case study

V.G. Vorobjev¹, O.I. Yagodkina¹, E.E. Antonova^{2,3}

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

²*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

³*Space Research Institute Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

Ground-based optical observations at the Barentsburg observatory (Spitsbergen) during DMSP F16 spacecraft pass through the dayside polar cusp under northward IMF on December 22, 2003 were examined. Precipitating particles observations with F16 allowed us to determine both the location of equatorward and poleward cusp boundaries and latitudinal structure of precipitation near geomagnetic noon. According OMNI Web data IMF Bz component turned northward about 12 min before cusp crossing and kept northward direction about more 12 min after this one. In ground optical observations the cusp was associated with luminosity in the 630.0 nm emission showing a smooth maximum of ~1 kR in the northward half of cusp precipitation. At the north site the cusp was edged with the rayed arc (RA) and about 02° latitudinal width burst in the electron energy flux. The average energy of electrons was ~0.13 keV in the cusp precipitation and ~0.24 keV with a spectral maximum at about 0.4 keV in RA. The brightness of RA in the 557.7 nm auroral emission during positive Bz changed about from 1 to 2 kR to be in a good correlation with AL index of magnetic activity. Main features of the observed event and possible mechanisms of RA formation are discussed.

Асимметрия магнитного поля Земли в двух полушариях

А.А. Любич, Т.А. Яхнина, А.Г. Демехов, Т.А. Попова

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

Проведены расчеты магнитного поля Земли на высотах орбит спутников NOAA POES в северном и южном полушариях. Расчеты проводились в исправленных геомагнитных координатах AACGM (Altitude-Adjusted Corrected Geomagnetic Coordinates) с использованием модели внутреннего поля Земли IGRF (International Geomagnetic Reference Field) в пакете программ GEOPACK-2008, разработанных Н.А. Цыганенко. Показано, что по сравнению с Северным полушарием магнитное поле в Южном полушарии может быть ниже более чем на 10 000 нТл. Разница составляет ~40% на широте 50°, уменьшаясь до ~3% на широте 80°. Поле в Южном полушарии понижено на 30-90° восточной долготы AACGM, в долготном секторе Южно-Атлантической магнитной аномалии. Оценено влияние понижения магнитного поля на величину питч-угла заряженных частиц на высотах орбит спутников NOAA POES. Расчеты для разных лет (с 2014 по 2023 годы) показали, что хотя магнитное поле меняется со временем, но эти изменения не являются значительными – на широте 60° поле изменилось не более чем на 500 нТл в Северном полушарии и уменьшилось не более чем на 700 нТл в Южном полушарии.

Способы зондирования аврорального овала с использованием КА

А.В. Тertyшников

Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова, Москва, Россия

Рассмотрены способы зондирования аврорального овала с использованием КА. Приведены примеры результатов радиопросвечивания авроральных овалов сигналами КА ГНСС ГЛОНАСС/GPS высокоширотной ионосферы полярных шапок Земли в Арктике и Антарктике. Выявлены следы аврорального овала в широтном распределении ионосферных задержек сигналов КА ГНСС. При оценке полученных результатов использованы результаты моделирования аврорального овала по модели SIMP2 и Г.В. Старкова. Показана необходимость создания модели аврорального овала по полному электронному содержанию ионосферы (ПЭС). Предложено техническое решение по диагностике положения аврорального овала по потокам низкоэнергичных частиц, регистрируемых спектрометрами КА. Предложены критерии для диагностики положения авроральных овалов. Показана необходимость создания модели аврорального овала по полному электронному содержанию ионосферы (ПЭС).

Основные результаты численного моделирования глобального распределения электрических полей в ионосфере Земли с учетом специфики электродинамического взаимодействия ионосфер противоположных полушарий

В.М. Уваров

Санкт-Петербургский университет путей сообщения, Санкт-Петербург, Россия

Дан обзор полученных к настоящему времени результатов по численному моделированию глобального распределения электрических полей в ионосфере Земли с учетом специфики электродинамического взаимодействия ионосфер противоположных полушарий. Постановка соответствующей краевой задачи была опубликована в 1981 году [1]. На ее основе была разработана аналитическая модель, воспроизводящая известные устойчивые закономерности, полученные по данным прямых измерений, которая была использована в дальнейшем при численном моделировании полярной ионосферы. От идеализации входных параметров модели (распределение проводимости и продольных токов) удалось отказаться при разработке численной модели глобального распределения полей [2]. Сложность разработки численной модели обусловлена такими особенностями постановки задачи как: разделение сферы на три подобласти, сшивка решений по потенциалу и нормальной компоненте тока, нелокальность граничных условий и несамосопряженность операторов эллиптических уравнений для потенциала. Особое внимание уделено модифицированному варианту численной модели, в основе которой лежит современный численный метод, основанный на концепции обобщенного решения, позволяющий получать устойчивое численное решение даже при наличии разрывов в распределении проводимостей (данные разрывы определяют разрывы коэффициентов при старших производных в системе двумерных эллиптических уравнениях для потенциала). Проиллюстрирована зависимость числа итераций от величины скачка разрыва проводимости. Представлен новый вариант численной модели с выделением подобласти для учета неоднородностей подсеточного масштаба в распределении проводимостей и продольных токов [3].

Сформулирована постановка задачи, описывающая трехмерное глобальное распределение электрических полей в ионосфере Земли.

Приведена постановка задачи для разработки эмпирической модели электрического поля с использованием банка данных прямых измерений, которая предусматривает процедуру фильтрации вихревой составляющей полей. Последняя может быть обусловлена, в частности, самой спецификой накопления банка данных.

1. Уваров В.М. Возможный подход к проблеме возбуждения электрических полей и токов, обусловленных Ву компонентой ММП // Геомагнетизм и аэрономия. 1981. Т.21, №1, с. 114 – 120.

2. Уваров В.М., Самокиш Б.А. Электрические поля в ионосфере Земли. Численные модели // Монография. СПб., ПГУПС, 2009, С. 64.
3. Уваров В.М. Учет неоднородностей подсеточного масштаба в рамках численной модели глобального распределения электрических полей в ионосфере Земли // Известия ПГУПС. 2022. Т. 19, вып. 3, с. 600 – 608. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-600-608

Исследования субавроральной ионосферы с помощью геофизических спутников и методом коротковолновой радиолокации

В. Халипов¹, Д. Сайбек², Г. Котова¹, А. Степанов³, А. Леонович⁴

¹ИКИ РАН, г. Москва; e-mail: khalipov@iki.rssi.ru

²NASA/GSFC, Greenbelt, MD, USA

³ИКФИА СО РАН, г. Якутск

⁴ИСЗФ СО РАН

В самом начале 70-х годов метод регистрации наклонно-отраженных сигналов от ионосферы в коротковолновом диапазоне стал развиваться в ИКФИА на станциях Якутск (L=3), Жиганск (L=4) и Тикси (L=5.6). В это же время проводились прямые (in situ) измерения тепловой и энергичной плазмы на спутниках ОРЕОЛ-1 – 3, осуществлялись измерения кольцевого тока на спутнике АМРТЕ/ССЕ, плазменные измерения на спутниках серии DMSP и на высокоапогейных спутниках. По имеющимся данным выявлены характерные особенности развития поляризованного джета (ПД).

1. По наземным ионозондовым измерениям на станции Якутск в течение нескольких лет установлено, что ПД в околополночном секторе возникает в области разрыва Харанга на взрывной фазе суббури. Это свидетельствует о том, что механизмом развития ПД является генератор напряжения в приэкваториальной области магнитосферы.
2. По измерениям на долготной цепочке станций Магадан (L=2.9, λ=158°), Якутск (L=3, λ=130°), Подкаменная Тунгуска (L=3, λ=90°) установлено, что источник, ответственный за формирование ПД перемещается с востока на запад со скоростью 3 часа MLT за час UT, что соответствует дрейфу ионов кольцевого тока с энергией 25 кэВ.
3. По ионозондовым наблюдениям обнаружен максимум регистрации ПД в 18 часов MLT, соответствующий максимуму регистрации «носовых» явлений энергичных ионов кольцевого тока.
4. По многочисленным сопоставлениям измерений энергичных ионов кольцевого тока на спутнике АМРТЕ/ССЕ с синхронной регистрацией ПД на сети ионосферных станций установлено, что ПД развивается на внутренней границе кольцевого тока.
5. По наблюдениям на спутниках DMSP обнаружено, что над полосой ПД формируется восходящий поток ионов со скоростью до 1 – 1.5 км/с. Синхронные измерения на спутниках ИНТЕРБОЛ-1 и МАГИОН-5 в плазмосфере на тех же L-оболочках показывают возрастание концентрации холодных ионов. Это и есть проявление ПД в плазмосфере.

На основе анализа данных измерений концентрации (N_e) и температуры (T_e) электронов прибором IZOPROB на спутнике ОРЕОЛ-3 за 2.5 года работы получено:

- а) Узкие - 2-3 градуса по широте - структуры повышенной T_e до 2500-3500 К располагаются в таком же узком и глубоком провале N_e . Они образуются при развитии суббури. Измерения со спутников DMSP показывают, что эти структуры наблюдаются в полосе ПД и примыкают с экваториальной стороны к диффузной авроральной зоне.
- б) Наземные интерферометрические измерения показывают, что в полосе ПД и сопутствующей красной дуги температура нейтральной атмосферы повышена до 1200-1400 К относительно среднего уровня ~1000 К, который наблюдается в невозмущенные дни месяца.
- в) По измерениям на спутниках Ореол-3, ИНТЕРКОСМОС-25, NORSAT-1 во время импульсов магнитного поля солнечного ветра на фазе внезапного начала магнитной бури (sc) регистрировались чрезвычайно высокие значения электронной температуры до 8000-10000 К.

d) По измерениям на спутнике DE-2 над красной дугой были обнаружены направленные вниз потоки электронов с энергией 1-9 эВ и скоростью 274 км/с, которая близка к альвеновской скорости. Ионов кольцевого тока не обнаружено по измерениям на спутнике DE-1 на высоте $1.5 R_E$ (R_E – радиус Земли). Именно такой сценарий и следует из разработанной В. Мазуром и А. Леоновичем последовательной теории кинетических альвеновских волн на L – оболочках ионосферного резонатора вблизи плазмопаузы.

Исследование Холловских магнитных полей при разлете сферического облака лазерной плазмы во внешнее магнитное поле в лабораторном эксперименте

А.А. Чибранов, А.Г. Березуцкий, Ю.П. Захаров, И.Б. Мирошниченко, В.Г. Посух, М.С. Руменских, П.А. Трушин, И.Ф. Шайхисламов

ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия; e-mail: chibranov2013@yandex.ru

На установке КИ-1 ИЛФ СО РАН в 2021 году было создано симметричное, сферическое облако лазерной плазмы с помощью облучения шарообразной полиэтиленовой мишени четырьмя лазерными лучами для моделирования околоземных плазменных выбросов [1], что впервые позволило сгенерировать и исследовать азимутальные Холловские магнитные поля, возникающие при разлете сферического облака плазмы во внешнее магнитное поле.

Ранее, в работе, выполненной на установке LAPD [2] приводились результаты подробных зондовых измерений, демонстрирующих формирование Холловских токов, но анализа их роли в коллапсе каверны сделано не было.

Основной целью настоящей работы было исследование Холловских магнитных полей с помощью системы зондовых измерений и демонстрация их связи с коллапсом диамагнитной каверны.

Полученные данные показали, что на фронте плазменного облака, который создает каверну, азимутальное поле генерируется линейным МГД членом $V \times B$. В то время, на фазе коллапса каверны азимутальное поле создается квадратичным Холловским членом $J \times B/\rho$.

Проведенный эксперимент позволил зарегистрировать азимутальные Холловские поля и определить их связь с аномально быстрым коллапсом диамагнитной каверны, но также выявил некоторые несоответствия экспериментальных данных с аналитическими расчетами, свидетельствующие, вероятно, о более сложной пространственной структуре Холловских полей. Последующие эксперименты будут направлены на более детальное изучение пространственной конфигурации Холловских полей, а также на изучение влияния плотности ионов лазерной плазмы на образование азимутальных полей в экспериментальном эксперименте с помощью облучения мишеней разного диаметра.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № НИОКТР 121033100062-5, при поддержке программы 10 «Экспериментальная Лабораторная Астрофизика и Геофизика» Национального Центра Физики и Математики, а также проекта РФФ № 23-22-00386.

1. Y.P. Zakharov, V.A. Terekhin, I.F. Shaikhislamov, V.G. Posukh, P.A. Trushin, A.A. Chibranov, A.G. Berezutskii, M.S. Rumenskikh, M.A. Efimov, *Quantum Electronics*, 52, №2, p.155, 2022.
2. A. Collette, W. Gekelman, *Physical Review Letters*, 105, №19, p.195003, 2010.

Experimental studies of magnetoplasma turbulence and instabilities on the large-scale Krot plasma device

N.A. Aidakina, V.I. Gundorin, M.E. Gushchin, I.Yu. Zudin*, A.N. Katkov, S.V. Korobkov, V.V. Kochedykov, K.N. Loskutov, A.S. Nikolenko, I.A. Petrova, A.V. Strikovskiy

Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS). 46 Ul'yanov Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

*E-mail: zudiniy@ipfran.ru

The studies of plasma instabilities and turbulence are important for understanding the physics of the ionosphere and magnetosphere phenomena. One of the approaches to studying the processes in space plasmas is laboratory modeling performed on large-scale plasma devices using the special similarity relations. One of the largest space plasma simulation modeling facilities is Krot plasma device (IAP RAS, Nizhny Novgorod, Russia). Here the results are presented on generation of plasma turbulence and instabilities via RF heating, as well as via production or injection of energetic electrons in magnetized plasmas.

Experimental studies of turbulence that occurs when plasma is heated by electromagnetic waves are relevant for studying the mechanisms of generation of artificial ionosphere turbulence (AIT). This phenomenon occurs when the ionosphere is heated by high-frequency radiation. The turbulence of the near-Earth plasma can arise when intense electromagnetic waves are emitted from the ground, as well as by space-borne transmitters. In our laboratory experiments, an RF antenna was used to excite turbulence, to which a powerful (up to 300 W) pulsed signal (pump) was applied. The turbulence manifests itself by disturbances of plasma density and ambient magnetic field. The turbulence causes self-modulation of the pump and modulation of probe waves. Turbulence arises only if the plasma is transparent for electromagnetic waves at the pump frequency.

The study of electromagnetic instabilities in magnetized plasma is relevant for the physics of ionosphere and magnetosphere. The instabilities can be connected with currents flowing in the plasma, energetic charged particles, and so on. Instabilities of such a kind can be associated with the generation of AKR, chorus, and hiss emissions. The experiments aimed on studying the instabilities were performed on the Krot plasma device. The experiments were performed both with the injection of electrons into the plasma by a cathode, and with the high-voltage collector electrode immersed into plasma. In both cases, the effect of broadband noise generation was observed, the spectrum of which was mainly concentrated in the range of whistler waves. The instability frequency spectrum has a power-law character; in experiments with electron injection, generation of signals at harmonics of the electron cyclotron resonance frequency was also observed. Below the electron cyclotron frequency, the instability signals can be classified as whistler waves.

The work was performed within the framework of the IAPRAS state assignment (Project No. 0030-2021-0028).

Dispersion features of whistler-mode waves in low-density magnetoactive plasma

N.S. Artekha^{1,2}, D.R. Shklyar¹

¹*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

²*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia; e-mail: natalya.artekha@mail.ru*

The study of the propagation of whistler-mode waves and their dispersion characteristics is an important problem in space plasma physics, which has remained relevant for many decades. The dispersion characteristics of whistler waves were mainly studied for the case of dense plasma ($\omega_p \gg \omega_c$, where ω_p, ω_c are the electron plasma frequency and cyclotron frequency, respectively). However, in several regions of space plasma, opposite conditions, namely, $\omega_p < \omega_c$ can be fulfilled, for instance, this is the case in the auroral region of the Earth's magnetosphere. According to the data of the Voyager 1 and 2 missions, such a region was also found near Jupiter at distances $18.5R_{Ju} < R < 22.5R_{Ju}$. Therefore, the study of waves in low-density plasma, in addition to theoretical interest, has applications to wave

processes in space plasma. In this work, we derive a dispersion relation in the form of a bicubic equation for the wave frequency as a function of the wave vector and plasma parameters for frequencies in the range $\sqrt{m_e/M_i} \ll f \ll 1/p$, where m_e, M_i are the electron and proton masses, respectively, $f = \omega/\omega_p$ is the wave frequency ω normalized to the electron plasma frequency ω_p , and $p = \omega_p/\omega_c$ is a dimensionless parameter. The results of the analysis of the obtained dispersion equation will be illustrated by the dependences $k_{||}(k_{\perp})$ for various fixed values of f and p , as well as dependences $f(k_{||}, k_{\perp})$ for a number of values of the parameter p . We show that there are two propagating wave modes in the region $f_1 < f < f_{res}$, and one mode in the region $f < f_1$, where $f_1 = p/(1 + p^2)$ is the cutoff frequency of the Z-mode and $f_{res} = \sqrt{\cos^2 \theta / (1 + p^2 \sin^2 \theta)}$ is the resonant frequency of the whistler mode, obtained in the framework of the performed analysis. The important dispersion characteristics of the whistler-mode waves include the Gendrin angle and the Storey angle. The Gendrin angle is (different from zero and $\pi/2$) the angle between the wave vector and the external magnetic field \mathbf{B}_0 for which the group velocity of the wave is collinear to \mathbf{B}_0 . The Storey angle is the angle of maximum deviation of the group velocity from the direction of the external magnetic field in the area of low frequencies. We have obtained an analytical expression for the Gendrin angle, as well as the maximum wave frequency f_{max} at which there exists the Gendrin angle:

$$f_{max}^2 = \frac{4+3p^2-p\sqrt{8+9p^2}}{8(1+p^2)}.$$

It is shown that if there exists the Gendrin angle, then there always exists the Storey angle, and its value has been found numerically. The results of the study of the Gendrin angle behavior and the Storey angle for whistler-mode waves in low-density magnetoactive plasma are illustrated by graphs for various values of f and p .

This research was supported by the Russian Science Foundation, project No. 22-22-00135.

Localization of relativistic electron precipitation sources: ionosphere total electron content and ground-based VLF measurements

Anton Artemyev^{1,2}, Xiaojia Zhang^{1,3}, Andrei Demekhov⁴, Yuri Fedorenko⁴

¹*Department of Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, USA*

²*Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Department of Physics, University of Texas at Dallas, Richardson, TX, USA*

⁴*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

Precipitation of relativistic electrons into the Earth's atmosphere regulates the outer radiation belt dynamics and contributes to the magnetosphere-atmosphere coupling. One of the main drivers of such precipitation is the electron scattering by whistler-mode waves, which can propagate to middle latitudes and resonate with relativistic electrons. In this paper, we investigate the relativistic electron losses caused by intense whistler-mode waves under ducted propagation. This study combines low-altitude measurements of electron precipitation, total electron content maps, ground-based whistler-mode wave measurements, and near-equatorial magnetic field and energetic electron measurements. We show that night-side (injections) or day-side (ultra-low-frequency waves) mesoscale transients may drive whistler-mode wave generation, whereas cold plasma density gradients associated with such transients likely serve as ducts to guide these waves to middle latitudes and scatter relativistic electrons. These relativistic electron precipitation events driven by meso-scale transients are likely not described by empirical models of whistler-mode waves.

Hausdorf dimensions of typical VLF chorus and verification of their excitation mechanism

P.A. Bespalov^{1,2}, O.N. Savina², G.M. Neshchetkin²

¹*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

²*HSE University, Nizhny Novgorod, Russia*

A quantitative study complexity of electromagnetic VLF chorus by means of the modern mathematical apparatus was carried out. From the huge observational data set accumulated during the Van Allen probe mission, typical examples of chorus emissions for which high-resolution data are available were selected. To eliminate the influence propagation effects on the results, we used data obtained in the region of chorus excitation near the local minimum of the magnetic field outside the plasmasphere. The original code for calculating the Hausdorf dimension of a long numerical sequence is used in the study. The complexity of calculating this dimension is compensated by the fact that important theorems have been proved for it, allowing one to draw conclusions about the limitations of the mathematical description of the process under study. In all cases, the dimension turned out to be non-integer, which indicates the complex dynamics of the system. In the calculations, jumps in dimension were noted, including a halving of it within the burst of chorus. The obtained results are important as confirmation for the beam pulse amplifier mechanisms of chorus excitation, for a quantitative comparison of the analytical results and numerical simulations with experimental data, and for automatic separation of different types of electromagnetic emissions.

The studies were supported by RSF grant No. 20-12-00268.

Auroral kilometric radiation (AKR) as a tool to study the fractal properties of the magnetosphere

A.A. Chernyshov, D.V. Chugunin, M.M. Mogilevsky

Space Research Institute of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

In this study, auroral kilometric radiation (AKR) is used as a means of remote diagnostics of processes in the Earth's magnetosphere. Using satellite data on the spectrum of AKR fluctuations at different frequencies, we determine the fractal properties of the auroral region of the magnetosphere as a function of the source height and radiation generation frequency. Fractal characteristics (Hurst exponent and fractal dimension) of the medium in the AKR generation region and their changes depending on height and frequency are determined from the scaling law. It is shown that with an increase in height (or with a decrease in signal frequency), the value of scaling and the Hurst exponent increase, while the fractal dimension decreases with height. Cases of AKR registration under various geomagnetic conditions are considered, when the AKR intensity differed by an order of magnitude, however, there is a steady trend towards a decrease in the fractal dimension with height. The obtained values of scaling and fractal parameters indicate that the processes under consideration exhibit properties characteristic of long-range dependence.

The work of AAC was partly supported by the Theoretical Physics and Mathematics Advancement Foundation "BASIS".

Modeling VLF chorus spectra in the generation region in the presence of static sinusoidal geomagnetic field variations

A.G. Demekhov^{1,2}

¹*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Novgorod, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We present the results of modeling the VLF chorus emissions based on the model of backward wave oscillator regime of the cyclotron instability in the magnetosphere. Quasi-static sinusoidal variations are imposed on the geomagnetic field profile, and it is shown that simultaneous generation of both rising and falling tones is possible under such conditions. The dynamic spectrum of chorus elements can significantly and even qualitatively depend on the observer position within the generation region. Analytical estimates of the obtained effects are given.

This work has been supported by the Russian Science Foundation, project No. 21-12-00416.

Hectometric continuum radiation in the “near zone” in the Earth's magnetosphere

D.A. Dorofeev^{1,2}, A.A. Chernyshov², D.V. Chugunin², M.M. Mogilevskiy²

¹*Higher School of Economics, Moscow, Russia; e-mail: dadorofeev_1@edu.hse.ru*

²*Space Research Institute of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

Measurements of the electrical component of the electromagnetic field in the frequency range of 2 kHz - 10 MHz on the Japanese ERG satellite made it possible to detect new radiation of the hectometric continuum type. On the night side of the plasmosphere, high-frequency radiation, 600-1600 kHz, was observed, the spectrum of which is a set of separate frequencies, that is, a linear spectrum. Radiation sources of the hectometric continuum are observed not only in the region of the plasmosphere at distances of 4-6R_e, but also near the Earth (“near zone”), at distances of 1.1-2R_e, where R_e is the radius of the Earth. In this study, a detailed statistical analysis of the occurrence of the hectometric continuum in the “near zone” for a period of two years is carried out. The dependence of the generation of the hectometric radiation on the local magnetic time (MLT) is determined. It is shown that this type of continuum of radiation occurs mainly at night and in the morning. A study of the dependence of the occurrence of hectometric radiation on geomagnetic activity is carried out and it is demonstrated that there is no direct dependence on the values of geomagnetic indices. In addition, the statistical analysis made it possible to identify the localization of sources of this type of radio emission in the near-Earth plasma.

Electron heating in the Earth magnetosheath: a combined effect of compression ultra-low frequency and whistler-mode waves

V.A. Frantsuzov¹, A.V. Artemyev^{1,2}, A.A. Petrukovich¹

¹*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Department of Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, California, USA*

The downstream region of the Earth's bow shock, the magnetosheath, is filled with high-amplitude compressional ultra-low frequency waves. These waves may create a local magnetic field minima where shocked solar wind electrons can be trapped. Adiabatic electron dynamics with such traps are associated with periodical electron heating and cooling, but in the absence of the adiabatic invariance destruction these heating/cooling processes are reversible and cannot change the averaged electron energy. The electron adiabatic heating is mostly provided by a betatron mechanism that effectively makes the electron distribution transversely anisotropic, and thus can result in the whistler-mode waves generation. Electron scattering by whistler-mode waves destroys the adiabatic invariance and may violate the reversibility of the electron adiabatic heating. We have considered this multi-element scenario of the electron energization for realistic plasma and magnetic field characteristics.

The influence of finite packet length on the interaction of relativistic electrons with EMIC wave packets

V.S. Grach¹, A.G. Demekhov^{1,2}

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

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We study the interaction of relativistic electrons with EMIC wave packets in the Earth's radiation belts. This interaction can cause precipitation of such electrons. We show that the importance of nonlinear regimes, such as particle trapping of the wave field and force bunching, decreases with decreasing length of the wave packets. At the same time, short length of a wave packet makes the interaction possible for the electrons with energies below the minimum resonant energy. We calculate the dependence of precipitating electrons energy spectra on the packet length.

The work of V.S. Grach was supported by the Russian Science Foundation, project 19-72-10111.

Electric fields of sea waves

V.S. Ismagilov, Yu.A. Kopytenko

SPbF IZMIRAN, St. Petersburg, Russia; e-mail: ivs@izmiran.spb.ru

The results of studies of disturbances of the horizontal component of the electric field in coastal zones are presented. It is shown that in addition to natural variations of the electric field of ionospheric-magnetospheric origin, disturbances associated with the marine environment arise.

In the coastal zone of the Okhotsk Sea (Sakhalin) in a narrow coastal strip (~50 m), broadband disturbances of the electric field ($F = 0.001-1$ Hz) occurring during low tide periods were detected.

On the northern coast of the Kola Peninsula (Barents Sea), the occurrence of narrow harmonics of electric field variations in the frequency range 0.2-0.5 Hz was found on the shore of a long fault connecting to the sea. Harmonics change their frequency depending on the phase of the tide. High frequencies occur at low tide, and lower frequencies occur at high tide. In the coastal zone of the White Sea (Umba) in the frequency range $F = 0.05-0.5$ Hz, variations of the electric field created by sea waves are highlighted. Depending on the height of the waves, the amplitude of these variations can exceed $10 \mu\text{V/m}$, is maximal near the water's edge and decreases rapidly with distance from the shore.

Coastal effect in electric field

V.S. Ismagilov*, Yu.A. Kopytenko, M.S. Petrishchev, P.A. Sergushin, A.V. Petlenko

Sankt-Petersburg Branch of the Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences (SPbF IZMIRAN), St. Petersburg, Russia

*E-mail: *ivs@izmiran.spb.ru*

The results of experimental studies of electric field disturbances created by ionosphere sources in the coastal zones of the White and Barents Seas are presented. Data registration was performed by geophysical stations GI-MTS-1. The horizontal electric field was recorded by telluric lines ~50 m long. The E_x component of the electric field strength was set orthogonally to the coastline in the direction from the shore, the E_y component is directed along the coastline. In the coastal strip of the sea-land contact, a zone of anomalous increase in the amplitude of the ULF variations ($F < 1$ Hz) of the E_x component adjacent to the water edge was revealed. At a distance of ~30 m from the water's edge, an additional narrow zone of anomalous amplification of the magnitude of the ULF variations of the electric field is observed. The maximum coastal effect is observed near the water's edge in the coastal zone and decreases with distance from the seashore.

Quasi-linear and nonlinear interactions of solar wind electrons and ion acoustic waves in the Earth's bow shockSergey Kamaletdinov^{1,2}, Ivan Vasko^{1,3}, Anton Artemyev^{1,4}, Rachel Wang⁵¹*Space Research Institute, Space plasma department, Moscow, Russia; e-mail: serjesmail@gmail.com*²*Faculty of Physics, HSE, Moscow, Russia*³*Space Science Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA*⁴*University of California, Los Angeles, California, USA*⁵*Princeton University, Department of Astrophysical Sciences, Princeton, New Jersey, USA*

The Earth's bow shock is a unique natural laboratory for in situ investigation of the shocks' plasma physics. Numerous simulations and spacecraft observations have firmly established the presence of energetic (~100 keV) electron populations around the Earth's bow shock. However, mechanisms for acceleration of solar wind electrons with thermal energies of a few dozen electron-volts to the energies of hundreds of kiloelectron-volts are not yet understood. Conventional theories of electrons' acceleration in the bow shocks relies on MHD turbulence as a necessary source of particle's scattering, however, for realistic parameters of the bow shock plasma, scattering by MHD waves becomes sufficiently effective only for electrons with energies of tens of keVs. In a recent paper by Amano et al., 2020 the so-called Stochastic Shock Drift Acceleration (SSDA) mechanism was proposed as a possible mechanism which could provide the necessary pre-acceleration of thermal solar wind electrons. In their work, Amano et al., 2020 considered the scattering by high-frequency whistler-mode waves and showed that whistler-turbulence can provided pre-acceleration of electrons with energies > 1keV, which still by two orders of magnitude exceeds typical thermal energies of solar wind electrons. In a recent paper by Vasko et al., 2021, it was shown that a substantial portion of electrostatic wave-turbulence in the Earth's bow shock is actually made up of ion-acoustic waves which are often characterized by high amplitudes and oblique propagation with respect to the magnetic field. These two properties should result in very effective scattering of thermal electrons which probably cannot be quantified within the established framework of the quasi-linear theory. In our work, we considered the electron scattering by packets of ion-acoustic waves with parameters typical of the ones reported by Vasko et al., 2021. By employing test-particle simulations and combining them with the mapping technique, we were able to quantify the electron scattering using an effective pitch-angle diffusion coefficient. We show that due to high amplitudes and obliquity of observed ion-acoustic waves, this diffusion coefficient significantly deviates from the predictions of the quasi-linear theory. We make advantage of numerically computed effective pitch-angle diffusion coefficient in order to estimate the maximum energy to which packets of ion-acoustic waves can accelerate thermal electrons. Our results indicate that turbulence of ion-acoustic waves is able to provide acceleration of thermal electrons up to ~1 keV and, therefore, well cover the energy range in which scattering by high-frequency whistler waves isn't effective enough.

This work was supported by the Russian Scientific Foundation, Project No. 19-12-00313

Amano, T., Katou, T., Kitamura, N., Oka, M., Matsumoto, Y., Hoshino, M., Saito, Y., Yokota, S., Giles, B.L., Paterson, W.R. and Russell, C.T., 2020. Observational evidence for stochastic shock drift acceleration of electrons at the Earth's bow shock. *Physical Review Letters*, 124(6), p.065101.

Vasko, I. Y., Mozer, F. S., Bale, S. D., & Artemyev, A. V. (2022). Ion-acoustic waves in a quasi-perpendicular Earth's bow shock. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL098640. <https://doi.org/10.1029/2022GL098640>

The test particle approach for stochastic differential equations: a contribution of wave-particle interactions in long-term thermalization of particle flows

A.S. Lukin^{1,2}, A.V. Artemyev^{3,1}, X.-J. Zhang³, I.Y. Vasko⁴, A.A. Petrukovich¹

¹*Space Research Institute, RAS, Moscow, Russia*

²*Faculty of Physics, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

³*Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, CA, USA*

⁴*Space Sciences Laboratory, University of California at Berkeley, USA*

The solar wind ion transport across the magnetopause is one main source of plasma for the Earth's magnetotail. Such a transport is supported by various dynamic processes on the flank magnetopause, where wave-particle interactions play a crucial role in ion flow thermalization and diffusion across magnetic field surfaces of the magnetopause tangential discontinuity. In this work we numerically model such ion thermalization by the most intense electromagnetic waves observed in the magnetosheath, kinetic Alfvén waves. We aim to develop an approach for long-term simulations of ion scattering by waves and ion dynamics around realistic magnetopause magnetic fields. This approach is based on a combination of test particle simulations and stochastic differential equations modeling ion diffusion in velocity space. We demonstrate that for realistic magnetopause configuration and wave characteristics, the magnetosheath ion flow can be substantially thermalized around the magnetopause. This result explains observations of ion energy conservation across the flank magnetopause: kinetic and thermal energies of flowing magnetosheath ions approximately equal to the thermal energy of stagnant magnetospheric ions.

Excitation and propagation of electromagnetic and quasi-electrostatic ion cyclotron waves in the Earth's magnetosphere

A.A. Luzhkovskiy, D.R. Shklyar

Space Research Institute of RAS (IKI), Moscow, Russia; e-mail: luzartyom@yandex.ru

The growth rate of ion cyclotron waves due to their resonant interaction with energetic protons has been studied as a function of frequency ω and wave normal angle θ . The distribution function of protons with temperature anisotropy and loss cone is considered. The calculations are performed using the dispersion relation, polarization coefficients, and the expression for the wave energy density, which are valid over the entire range of frequencies and wave normal angles of ion cyclotron waves including the quasi-electrostatic limit. It is assumed that the plasma contains one kind of ions (protons).

The resonant interaction of electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves with relativistic electrons and the associated pitch-angle scattering of electrons are currently widely discussed. Since the parallel (with respect to the ambient magnetic field) component of the electric field in EMIC waves is very small, this interaction occurs only at cyclotron resonances with $n \neq 0$, which, according to estimations, requires electron energy of \gtrsim several MeV. In addition, since the frequency of EMIC waves is three orders of magnitude lower than the gyrofrequency of electrons, their energy remains practically unchanged, so that the resonant interaction leads only to a change in the pitch angle of the electrons. Determining the excitation frequencies of EMIC waves corresponding to the frequencies of the maximum growth rate is important in the investigation of the resonant interaction of waves with electrons due to the significant dependence of the wave vector, and hence the resonant energy on the wave frequency. For the typical parameters of the magnetospheric plasma and realistic parameters of the distribution function the wave growth rate has its maximum in the case of parallel propagation $\theta = 0^\circ$ and for the frequencies $\omega \sim (0.2 - 0.6)\omega_{ci}$ (ω_{ci} – ion gyrofrequency). The characteristics of the generation and propagation of EMIC waves in plasma are largely determined by the ratio ω_{pe}/ω_{ce} of the electron plasma frequency to the gyrofrequency.

This work was supported by the Russian Science Foundation grant 22-22-00135.

VLF chorus emissions modeling using EPOCH PIC code: First results and comparison with a backward wave oscillator theory

D.L. Pasmanik¹ and A.G. Demekhov^{1,2}

¹*Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We present the results of a numerical model for VLF chorus emissions generation based on EPOCH PIC code. The original EPOCH 1D code was improved for correct implementation of delta-F method, and a mirror force due to the background magnetic field inhomogeneity was taken into account. Performed tests have demonstrated that this model is capable for proper modeling of chorus generation in the Earth magnetosphere with rather moderate requirements for computing resources.

The initial distribution function of energetic electrons is specified as a Gaussian with a finite-width step-like deformation in the velocities parallel to the geomagnetic field. We have obtained that different generation regimes exist depending on the energetic electron source intensity (coupling parameter), which is characterized by the product of particle density N_h and relative step height ΔN : $q \sim N_h \cdot \Delta N$. A stationary generation takes place for a weak source above the threshold, periodic or quasi-periodic generation of discrete chorus elements occurs for more intense source, and it is transformed to the stochastic generation of elements for even higher source intensity. These results qualitatively agree with the previously obtained results of approximate analytical theory and approximate numerical modeling.

For the first time, a systematic study of the dependence of the chorus emissions properties on the energetic electron distribution parameters, such as N_h and ΔN , has been performed. We have found that even for a finite width of a step-like deformation of the distribution function the dependence of the linear growth rate on the coupling parameter q is in good agreement with the results obtained (both analytically and numerically) on the basis of an approximate backward wave oscillator model that assumes a sharp step-like discontinuity.

This work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 21-12-00416.

New type of active experiment: Generation of artificial Pc1 electromagnetic emission in the ionosphere by decommissioned power lines

V.A. Pilipenko^{1,2}, E.N. Fedorov¹, N.G. Mazur¹

¹*Institute of Physics of the Earth, Moscow 123995, Russia*

²*Geophysical Center, Moscow 119296, Russia*

ULF waves in the Hz-frequency range (Pc1 pulsations) are of special significance for space physics. Through the wave-particle interactions, electromagnetic ion-cyclotron waves in the Pc1 band can precipitate magnetospheric relativistic electrons into the atmosphere. Thus, intense Pc1 pulsations can suppress the natural or artificial radiation belts. Therefore, the idea to apply the radio heating facilities, e.g., HAARP, to stimulate the excitation of artificial Pc1 pulsations was actively studied. However, this method demands high costs of construction and maintenance of radio-heating facilities. At the same time, in experiments with power transmission lines as controlled sources of ULF/ELF emissions the driving current up to 1000 A was used. Power line generated artificial signals in the 1 Hz frequency range were detected over distances of more than 1500 km, and such distances were never reported in case of heating experiments. Our modeling has shown that an installation with scale >100 km and >100 A current is sufficient under favorable conditions to stimulate emission in the Pc1 band (0.5 Hz) with amplitude ~ 1 pT and ~ 10 μ V/m. Such amplitudes are typical for natural Pc1 signals in the upper ionosphere. Therefore, the FENICS installation at Kola Peninsula at latitude corresponding to the central part of the outer radiation belt can be used as a tool to deplete the relativistic electrons. The use of large decommissioned power lines, where the AC up to 1000 A can be easily generated, could be a cheap alternative to the radio heating methods. Besides, the modeling results give some support to the puzzling observations of "weekend effect" and "time mark effect" in ground Pc1 activity. The electric power consumption is known to have peaks around tops of the hour. As a result, the elevated emission in Pc1 band occurring during bursts of transmitted current in power lines may be a trigger for the magnetospheric ion-cyclotron instability.

Critical points in the applications of geometrical optics to numerical simulation of lightning-related spectrograms

D.R. Shklyar

Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia

Numerical modeling of VLF spectrograms related to lightning-induced emissions is an efficient tool in studies of whistlers in the magnetosphere. However, most of work in this direction is based on intuitive ideas, but not on well-grounded concepts. This limits the numerically simulated spectrograms to an interesting and useful illustration of real ones. To make numerical simulation a powerful and reliable implement in the ionospheric and magnetospheric studies, the approach to numerical modeling should be well substantiated, and the frame of validity of the method should be clarified. The points that need to be explicated include: the wave field expansion into geometrical optics wave packets in an inhomogeneous medium; construction of frequency-time plots on spectrograms, i.e., finite-width curves on which the spectral intensity differs from zero; and, finally, determining the time-dependent spectral amplitude as a function of frequency and time from the wave packet energy density, with the account of the evolution of the latter in space and time. These and related questions are discussed in this report. A special attention is paid to the properties and the presentation of initial field, to the wave packet spreading during propagation, and to the choice of finite width of the frequency bin on a spectrogram in relation to the characteristic time of spectrum evolution. Since spectral intensity displayed in spectrograms is related to the amplitude of the wave electromagnetic field, while geometrical optics deals with the wave energy density, the relation between them is one of the key points in spectrogram modeling. While general expression for the wave energy density U through the wave electric field amplitude and polarization coefficients is well known (e.g., *Shafranov, 1967*), as well as its explicit expression for parallel propagating whistler-mode waves (e.g., *Trakhtengerts and Rycroft, 2008*), the corresponding expression for the case of oblique propagation seems to be missing in the literature. Such an expression which will be presented in the report for the first time reads:

$$U = \frac{|E_x|^2}{8\pi} \frac{\omega_p^2 \omega_c \cos\theta}{\omega(\omega_c - \omega \cos\theta)^2}$$

where E_x is the magnitude of the wave electric field in $(\mathbf{k}, \mathbf{B}_0)$ plane perpendicular to \mathbf{B}_0 , ω_p and ω_c are electron plasma and cyclotron frequencies, respectively, ω is the wave frequency, and θ is the wave normal angle, i.e., the angle between \mathbf{k} and \mathbf{B}_0 .

The work on this report has been supported by Russian Science Foundation, project # 22-22-00135.

References

- Shafranov, V.D. (1967), In: Reviews of plasma physics, vol 3. Consultant Bureau, New York.
Trakhtengerts, V.Y., and M.J. Rycroft (2008), Whistler and Alfvén Mode Cyclotron Masers in Space, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.

Clustering of ULF waves by machine learning methods using THEMIS-A data

D.A. Shubin^{1,2}, A.V. Rubtsov², D.Yu. Klimushkin²

¹*Institute of Mathematics and Information Technology, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

²*Institute of Solar Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

In the present work, we performed clustering of ultra-low-frequency (ULF) waves based on polarization and average amplitude. We utilize THEMIS-A data from January 2017 to February 2018. To achieve this task, machine learning methods (without a teacher) were used. The best result was shown by the Spectral Clustering method. To assess the quality of clustering, a metric based on the Silhouette value was used. The optimal number of clusters is 5. However, during the verification of the results obtained with other parameters, it was decided to increase the number of clusters

to 7. In this case the spatial separation of clusters is more clear, making it possible to make a more accurate physical interpretation.

We found the following clusters:

- 1) Waves with large amplitudes (more than 10 nT), which are localized in the dawn on the L-shells 10-13;
- 2) Transverse waves with an average amplitude (1-10 nT) localized in the dawn-noon sector on the L-shells from 10 to 12;
- 3) Transverse waves with an average amplitude localized in the night sector on the L-shells from 10 to 12;
- 4) Transverse waves with low amplitude in the daytime sector on the L-shells from 4 to 10;
- 5) Waves with an average amplitude in the dusk sector on the L-shells from 6 to 10;
- 6) Compressional waves in the night sector on the L-shells from 7 to 10;
- 7) Some waves of mixed polarization in the dawn on the L-shells from 6 to 10.

We conclude that the resulting clustering is of interest in physical interpretation from the point of view of their generation mechanisms and the nature of their distribution.

The study was supported by the Russian Science Foundation under Grant 22-77-10032.

Observation of Short Large Amplitude Magnetic Structures at Mars by MAVEN

Sergey Shuvalov, Elena Grigorenko

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

The work presents observation and analysis of ~30 s ULF large amplitude proton cyclotron waves in front of the Martian bow shock under mainly radial direction of the interplanetary magnetic field registered by the MAVEN spacecraft. Solar wind deceleration to subsonic speed and its extensive heating are observed at the wave fronts. Usually, such waves are reported to be generated as a result of hydrogen pick-up process in the vicinity of Martian perihelion, when planetary hydrogen corona is dense enough.

However, the reported case is observed very close to the Martian apohelion, when the described above process is almost completely ineffective. Moreover, strong fluxes of backstreaming hydrogen ions from the bow shock, as well as gradients of heavy ions densities are registered at the region of the waves generation. These observations are consistent with these waves to be SLAMS, the observation of which had never been reported before at Mars.

The work presents frequency and minimum variance analysis of the observed structures, calculation of their shock characteristics and speculation on the heavy ions acceleration mechanism up to ~650 eV by these waves.

The research is supported by the Russian Scientific Foundation (RSF) grant 21-42-04404.

Modeling of an acoustic disturbance of the atmosphere initiated by a ground source

E.S. Smirnova^{1*}, S.Yu. Dobrokhoto²

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Kaliningrad Oblast 236041, Russia*

²*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*Correspondence: smirnova.ekaterina.serg@gmail.com

The problem of generation and propagation of one-dimensional acoustic waves by sources at the lower boundary of the atmosphere is formulated as a boundary value problem in the half-space $z > 0$. Previously, to formulate such a problem, the system of equations of hydrothermodynamics, which describes the motion of atmospheric gas, was traditionally used. In this work, the one-dimensional system of equations of hydrothermodynamics is reduced to the one-dimensional Klein-Gordon equation, for which the initial-boundary value problem is analytically solved.

The reported study was funded by Immanuel Kant Baltic Federal University, project №122051300013-8.

Influence of the asymmetric ionospheric conductivity on the structure of Alfvén waves in the magnetosphere

E.E. Smotrova, P.N. Mager, O.S. Mikhailova, D.Yu. Klimushkin

Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Irkutsk, Russia

During studying 27 October 2012 event we observed the Pc4 ULF wave by spacecraft Van Allen Probe A. The parallel component of Poynting vector was directed towards the Northern hemisphere's ionosphere. It is not typical for standing Alfvén waves with which long-period ULF waves are associated. It was suggested this peculiarity can be caused by the asymmetry of ionosphere conductivity between the Northern and Southern hemispheres. In this work the effect of asymmetric ionospheric conductivity on the structure of a standing Alfvén wave is estimated using analytical model with straight magnetic field lines. Based on model we developed the method to carry out assessment of height-integrated Pedersen conductivity using spacecraft data of observed ULF waves. The method allows us to reconstruct the parallel structure of ULF waves under various conditions of the ionospheric conductivity. The ionospheric conductivity was estimated and the parallel structure of the ULF wave was reconstructed for the 27 October 2012 event. We found the difference in the conductivity values of the Northern and Southern hemispheres. The mean is that the footprints of spacecraft trajectory, where the event observed, were located on different sides from the terminator line.

The work was financially supported by the Grant of the Russian Scientific Foundation (project No. 22-77-10032).

VLF hiss in two frequency bands below and above half the electron gyrofrequency observed by Van Allen Probe

E.E. Titova^{1,2}, D.R. Shklyar², A.A. Lubchich¹

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

This report considers the whistler waves in the frequency bands below and above half the electron gyrofrequency observed by Van Allen Probe B on 30 November 2015 in the equatorial region outside the plasmapause. To explain the observed spectrum, we used simultaneous satellite measurements of the cold plasma density and pitch-angle dependent differential electron fluxes in the wide energy range that determine the electron distribution function. We calculated a local linear growth rate γ and spatial amplification factor γ/v_g (v_g is the magnitude of the group velocity) as functions of frequency and wave normal angle. The calculations were performed with the account of three cyclotron resonances ($n = 1, 0, -1$) that make the largest contributions to the wave growth rate.

Comparison of local linear amplification factor calculated from the measured particle fluxes with the simultaneously observed VLF spectrum shows their fairly good agreement. The reason for two maxima in the dependence of the growth rate on frequency, and the corresponding two-band structure in the observed spectrum are discussed.

Electron scattering by whistler-mode waves around the bow shock

David Tonoian^{1,3}, Xiaofei Shi², Anton Artemyev^{2,3}, Xiaojia Zhang^{2,4}

¹*Faculty of Physics, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

²*Department of Earth, Planetary, and Space Sciences, University of California, Los Angeles, USA*

³*Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

⁴*Department of Physics, University of Texas at Dallas, Richardson, TX, USA*

Electron resonant scattering with high-frequency electromagnetic whistler-mode waves is a perspective mechanism for solar wind electron acceleration and injection into drift shock acceleration around the Earth's bow shock. However, observed whistler-mode waves are often sufficiently intense to resonate with electrons nonlinearly, what prevents application of the quasi-linear diffusion model. This work is devoted to the development of a new theoretical approach quantifying electron distribution evolution driven by multiple resonant interactions with intense short wave-packets. We describe the probabilistic approach applicable for systems with significantly reduced nonlinear resonant effects and generalize this approach by merging it with the mapping technique. This generalization allows evaluation of electron distribution dynamics in presence of significantly non-diffusive resonant scattering. The proposed approach is verified by comparison with numerical integration of test particle trajectories.

Kinetic-scale current sheets in the solar wind: multi-spacecraft analysis

I.Y. Vasko^{1,2} and R. Wang³

¹*Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI), Moscow, Russia*

²*Space Sciences Laboratory, University of California at Berkeley, Berkeley, USA*

³*Princeton University, New Jersey, USA*

We present a statistical analysis of about 2,000 current sheets observed consequentially aboard four Cluster spacecraft in the solar wind. We used a multi-spacecraft timing method to estimate the normal and propagation speed of each current sheet; these parameters were used to compute the current density and width of each current sheet. The accurate multi-spacecraft estimates of the current sheet parameters were compared with their estimates obtained using single-spacecraft methodology. We demonstrate that Minimum Variance Analysis method that is still widely used in solar wind studies provides erroneous estimates for the current sheet normal and is not valid even in a statistical sense. Instead, the most accurate single-spacecraft estimate for the current sheet normal is provided by the so-called cross-product method. We demonstrate that the propagation speed of current sheets coincides with plasma flow velocity along the cross-product normal within 20%, which confirms the validity of Taylor frozen-in hypothesis for current sheets in the solar wind. We show that single-spacecraft methodology involving the cross-product estimate of the current sheet normal gives rather accurate (within 20%) estimates of the current density and current sheet width. We show that the normal magnetic field component cannot be determined reliably, since its magnitude is typically within the uncertainty associated with about 10° uncertainty of the current sheet normal. Nevertheless we do observe current sheets with the normal magnetic field component exceeding the uncertainty level. Finally, we confirm that kinetic-scale current sheets observed in the solar wind are produced by turbulence.

Spatial distribution of polarization of transverse ultra-low-frequency waves according to Van Allen Probe A satellite data

A.I. Yakimchuk¹, A.V. Rubtsov², D.Yu. Klimushkin²

¹*Institute of Mathematics and Information Technologies, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

²*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia*

The goal of the work is to carry out clustering of ULF waves by unsupervised machine learning methods. We used Van Allen Probe A data from one survey of the magnetosphere from January 2017 to October 2018. The analysis is based on such parameters as wave polarization and the average wave amplitude in each of three magnetic field components. Among the clustering methods, the spectral method showed the best result. We analyzed the division into 6, 10 and 16 clusters, and found that in all cases the clusters have a strict spatial localization in L-MLT plane. The maximum occurrence rate of transverse waves corresponds to the case of equal poloidal and toroidal wave amplitude, resulting into single maximum almost normal distribution. In addition, we noticed that in the daytime sector the maximum of average wave amplitudes shifts toward poloidal waves, while in other sectors, this maximum shifts toward toroidal waves.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Peculiarities of whistler waves' ducting by systems of field-aligned plasma density depletions and enhancements: Numerical simulation and analytical description

I.Yu. Zudin^{1*}, T.M. Zaboronkova^{2,1}, M.E. Gushchin¹

¹*Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS). 46 Ul'yanov Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia*

²*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev. 24 Minin Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia*

*E-mail: zudiniy@ipfran.ru

Systems of plasma density irregularities can affect the propagation of VLF whistler waves in the near-Earth plasma significantly. For instance, small-scale irregularities provide scattering of longitudinal or quasi-longitudinal whistler waves into quasi-electrostatic resonant cone waves [1]. Satellite measurements and numerical simulations show that the systems of density irregularities can be specific ducting or scattering structures [2, 3, 4].

Here, the ducting properties of systems of field-aligned, small-scale irregularities with depleted and enhanced density are considered. The analysis is performed under the conditions of interaction of VLF waves with artificial ionospheric turbulence (AIT) excited by the SURA heating facility. The systems of irregularities with perpendicular scale from 10 m up to several km are considered at a height of about 700 km above SURA facility, which are irradiated by VLF waves at a frequency about 18 kHz [2]. Numerical simulation is performed using FDTD procedure, and analytical approach is also presented. The main attention is devoted to comparing the properties of systems of plasma density depletions versus systems of density enhancements; the systems of irregularities of the mixed type are discussed also.

For VLF whistler waves, the systems of irregularities with depleted and enhanced plasma density provide several types of ducting regimes. "Wide" irregularities act as almost independent ducting structures. On the contrary, the systems of multiple "narrow" irregularities can duct whistler waves as single ducting structures in which the electrodynamics properties of individual "narrow" irregularities do not manifest themselves. To describe the ducting properties of a system of narrow irregularities, one can introduce an effective smoothed plasma density profile. Irregularities of an intermediate scale-size can form specific systems in which whistler waves propagate along each of the irregularities in the ducted mode, while due to the overlap of the modes of neighboring irregularities the energy is exchanged between them.

The main difference between the systems of irregularities with enhanced and depleted plasma density is the type of ducted waves. Density enhancements duct quasi-longitudinal whistler waves; density depletions duct Gendrin mode

waves. Accordingly, the polarization properties, wavelengths and ducting mode localization scales differ. In particular, the criteria for VLF waves' ducting by systems of "narrow" irregularities as by single duct with effective smoothed profile for density enhancements and density depletions differ by an order of magnitude.

This work is supported by the Russian Science Foundation (project no. 21-12-00385).

1. Titova E.E Interaction between VLF waves and turbulent ionosphere / Titova E.E., Di V.I., Yurov V.E., Raspopov O.M., Trakhtengerts V.Yu., Jiricek F., Triska P. *Geophysical Research Letters*. – 1984. – V. 11, no. 4. – P. 323-326.
2. Rapoport V.O. VLF electromagnetic field structures in ionosphere disturbed by Sura RF heating facility / Rapoport V.O., Frolov V.L., Polyakov S.V., Komrakov G.P., Ryzhov N.A., Markov G.A., Belov A.S., Parrot M., Rauch J.-L. // *Journal of Geophysical Research*. – 2010. – V. 115, issue A10. – A10322
3. Woodroffe J.R. Whistler propagation in ionospheric density ducts: Simulations and DEMETER observations / Woodroffe J.R., Streltsov A.V., Vartanyan A., Milikh G.M. // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. – 2013. – V. 118, issue 11. – P. 7011-7018
4. Zudin I.Yu. Whistler waves' propagation in plasmas with systems of small-scale density irregularities: numerical simulations and theory / Zudin I.Yu., Zaboronkova T.M., Gushchin M.E., Aidakina N.A., Korobkov S.V., Krafft C. // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. – 2021. – V. 124, issue 6. – P. 4739-4760.

Выделение электромагнитных возмущений от подземных УНЧ источников

К.Е. Боровлева, В.А. Пилипенко, Е.Н. Федоров, Н.Г. Мазур

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия; e-mail: k.borovlyova@gmail.com

Разработан теоретический формализм для расчета электромагнитных полей в связанной системе Земля-атмосфера-ионосфера, создаваемых подземным токовым источником конечного масштаба. В этом формализме поле разбивается на потенциальную и вихревую составляющие. Этот подход позволил преодолеть проблему отсутствия осевой симметрии. На основании этой теории построена численная модель, которая позволяет численно рассчитать электромагнитные УНЧ поля во всей системе Земля-атмосфера-ионосфера, возбуждаемых подземным источником тока. Моделирование проведено для наиболее благоприятных условий, когда спутник находился в ночной ионосфере непосредственно над источником на небольшой глубине. Геомагнитное поле считалось вертикальным, поскольку учет наклона существенно результаты не изменяет. Результаты численного моделирования позволяют связать возмущения приземного магнитного поля и электрического поля в ионосфере, создаваемые крупномасштабным подземным источником. Модельные расчеты показывают, что найденные в ранних спутниковых данных возмущения электрического УНЧ поля перед землетрясениями нельзя связать с прямым излучением сейсмогенных источников, т.к. это подземный ток необходимой интенсивности должен возбуждать интенсивные возмущения геомагнитного поля на поверхности Земли. Такие возмущения были бы обнаружены существующей мировой сетью магнитометров. Теоретическое моделирование позволяет отбросить заведомо нереальные физические механизмы, так как случайные совпадения при наблюдениях могут восприниматься как надежные экспериментальные свидетельства.

Особенности динамики положения области выхода ОНЧ аврорального хисса по данным наземных наблюдений на станциях обс. Ловозеро и Каннуслахто

А.С. Никитенко¹, Н.Г. Клейменова², Ю. Маннинен³, Ю.В. Федоренко¹

¹ПГИ, г. Анапиты, Россия; e-mail: alex.nikitenko91@gmail.com

²ИФЗ, г. Москва, Россия

³Геофизическая обсерватория Соданкюля, г. Соданкюля, Финляндия

В работе представлены результаты анализа поляризации и интенсивности магнитного поля всплесков аврорального хисса, а также их азимутальных углов прихода. Рассмотрены всплески, зарегистрированные на наземных станциях обс. Ловозеро и Каннуслахто 5 января, 1 февраля и 7 февраля 2019 года. Точки наблюдений расположены на близких геомагнитных широтах авроральной зоны и разнесены по долготе на ~400 км. Полученные результаты были сопоставлены с положением дуги полярных сияний, сопровождающей появление аврорального хисса, зарегистрированной all-sky камерой в обс. Верхнетуломский, расположенной на расстоянии 150 км к северо-западу от Ловозеро. Было показано, что динамика положения области выхода аврорального хисса согласуется с динамикой положения дуги полярных сияний, возникающей одновременно с хиссом. Обсуждаемые события также сопровождалась регистрацией в обс. Ловозеро всплесков геомагнитных пульсаций типа p1B (0.02-1 Гц), время начала и окончания которых практически совпадает с началом и окончанием всплесков аврорального хисса. На основе полученных результатов выдвинуто предположение, что процессы возникновения хисса, сияний и пульсаций могут быть связаны.

Наземные наблюдения ОНЧ аврорального хисса в обс. Ловозеро и Баренцбург

А.С. Никитенко¹, Н.Г. Клейменова², Ю.В. Федоренко¹

¹ПГИ, г. Анапиты, Россия; e-mail: alex.nikitenko91@gmail.com

²ИФЗ, г. Москва, Россия

Представлены результаты анализа азимутальных углов прихода и поляризации всплесков ОНЧ аврорального хисса, зарегистрированных на станциях Полярного Геофизического Института обс. Ловозеро (испр. геом. к-ты $\Phi=64.07^\circ$, $\Lambda=126.97^\circ$, LOZ) и обс. Баренцбург ($\Phi=75.21^\circ$, $\Lambda=126.06^\circ$, ВАВ), расположенных в авроральной и приполярной зоне соответственно. Рассмотрены события регистрации хисса 5 января 2019 года, 9 декабря 2018 года и 1 марта 2019 года. События характеризуются тем, что всплески хисса регистрировались сначала в авроральных широтах (LOZ), а затем в приполярной зоне (ВАВ). Возникновение хисса сопровождалось возникновением иррегулярных геомагнитных пульсаций типа p1B на этих точках. При этом во всех случаях начало пульсаций в ВАВ происходило спустя некоторое время после начала пульсаций в LOZ. Мы предполагаем, что в рассматриваемых событиях высыпавшиеся электроны могли быть источником как аврорального хисса, так и триггером наземных иррегулярных геомагнитных пульсаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проект 22-12-20017 «Пространственно-временные структуры в околоземном космическом пространстве Арктики: от полярных сияний через особенности самоорганизации плазмы к прохождению радиоволн» (Никитенко А.С., Федоренко Ю.В.).

Применение импедансных соотношений для анализа структуры поля косейсмических электромагнитных возмущений

Д.А. Стуков¹, В.В. Сурков¹, В.А. Пилипенко¹, В.А. Касимова²

¹*ИФЗ РАН, Б. Грузинская 10, 123242, Москва, Россия; e-mail: dstkov922@gmail.com*

²*КФ ФИЦ ЕГС РАН, Б. Пуйна, 683006, Петропавловск-Камчатский, Россия*

Эффективность мониторинга электромагнитных предвестников землетрясений во многом зависит от выбора наиболее «чувствительных» точек наблюдения. С другой стороны, электромагнитный отклик земной коры на сейсмические волны определяется локальными механо-электрическими свойствами земной коры. Таким образом, предварительное зондирование сейсмоактивного региона сейсмическими волнами от удаленного взрыва/землетрясения с использованием одновременных сейсмических и электромагнитных наблюдений может указать наиболее перспективные точки наблюдения для мониторинга электромагнитных предвестников. Надежное извлечение необходимой информации требует четкого физического понимания различных механизмов магнитного отклика на акустическое воздействие в среде. Существует как минимум два физических механизма, с помощью которых можно объяснить косейсмические электромагнитные явления. Во-первых, это геомагнитные возмущения, вызванные генерацией токов в проводящих слоях земли во время их движения в сейсмической волне. Второй механизм – сейсмоэлектрический эффект, обусловленный электрокинетическими явлениями, возникающими при деформациях пористой влагонасыщенной породы под действием сейсмических волн. Большинство параметров, от которых зависит значение электрокинетического коэффициента, не могут быть измерены напрямую, но этот коэффициент может быть оценен при анализе ко-сейсмических электромагнитных явлений. Для оценки параметров земной коры в точке наблюдения предлагается использовать амплитудно-фазовые соотношения между различными составляющими сейсмического и электромагнитного волнового поля: скорость смещения земной поверхности, горизонтальные компоненты теллурического поля, и трехкомпонентные магнитные возмущения. По-существу, используемый подход подобен широко используемому в радиофизике и космической физике методу импедансов, позволяющему определить параметры среды распространения сигнала по соотношению между электрическими и магнитными компонентами. Расчет кажущихся импедансов дает возможность различать естественные магнитосферно-ионосферные возмущения и косейсмические электромагнитные возмущения, и определять локальные параметры земной коры. В качестве примера используются сейсмические, магнитные и теллурические данные, зарегистрированные с высокой частотой дискретизации на Камчатке. Работа поддержана грантом РНФ 22-17-00125 «Физический анализ сейсмо-электромагнитных явлений на Камчатском геодинамическом полигоне: модернизация системы наблюдений и теоретическое моделирование».

Микронеустойчивости бесстолкновительного магнитного пересоединения при наличии холодных ионов

Д. Чжун, А.В. Дивин, И.В. Зайцев, И.П. Парамоник, И.В. Кубышкин, В.С. Семенов

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия; e-mail: zdh97@outlook.com

Магнитное пересоединение - это универсальный плазменный процесс, который позволяет быстро преобразовать накопленную магнитную энергию в тепло и кинетическую энергию. В бесстолкновительной плазме в ходе процесса формируется сложная вложенная структура, в которой электронная диффузионная область находится внутри ионной диффузионной области. Магнитосферная плазма характеризуется наличием в ней компонент ионосферного происхождения (в дополнение к тепловым популяциям электронов и протонов), которые могут дрейфовать вдоль силовых линий, не взаимодействуя с основными компонентами плазмы. Наблюдения показывают, что холодные ионы (~10 эВ) оказывают существенное влияние на магнитное пересоединение на магнитопаузе и в хвосте. В настоящей работе представлены результаты

Waves, wave-particle interaction

численного моделирования магнитного пересоединения методом "Частица-в-ячейке", где к тепловой плазме добавлена изначально однородная холодная компонента. Результаты моделирования указывают на формирование в области вытекания и в токовом слое ускоренных пучков холодных ионов, вызывающих там раскачку электростатических неустойчивостей. В области вытекания волновая активность развивается в направлении, параллельном магнитному полю. Внутри диффузионной области и на сепаратрисах волновая активность на гибридном ионно-электронном масштабе преимущественно в направлении, перпендикулярном к магнитному полю. Волновая активность возникает при плотности холодных ионов $>50\%$ и термализует холодные пучки, благодаря чему в области вытекания формируется распределение, близкое к тепловому.

Работа выполнена при поддержке гранта 23-47-00084 российского научного фонда.

Проявление межполушарной асимметрии магнитного поля в потоках заряженных захваченных и высыпающихся частиц на низкоорбитальных спутниках

Т.А. Яхнина, А.А. Любич, А.Г. Демехов, Т.А. Попова

Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия

В работе рассмотрены несколько событий, в которых по данным наземной обсерватории Ловозеро и низкоорбитальных спутников NOAA/POES исследованы пульсации в диапазоне Pc1 и связанные с ними потоки заряженных энергичных высыпающихся и захваченных частиц. Показано влияние межполушарной асимметрии магнитного поля Земли на интенсивность потоков энергичных протонов и релятивистских электронов. Их интенсивность увеличивается с уменьшением магнитного поля вблизи низкоорбитального спутника. Чем меньше величина магнитного поля, тем продолжительнее время регистрации этих потоков. При уменьшении магнитного поля граница изотропии смещается к экватору.

Cosmic ray variations and other interplanetary parameters of magnetic clouds

M.A. Abunina, A.V. Belov, N.S. Shlyk, A.A. Abunin

IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia; e-mail: abunina@izmiran.ru

A catalogue of 465 magnetic clouds (MCs) was compiled using different sources. The behavior of the main parameters of the interplanetary medium, solar wind, cosmic rays (CR), and geomagnetic activity during the passage of an MC past the Earth has been studied. The time distributions of these parameters within MCs are considered. A comparison is made with similar parameters of interplanetary disturbances without the MC structure. It is shown that in interplanetary disturbances containing MCs extreme values of the studied parameters are higher than those registered in events without MCs.

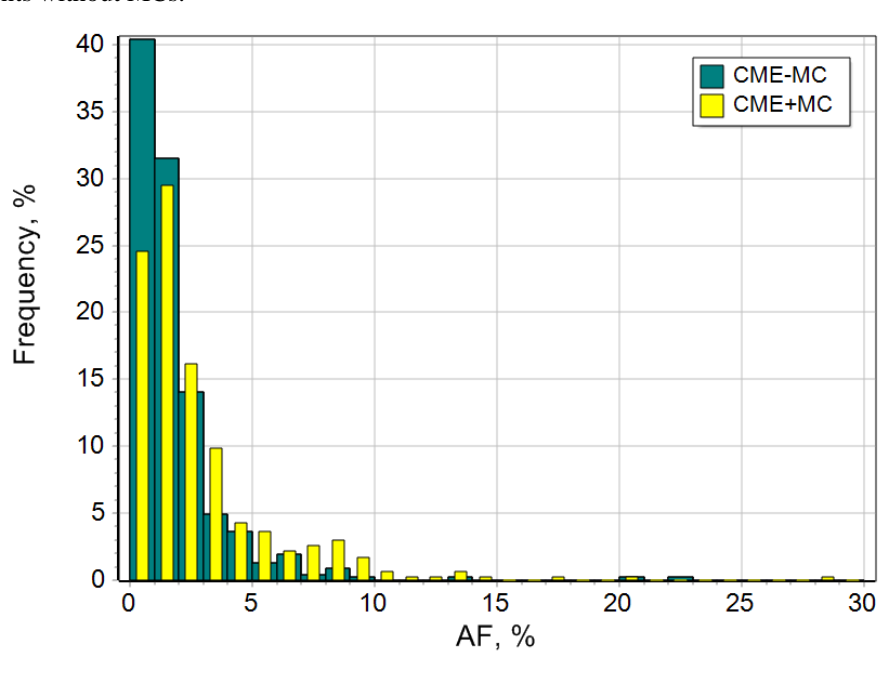


Figure. Distribution of minimal CR density values in interplanetary disturbances containing MCs and in events without MCs.

Overview of the KODIZ instrument's first measurements

G.I. Antonyuk¹, V.V. Benghin^{1,2}, O.Yu. Nechaev¹, V.I. Osedlo¹, I.A. Zolotarev¹

¹Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A new instrument, the Combined Radiation Detector (KODIZ), has been developed at Moscow State University's Research Institute of Nuclear Physics to measure cosmic rays of different nature. It uses a set of detectors that allow to register both neutrons and electrons and protons due to various reactions. The KODIZ instrument was launched into low-Earth orbit on board the Cubesat-3U microsatellite "Monitor-1" on 9 August 2022.

The results of the processing of the data obtained over time show features of the interaction with the spacecraft and the instrument, the operation of the detector and digital nodes, as well as some well-known physical phenomena.

The experiment is conducted within the framework of the "Constellation-270" project and the "Space- π " federal project with the support of the Foundation for Assistance to Innovations and the interdisciplinary science and education school of Moscow State University "Fundamental and Applied Space Research".

Wave propagation in and above sunspots

A.A. Chelpanov, N.I. Kobanov

Institute of Solar-Terrestrial Physics

The goal of the research is to study the distribution of ways of wave energy above sunspots and their immediate surroundings and the transformation of the waves while they propagate between the layers of the solar atmosphere. We consider two period ranges: 3-minute oscillations and oscillations with periods of 10 minutes and higher. We analyze the nodes of oscillation concentration in the lower solar atmosphere and trace wave propagation along coronal loops above the active regions.

The study was supported by the Russian Science Foundation under Grant 21-72-10139.

Statistical study of the sloshing oscillations in the flaring coronal loops

R.R. Karakotov, A.A. Kuznetsov, S.A. Anfinogentov

Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Sloshing oscillations are known as a kind of slow magnetoacoustic waves which propagate along coronal loops reflecting from the loop footpoints. In the SDO/AIA observations they look like local brightenings moving back and forth along the coronal loop. In this work we study the sloshing oscillations observed with SDO/AIA. Using the Heliophysics Events Knowledgebase (HEK) list of solar flares, we selected and analyzed more than 300 flares of M and C classes that occurred in years 2013-2014. Among them, we have found 17 events of sloshing oscillations in the 131 Å wavelength channel. The parameters of the oscillations were estimated for the further statistical analysis. Lengths of coronal loops were estimated under assumption of their semicircular shapes. The time-distance plots were produced to estimate the periods of the oscillations. Propagating speeds of the oscillation were computed and then the plasma temperatures were estimated using the assumption that the propagating speed is similar to the sound speed in plasma. The estimated speeds are typically comparable to those of the slow magnetoacoustic waves (~ 500 km/s), but some of the oscillations were found to propagate with the speeds typical of the fast magnetoacoustic waves (~800-900 km/s). Based on the results of the study, the catalog of sloshing oscillation events was developed.

The work was supported by the Russian Scientific Foundation (project No. 25-12-00195).

Behavior of galactic cosmic rays during flux enhancements of magnetospheric electron with energy > 2 MeV

Olga Kryakunova¹, Anatoly Belov², Botakoz Seifullina¹, Maria Abunina², Artem Abunin², Irina Tsepakina¹, Nikolay Nikolayevskiy¹, Natalia Shlyk²

¹*Institute of Ionosphere, Kazakhstan; e-mail: krolganik@yandex.ru*

²*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences, Russia*

Changes in the intensity of galactic cosmic rays on Earth and beyond the boundary of the magnetosphere occur earlier than an increase in the flux of high-energy magnetospheric electrons with energy > 2 MeV in the geostationary orbit, so the behavior of galactic cosmic rays before and during electron flux enhancements can provide valuable information about the processes occurring in near-Earth space at this time. The density and vector anisotropy of galactic cosmic rays for 453 events of high-energy magnetospheric electron flux enhancements over the period 1996-2020 were calculated by the Global Survey Method (GSM). Some examples of these events, which are characteristic of different classes of solar sources, are considered. The behavior of the density and vector anisotropy of galactic cosmic rays before and during electron flux enhancements in events connected with the arrival to Earth of high-speed streams from coronal holes, coronal mass ejections associated with solar flares or disappeared solar filaments is revealed.

The modeling of the solar cosmic ray protons propagation through the Earth atmosphere during the GLE №70

E.A. Mauricev, A.A. Abunin, M.A. Abunina

IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia; e-mail: maurchev1987@gmail.com

Interact with the Earth's atmosphere, the cosmic ray protons lose their energy both through the ionization process and through the cascades process. As a result of these interactions, various secondary particles are born. The estimation task of the fluxes for these particles can be applied, for example, in the field of estimating the equivalent dose when flying on airliners at altitudes of 10-11 km. This work presents a method for calculating the secondary particle fluxes formed as a result of the solar cosmic ray protons interaction with the Earth's atmosphere using numerical modeling. To solve this problem, the RUSCOSMICS software package was used, based on the GEANT4 software development tool.

Modeling of the NaI (TI) scintillation detector response function

E.A. Mauricev¹, A.V. Germanenko², Yu.V. Balabin², A.A. Abunin¹

¹*IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia; e-mail: maurchev1987@gmail.com*

²*PGI, Apatity, Russia*

There are the differential spectrum regular measurements of the secondary photons (X-ray and gamma) produced by the cosmic rays in the Earth atmosphere carried out in Apatity. It lies in the energy range of 0.1-4 MeV and can be transformed into the radiation flux profiles in form of the energy-binned histogram with width of 100 keV per each bin. To measure the secondary photons differential spectrum the NaI(Tl) Ø65×65 mm scintillation crystal is used. This paper provides the description of the detector response function calculation method. To solve this task, we use the GEANT4 software development kit.

The study was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 18-77-10018.

The role of the presence of alpha particles in proving the penetration of solar wind diamagnetic structures into the magnetosphere

V.A. Parkhomov¹, V.G. Eselevich², M.V. Eselevich²

¹*Baikal State University, Irkutsk; e-mail: perines_41@mail.ru*

²*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk*

The results of studies showing the presence of simultaneous jumps in the density of protons $(N2/N1)_p$ and alpha particles $(N2/N1)_\alpha$ at the boundaries of diamagnetic structures (DS) of various scales both in the quasi-stationary slow solar wind (SW) and in the sporadic SW are presented. For the DS of a quasi-stationary slow SW associated with a belt or chains of streamers, within the framework of the statistics considered in the article, there is a single linear dependence of $(N2/N1)_\alpha$ on $(N2/N1)_p$. At the front of interplanetary shock waves, the $(N2/N1)_\alpha$ jump is approximately twice as large as the $(N2/N1)_p$ jump. The maximum excess (almost 3 times) of the increase in the concentration of alpha particles $(N2/N1)_\alpha$ compared to the increase in the concentration of protons $(N2/N1)_p$ is observed in eruptive prominences. Examples of magnetospheric responses to the impact of various types of DS and interplanetary shock waves are considered. The presence of $(N2/N1)_\alpha$ jumps can be used as an additional important argument in studying cases of DS penetration into the magnetosphere.

Numerical study of coupled MHD waves in the solar corona

A.V. Petrashchuk*, D.Yu. Klimushkin, P.N. Mager

Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Irkutsk, Russia (IAP RAS). 126A. Lermontov Street, Irkutsk, 664033, Russia

*E-mail: petrashchuk@mail.iszf.irk.ru

We report a numerical and theoretical analysis of the structure of magnetohydrodynamic (MHD) waves in solar coronal arcade. Using the cylindrical solar plasma model, several models were considered, where the magnetic field lines are represented by concentric semi-circles. We consider two main parameters of the models: the parameter β , the ratio of the plasma pressure to the magnetic pressure, and the parameter κ_p , which determines the spatial scale of the radial inhomogeneity of the plasma pressure. When the finite pressure in the solar corona is taken into account, two wave modes can exist: Alfvén and slow magnetosonic (SMS), coupled by the curvature of field lines. The problem for eigenvalues of the transverse component of the wave vector k_r is considered. It has been established that MHD waves are localized in two transparency regions ($k_r > 0$) each of which is limited on the one hand by the resonant frequency, where $k_r \rightarrow \infty$ and the cut-off frequency ($k_r = 0$) on the other side of the transparency region. The wave structure along the field line is calculated from several model parameters of the plasma of the solar corona.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Magnetic field configurations at solar flare sites above active region AR 10365 from MHD simulation results

A.I. Podgorny¹, I.M. Podgorny², A.V. Borisenko¹

¹*Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, Russia; e-mail: podgorny@lebedev.ru*

²*Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia; e-mail: podgorny@inasan.ru*

The study of the solar flare mechanism is continued by means of magnetohydrodynamic (MHD) simulation in the solar corona above the real active region. When setting the problem, no assumptions about the flare mechanism were made, all conditions were taken from observations. The measured magnetic fields on the solar surface were used to set the boundary conditions. The rest of the boundary conditions were approximated by the free exit conditions or other conditions that should not give rise to significant disturbances propagating into the computational domain. In order to be able to study the mechanism of a solar flare, it is necessary to start the calculation a few days before the flare, when the magnetic energy for the solar flare has not yet been accumulated in the corona. The observed appearance of a flare high in the corona can be explained by the mechanism of flare, according to which the energy accumulated in the magnetic field of the current sheet is released. The current sheet is formed as a result of the accumulation of disturbances in the vicinity of a singular magnetic line in the corona. After the quasi-stationary evolution, the current sheet transfers into an unstable state.

The method of numerical solution of the equations of magnetohydrodynamics was improved, using the developed absolutely implicit upwind finite-difference scheme, conservative with respect to the magnetic flux, which was implemented in the PERESVET program. In order to increase the calculation speed, the parallel computing algorithm was modernized. Parallelization of calculations was carried out by computational threads on modern graphics cards using CUDA technology. It is only thanks to parallel computing that MHD simulation in the real scale of time became possible. The method for stabilizing numerical instabilities that arise near the boundary of the computational domain has been modernized. The previously developed system for graphical search for flare positions using the magnetic field configuration above the active region, obtained as a result of MHD simulation, has been upgraded. As a result of the use of artificial viscosity, special selection of values at the boundary, and other methods, the problem of stabilizing numerical instabilities near the boundary has been partially solved, which made it possible to perform MHD simulations above the active region AR 10365 during the period of almost three days. The graphic search system finds local current density maxima, since they should appear, in particular, in the centers of the current sheets, then

the analysis of the magnetic field configuration near the points of the found maxima is carried out. Calculations have shown that for many singular lines a divergent magnetic field is superimposed on the X-type magnetic field configuration; however, due to the presence of the X-type configuration, in this overlay of fields a sufficiently powerful current sheet can form. A comparison of the results of MHD simulations with observations before solar flares and during flares showed that a significant part of the points of current density maxima are located in the region of strong thermal X-ray emission, measured by the RHESSI spacecraft, or strong radio emission at a frequency of 17 GHz, measured by the Nobeyama radio heliograph (NoRH). Also, a significant part of the points of maxima is located at a relatively small distance from the region of strong radiation (~10 Mm and less), which can be explained both by the inaccuracy of the numerical method and by physical processes during the flare. In the report the comparison of the magnetic field configurations obtained by MHD simulations above the active region of AR 10365 and the positions of the current density maxima located at the centers of the current sheets with the observed regions of intense flare radiation are presented. The images of the field configurations near the found current density maxima are presented.

Prediction of solar activity by spectral analysis

D.B. Rozhdestvensky, V.I. Rozhdestvenskaya, V.A. Telegin

The Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation. N.V. Pushkov

Predictions of ionospheric parameters are usually made through predictions of solar activity. Discrepancies between model solutions and observations pose significant difficulties for reliable predictions. Analysis and comparison of observations with model parameters, based on statistical methods, allow correlations to be established between observations and model values for the purpose of extrapolation. The uncertainty in the predictions is due to the degree of adequacy of the model. The use of the magnetic field, a modified Kalman filter (Kalman 1960), the Data Assimilation (DA) method and the EnKF method (Evensen 1997, Kalnay 2002) allowed (Kitiashvili 2016, 2020) to make predictions for 23-25 solar cycles. The solar maximum of cycle 25 (SC25) is expected to be weaker than that of cycle 24 (SC24), the solar maximum will occur in 2024-2025 and will probably have two maxima as in cycle 24. The number of sunspots during the maximum will be about 50 with an error of 15-30%. These results are derived from an analysis of the last four solar activity cycles. The observational data are presented as discrete samples on a finite time interval. The prediction process is related to the problem of approximation of discontinuous functions, the Gibbs phenomenon, which occurs for any type of approximating functions. With Fourier series, each spectral component was studied separately, which greatly simplifies their description and prediction. In solar and ionospheric processes, it is possible that components with periods contribute significantly to the overall picture of the phenomenon, which cannot be assumed to be infinitesimal. In this case, Fourier series decomposition requires consideration of a large number of components. The authors developed an original forecasting technique using Fourier series, digital filtering with Chebyshev filters and representation of the complex process as modulation followed by demodulation (Rozhdestvensky D., 2011-2020). In the present work, we applied this method to predict the 24th and 25th solar activity cycles. Representing the complex oscillatory process in the form of a Fourier series and using frequency filtering allowed us to determine that the mechanism of information transfer into the future time domain is the Gibbs oscillation. It was shown that the individual spectral-limited components of the process should be predicted, for which spectral analysis is applicable. Extrapolation of the data yields a trend of solar activity over 30 counts with a division value of 160 days, which is the nearest 13-year period. Satisfactory agreement was obtained with the predictions of Kitiashvili (2020). In our forecast of the 25th cycle, the increasing phase will also last for about 5 years, and the average value of the Wolf numbers at the maximum is expected to be about 100.

The 24th solar cycle was predicted using spectral analysis and Chebyshev filters. First, the low-frequency component is predicted. Then a region similar to the final observed one is found over the entire interval of known values of the predicted process. The comparison is made with respect to both the amplitude of the process and its derivative. Ideally the comparison should be carried out up to the n-th derivative. Multistage filtering in the time and frequency domain is used to extract components with different periods. Examination of the first derivatives shows that the downward section in cycle 23 is similar to that in cycle 11. Based on the similarity relations, we assumed that cycle 24 evolved similarly to cycle 12 and that cycle 12 could serve as a prototype of cycle 24. Calculation of the derivatives of cycle 11-12 and cycle 23 shows satisfactory agreement.

The use of spectral analysis and Chebyshev filtering makes it possible to predict the low-frequency component as well as the secular component over a period of several cycles. Our data are consistent with long-term studies, and the method of spectral analysis, demodulation, and Chebyshev filtering can be used for operational forecasting of solar and ionospheric activity.

An empirical model for estimating ICMEs speeds and delays

N.S. Shlyk, A.V. Belov, M.A. Abunina, A.A. Abunin

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Moscow, Troitsk, Russia; e-mail: nshlyk@izmiran.ru

We have reviewed and analyzed 364 coronal mass ejections (CMEs) registered with the SOHO/LASCO coronagraph, associated with solar flares and then observed in near-Earth space. It has been established that interplanetary CMEs (ICMEs) transit speed and delay depend not only on the initial speed of the corresponding CME and the longitude of the associated solar flare but also on the ambient solar wind velocity. It is also shown that the ICME transit speed in the studied sample of 364 events is closely related to the maximum speed observed on Earth.

A model has been created that takes into account the ambient solar wind velocity and the solar data that accompany the generation of CMEs: initial speed and heliolongitude of the source. It is possible now to estimate ICMEs transit speed and delay, as well as the maximum speed of the interplanetary disturbance in near-Earth space.

The results obtained are applicable in forecasting a state of space weather.

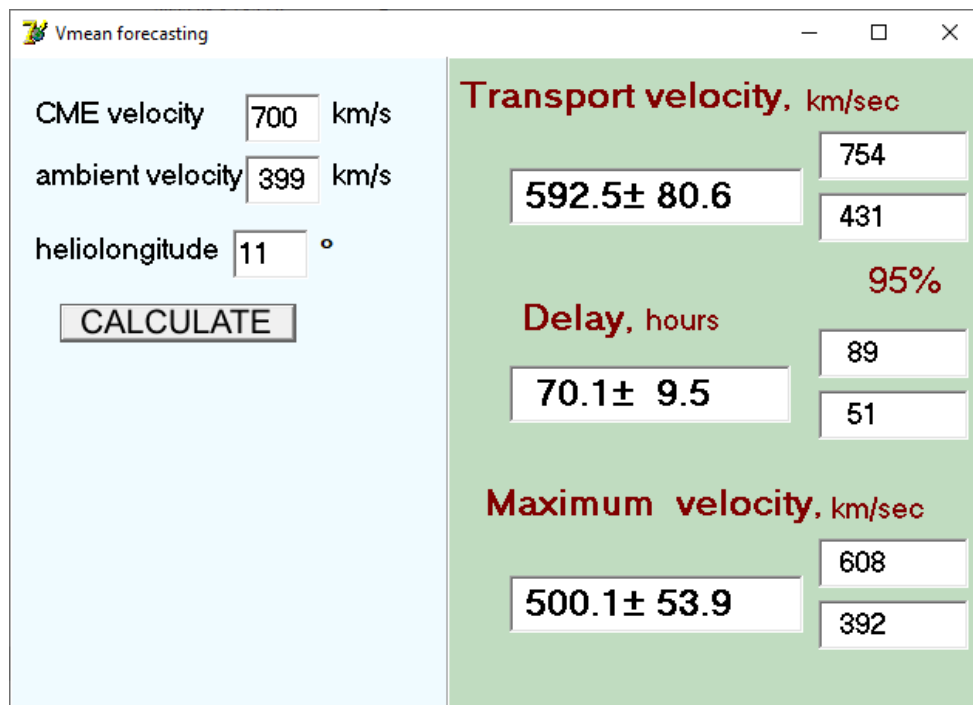


Figure. Screenshot of the program for calculating the expected transit and maximum speeds and delay of ICMEs created on the basis of the described model.

Analysis of variations in solar and geomagnetic parameters for solar cycle 24 using statistical (ANOVA) method

D.K. Sondhiya¹, P. Singh², B. Lahari³

¹*Department of Physics, Motilal Vigyan Mahavidhyalaya, Bhopal, India*

²*Department of Physical Sciences, Rabindranath Tagore University, Bhopal, India*

³*School of Sciences, SAGE University, Bhopal, India*

Analysis of plages and spots on the photosphere is very important to study the magnetic field of the sun. That type of analysis is very important to understand the various dynamic processes associated with Sun and other stars. These dynamic processes also influence the magnetic field of earth and other planets.

In the present work, we have analyzed the sunspot number and their interrelationship with other solar activity parameters using statistical ANOVA method. The observed irregularities, in the relationship between SSN and other solar activity parameter have also been discussed. Also develop a suitable regression based model to explain the various long-term characteristics of solar activity. In this work we also proposed the effectiveness of the study of solar indices in the successful modeling in solar – terrestrial physics.

It was concluded that the linear correlation of sunspot number and F10.7 solar radio flux is stronger than the linear correlation between sunspot and Dst and Ap index. Linear regression between sunspot number and F10.7 shows that there is a strong correlation between these two parameters. Also the Dst and ap index were well correlated with sunspot area as compared to Sunspot number.

Pulsating Aurora Imaging Photometers System

A.A. Belov^{1,2}, P.A. Klimov¹, B.V. Kozelov³, A.S. Murashov¹, R.E. Saraev^{1,2},
K.F. Sigaeva^{1,2}, S.A. Sharakin¹, D.A. Trofimov^{1,2}, K.D. Shchelkanov^{1,2}

¹*D.V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, 119234, Russia, Moscow, Leninskie gory, 1(2)*

²*Faculty of physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, 119234, Russia, Moscow, Leninskie gory, 1(2)*

³*Polar Geophysical Institute, 183010 Russia, Murmansk, Khalturina st., 15*

Pulsating aurora (PsA) is a quasi-periodic modulation of the emission intensity caused by precipitation of energetic electrons. PsA have an extended shape and consist of separate flickering columns. The dynamics of the PsA structures characterized by fast complex movements of their bright part. The mechanisms of PsA formation are still insufficiently studied, as well as their relationship with relativistic and subrelativistic electrons microbursts. The energy of precipitated electrons can be derived from the minimum altitude of the visible patch measured by two instruments observing the same volume of atmosphere from different places.

A system of pulsating auroras stereoscopic observations is developed for the high-latitude observatories Verkhnetulomsky and Lovozero of the Polar Geophysical Institute. The imaging photometers are highly sensitive telescopes based on multi-anode photomultiplier tubes (MAPMTs). The first photometer had been installed at the Verkhnetulomsky observatory on September 2021. It has a 1° angular resolution and possibility to operate in three modes with different temporal resolutions: 2.5 μs, 320 μs, and 41 ms. For the first two modes short waveforms of 128 time samples are recorded (4 records each 5 seconds). The third one is a monitoring continuous measurements. During 2021/2022 season it was operated during 163 nights. On September 2022 it was upgraded to increase a temporal resolution of monitoring mode up to 1 ms.

The second telescope is planned to be installed in 2023 in Lovozero observatory and will provide a side observations of the same atmospheric volume in the altitude range of 50–100 km with a spatial resolution of about 2 km. This photometer will allow to measure a vertical distribution of the auroral emissions with high temporal resolution and make it possible to estimate the maximum precipitating electrons energies. The photometers complement the already existing PGI all-sky camera system.

The report provides a description of the equipment, examples of measurements for the first and second seasons of work. The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 22-62-00010 (<https://rscf.ru/project/22-62-00010/>).

Search for UV microbursts in auroral emission

A.A. Belov, P.A. Klimov, S.A. Sharakin, K.D. Shchelkanov*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie Gory, Moscow

*E-mail: shchelkanov.kd18@physics.msu.ru

Relativistic electron microbursts (REMs) are the intensive increasing of energetic electron (MeV energy range) precipitation from magnetosphere in a subsecond time scale. These microbursts were measured for example by the SAMPEX mission. It was shown that REMs are mostly related to the outer radiation belt and occur predominantly on the dawn-side, between 0 and 13 MLT. On the other and it was show that REMs can be a high-energy part of pulsating aurora electrons which precipitate deeper in the atmosphere (down to 65 km). Recently, a strong correlation between REMs and Patchy Aurora was demonstrated.

In this regard, of particular interest is the search for short bursts of atmospheric emission in the near UV range, which may be a consequence of the such relativistic electrons beams impact.

In the autumn of 2021, a multichannel imaging photometer of PAIPS (Pulsating Aurora Imaging Photometers System) project based on the multi-anode photomultipliers (MAPMT) was installed at the Verkhnetulomsky

Observatory. This equipment is based on the technology developed for the ultra-high-energy cosmic rays fluorescent atmospheric emission measurements. Thus, it measures atmospheric emission in a near-UV (300–400 nm) wavelength band in a single photoelectron mode. Oscillograms with three different temporal resolutions were recorded: 2.5 μ s, 320 μ s and 40 ms. Measurements were conducted in continuous monitoring mode during 163 nights in 2021/2022 season.

Parameters of the equipment make it possible to detect short bursts of radiation in the aurora region. Results of data processing and a search for such microbursts will be presented.

The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 22-62-00010 (<https://rscf.ru/project/22-62-00010/>).

Scintillations of GNSS receivers in the subauroral region in the southern hemisphere

D. Chuginin¹, D. Kotova², A. Sinevich¹, A. Chernyshov¹, W. Miloch²

¹*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

²*University of Oslo, Oslo, Norway*

The work studies the possible influence of a polarization jet/SAID (SubAuroral ion Drift) on the phase scintillations of GNSS receivers. We consider the geomagnetic case of March 18, 2018, when, according to the DMSP satellite data, a polarization jet/SAID was observed over the area of Antarctica, where two GNSS receivers were located. For a more complete analysis, this study also uses Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) observations as well as Swarm and Norsat-1 satellite data for this geomagnetic substorm. From the analysis of the data, it is concluded that at the moment of auroral activity intensification, an increased intensity of phase scintillations was observed in the region of the polarization jet/SAID in the subauroral ionosphere.

This work was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 23-22-00133).

Ionospheric effects at high latitudes produced by magnetosheath jets

A.V. Dmitriev^{1,2}

¹*Department of Space Science and Engineering, National Central University, Jhongli 32001, Taiwan; e-mail: dalex@jupiter.ss.ncu.edu.tw*

²*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia*

We report ionospheric effects at high latitudes related to the interaction of fast magnetosheath plasma streams, so-called jets, with the dayside magnetopause. The jets were observed by THEMIS mission in the dayside magnetosphere during a quiet day on 12 July 2009. It was found that the jet interaction was accompanied by strong localized compression and penetration of suprathermal magnetosheath plasma inside the dayside magnetosphere. The compression caused prominent magnetic variations with amplitudes up to 100 nT observed by ground-based magnetic networks SuperMAG and CARISMA. The magnetic variations were also visible in the geomagnetic Dst and AE indices. The jets also resulted in intense precipitation of the suprathermal ions with energies <10 keV and energetic electrons with energies >30 keV observed by low-altitude NOAA/POES satellites in a wide longitudinal range. The precipitations produced enhancements of ionization with an amplitude of ~1 TECU (~30% in relative units) and intensification of the ionospheric E and F1 layers as observed in the FORMOSAT-3/COSMIC mission. The enhanced ionization in the upper atmosphere might affect radio communication and navigation in the high-latitude regions. These results also provide new insight into the contribution of magnetospheric forcing to day-to-day ionospheric variability.

Effect of neutral and electron temperature disturbances on the behavior of the high-latitude ionospheric electron density during various space weather phenomena

M.V. Klimenko¹, V.V. Klimenko¹, F.S. Bessarab¹, T.V. Sukhodolov¹,
K.G. Ratovsky², E.V. Rozanov¹, K.V. Belyuchenko^{2,3}

¹*West Department of Pushkov IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

²*ISTP SB RAS, Irkutsk, Russia*

³*BFU, Kaliningrad, Russia*

The spatio-temporal distribution of various parameters (concentration, velocity, and temperature of neutral and charged particles) of the near-Earth space environment has a significant effect on the satellite deceleration and on the conditions for the propagation of radio signals through the ionosphere. Thus, the Earth's ionosphere affects the operation of communication systems of space, aircraft and sea vessels, over-the-horizon radar and global navigation systems (including the Russian GLONASS satellite positioning system). The currently existing empirical and first principal's models of the ionosphere used as environment models when solving problems of radio wave propagation do not accurately describe the parameters of the environment, especially during periods of various magnetospheric (geomagnetic storms and substorms) and atmospheric disturbances. The purpose of this work is to review recent studies and subsequent interpretation the spatio-temporal features of the distribution of electron density in the high-latitude F-region and the topside ionosphere using the methods of mathematical modeling during two periods of various space weather phenomena. We will consider effects of geomagnetic storms and solar proton events. The positive disturbances in the electron content at plasmaspheric heights at high latitudes can appear simultaneously with the negative disturbances in foF2 due to electron and neutral temperature heating. Seasonal and UT variation of such effects will be discussed.

This investigation was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant 21-17-00208.

Using spatial radio wave field processing for near-Earth plasma diagnostics

S.I. Knizhin*¹, M.V. Tinin²

¹*Physics dept. Irkutsk State University, 20 Gagarin Blvd, Irkutsk, 664003, Russia*

²*Applied Physics Institute. Irkutsk State University, 20 Gagarin Blvd, Irkutsk, 664003, Russia*

*E-mail: sergeiknizhin@mail.ru

A key problem of diagnostics of inhomogeneous plasma is measuring system resolution. This question is important regardless of the methods of measuring and localizing an inhomogeneous medium. To examine the fine structure of inhomogeneous plasma with high resolution is of immediate interest for near-Earth space diagnostics. The most common methods are remote diagnostic methods associated with the measurement of characteristics of electromagnetic waves in forward and back scattering in an inhomogeneous medium. Along with X-ray diagnostics, of great concern are studies of inhomogeneous media with radio waves. For example, such parameters of the scattered wave field in an inhomogeneous plasma as phase and amplitude can be used to reproduce the plasma electron density. The radio sounding is in demand in such areas as diagnostics of ionospheric plasma.

Studies of the fine structure of near-Earth plasma with scales not exceeding the Fresnel radius remain, however, topical. It is important to examine such irregularities to solve a wide range of radio physical problems such as global positioning with navigation satellites (GPS, GLONASS). As is known, local-irregularity refraction in the ionosphere can bend the navigation signal path and give a significant error in precision positioning.

As a method capable of increasing the resolution of inhomogeneous plasma diagnostics we can use the spatial field processing based on the representation of the wave field as the double weighted Fourier transform (DWFT) performed relative to source and receiver coordinates. A distinctive feature of this method is its ability to diagnose irregularities with scales smaller than the Fresnel radius for weak and strong phase and level variations in the absence of information about the location of the inhomogeneous medium under study. Such diagnosis can be implemented in problems of

plasma radio tomography, where a transmitting and receiving system has two antenna arrays. In ionospheric research, the DWFT spatial processing can be performed when it is possible to synthesize the transmitting antenna system by a moving low earth orbit or high earth orbit satellites.

To obtain physical characteristics of the inhomogeneous structure, when calculating the time of synthesis of the transmitting antenna array in the satellite radio diagnostics we should take into account the relaxation time and the drift velocity of the inhomogeneous structure considered, which can be as high as 270 m/s. In this case, low earth orbit satellite systems are more preferable than high earth orbit navigation systems due to the higher speed of the satellites.

When physical characteristics of an inhomogeneous medium change rapidly or a spatial field processing can be made only in one of the planes, for example in the receiving plane, the DWFT field processing becomes inapplicable. In this case, we can adopt a single spatial field processing based on a modification of the DWFT method for a remote irregularity. This approach, as well as DWFT, allows us to identify small-scale irregularities under conditions of strong and weak phase variations. The main difference between this method and the Fresnel inversion, which is often used to solve problems of inhomogeneous plasma diagnostics, is the ability to place a virtual screen not only at the output of the inhomogeneous medium but also inside it.

This work is supported by the Russian Federation Ministry of Science and High Education (projects FZZE-2023-0004).

Modeling of the propagation of atmospheric waves generated by a meteorological source in the Moscow region

Y.A. Kurdyeva, O.P. Borchevkina, I.V. Karpov, F.S. Bessarab

Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia

Model calculating of atmospheric waves generated before the passage of a hurricane in the Moscow region on May 29, 2017 have been made. During the study, numerical simulation of atmospheric wave propagation before a strong pressure surge during a hurricane was carried out using a three-dimensional version of the high-resolution nonlinear numerical model AtmoSym. The meteorological source was set based on experimental observations of variations in atmospheric pressure on the Earth's surface recorded on a network of 4 microbarographs located in the Moscow region during the passage of an atmospheric front. Estimates of wave disturbances in the upper atmosphere caused by the generation of acoustic-gravity waves by a meteorological source are given.

This investigation was performed with the financial support of the Russian Science Foundation Grant No. 21-17-00208.

Information and analytical system of IKI RAS "Heliogeophysics"

Oleg Nikiforov¹, Alexey Merzliy¹, Anatoli Petrukovich¹, Alexander Kuzmin¹, Renata Lukianova¹, Ivan Uvarov¹, Albert Yanakov¹, Igor Moiseev¹, Grigory Filatov¹, Alexey Starilov¹, Ivan Shagurin², Victor Popov^{1,2,3}

¹*Space Research Institute, Moscow*

²*Higher School of Economics, Moscow*

³*Moscow State University, Moscow*

IAS IKI GGF is designed for automated collection, storage, processing, transmission of heliogeophysical information in the interests of solving scientific and applied problems for the study of solar-Earth connections, the ionosphere, the magnetosphere and space plasma.

IAS ICI GGF solves the following main tasks:

- automated collection, processing, storage and transmission of heliogeophysical, as well as other necessary data;

Ionosphere and upper atmosphere

- thematic data processing;
- automated transmission of processed heliogeophysical information at the request of the consumer;
- solving scientific and applied problems on the basis of empirical and calculated models (ionosphere, propagation of radio waves, oval, etc.);
- a universal stand for testing ionosphere models;
- support of analysis of experimental data and selection of effective models;
- use in educational activities, as well as to popularize science;
- development of methods for communicating thematic information to users.

IAS ICI GGF includes the following main elements:

1. Server system;
2. Automated workstations (AWS);
3. Database based on the server system;
4. Special Software (SPO).

The server system and workstations run Debian-based Linux operating systems, including Astra Linux.

The system is based on replenished archives of data from the ground network of magnetometers, riometers, ionosonds of vertical and inclined sensing of the ionosphere (IVZ and INZ), sensors of global navigation systems, shortwave radio beacons, DMSP satellites and their promising analogues, solar wind observation indicators according to NOAA, NCAA meteorological data, Earth remote sensing data.

The system implements the constant operation of models, taking into account their correction according to experimental data:

1. Feldstein's Auroral Oval;
2. OVATION Prime Auroral Oval Boundaries;
3. Large-scale ionospheric inhomogeneities in the high latitude region F under various conditions of solar wind and the zenith angle of the Sun;
4. Calculation of high latitude ionosphere parameters;
5. Calculation of the propagation of decameter radio waves;
6. Calculations of interaction of decameter radio waves with ionosphere heterogeneities.

The IMF input into the Upper Atmosphere electrodynamics

S.A. Parfenov, B.E. Prokhorov, O.V. Zolotov, A.A. Namgaladze¹

¹*Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia*

The Interplanetary Magnetic Field (IMF) influences on the coupled system of the earth ionosphere, thermosphere and magnetosphere due to the Field Aligned Current (FAC) generation. These FACs flow into the earth high latitude ionosphere and thermosphere and form there the electric field thus influencing on the whole earth electrodynamics.

We included the MFACE model of the FACs into our global numerical three-dimensional time dependent Upper Atmosphere Model (UAM) to take into account the IMF influence on the earth electrodynamics.

The empirical MFACE model was based on the magnetic measurements of the CHAMP satellite. This model gives the FACs patterns for the northern and southern hemispheres. It takes into account the season, the IMF intensity and direction, the solar wind velocity and the solar activity level.

All this allows to obtain the improved description of the earth upper atmosphere electrodynamics. For example, we clearly see the electric field asymmetry into polar caps between the northern and southern hemispheres.

This work was supported by the Russian Science Foundation grant № 22-27-20152, <https://rscf.ru/project/22-27-20152/>, and under financial support by the Ministry of Education and Science of the Murmansk region in the frame of the agreement №11.

The system of ionospheric currents and its contribution to the Earth's magnetic field

Boris E. Prokhorov

Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

The ionospheric currents constitute a highly variable part of the global Earth's electrodynamics. The ionospheric current system generates a disturbance magnetic field. The magnetic field variations of ionospheric origin are relatively significant and visible in the observatory data. The proper modeling of the ionospheric current system and as a result, the accurate prediction of the additional magnetic field of ionospheric origin improves the determination of the core, lithospheric, magnetospheric fields and helps to explain the satellite and ground-based measurements of the Earth magnetic field.

For this investigation, I use the improved version of the first-principle, time-dependent, and fully self-consistent numerical global Upper Atmosphere Model (UAM). Now the UAM model is able to reproduce a part of the Earth's ionospheric currents. The model provides two horizontal components of the ionospheric current system for the altitudinal range from 80 km up to 175 km. The obtained three-dimensional distribution of currents is presented in spherical coordinates.

Additionally, I construct an algorithm for the additional magnetic field computation. The algorithm obtains the additional magnetic field from the system of the three-dimensional distribution of the ionospheric currents calculated with the UAM model. The additional magnetic field is computed using the Biot-Savart law. The algorithm is capable of calculating the additional magnetic field both outside and inside the ionospheric current layer.

The obtained additional ionospheric magnetic field magnitude is about several hundreds of nT in the vicinity of the ionospheric current layer. Such value is significant and important for the satellite and ground-based measurements. At the same time, it is small compared to the dipole magnetic field of the UAM model. Therefore, additional ionospheric magnetic field can be neglected in the UAM model.

Research of airglow intensity using data acquired by Irkutsk Scattering Radar and Fabri-Perot interferometers

A. Shelkov, R. Vasilyev, M. Artamonov

Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Irkutsk, Russia

For now, the means of observing the charged component of the upper atmosphere are quite well developed in Eastern Siberia. However, there are very few instruments for studying the neutral component. Since 2016, at the Geophysical Observatory 'Tory', observations of upper atmosphere's neutral component are being conducted using Fabri-Perot interferometers (FPI) KEO Arinae. They are capable of measuring temperature and air velocity at an altitude of 250 km. It is done by analyzing the spectral parameters of the airglow at a wavelength of 630 nm. The results of such observations also make it possible to quantify the radiation intensity, but for this it is necessary to carry out a photometric calibration of the interferometers. Excited oxygen atoms O(1D) spontaneously emit photons at 630 nm wavelength. There is a sequence of reactions leading to O(1D) atoms generation. Hence it is possible to derive a relation between oxygen atom and electron densities using data obtained from Irkutsk Scattering Radar. Resulting model intensity of oxygen red line allows to correlate it to FPI response. In this report, possible calibration options will be presented and theoretical airglow intensity will be compared to radio data. Future combination of all the above methods will allow for obtaining an effective calibration algorithm as well as clarifying constants of chemical reactions, which take place at the upper Earth atmosphere.

Frequency analysis of pulsating auroras measured by the imaging photometer in Verkhnetulomsky Observatory

K.F. Sigaeva^{1,2}, P.A. Klimov¹, B.V. Kozelov³, S.A. Sharakin¹

¹*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia*

²*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia*

³*Polar Geophysical Institute, 15, Khalturina st., Murmansk, 183010, Russia*

In September 2021 a new optical complex including a high sensitive imaging photometer was installed in the Verkhnetulomsky observatory of the Polar Geophysical Institute. This instrument has an optical system that allows to measure near ultraviolet (NUV) atmospheric emission with a multi-anode photomultiplier tubes (PMT) matrix. High temporal resolution allows us to study fine structure of fast-changing aurora luminosity.

This report will present results of case study of frequency analysis of pulsating auroras, which were registered in 2022 by optical complex mentioned above. These events have a variety of spatial-temporal patterns of emission including characteristic examples of pulsating aurora. This frequency analysis algorithm allows to automatically allocate and define frequencies of pulsating auroras (main pulsation frequency and internal modulations) and their change over time. These algorithms will be used for the further automatic data processing of the imaging photometers.

The research is supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No.22-62-00010).

Stratification of Polarization Jet

A.A. Sinevich^{1,2}, A.A. Chernyshov^{1,3}, D.V. Chugunin¹, W.J. Miloch⁴, M.M. Mogilevsky¹

¹*Space Research Institute, Moscow, Russia*

²*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation of the Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow, Russia*

³*Higher School of Economics, Moscow, Russia*

⁴*University of Oslo, Oslo, Norway*

In the subauroral region near the projection of the plasmopause at the heights of the F-layer of the ionosphere, narrow streams of fast subauroral ion drifts are observed, most noticeable during geomagnetic activity against the background of large-scale plasma convection, called the polarization jet (PJ) or subauroral ion drift (Subauroral Ion Drift, SAID). The mechanism of PD/SAID formation, as well as the structure of small-scale irregularities within PD/SAID, are open questions. In this work, we study the internal small-scale spatial structure of PJ/SAID using data from the NorSat-1 and DMSP F-17 and F-18 satellites during several geomagnetic events. It is shown that PJ/SAID consists of several strata of the polarization jet (Polarization Jet Stratum, PJS) of electron density and temperature. A new phenomenon has been discovered, called Stratified Subauroral Ion Drift (SSAID), which is a PJ/SAID containing small-scale PJS. The results of the study show that SSAIDs consist of 2-4 large PJS and from a few to several dozen small PJS. Large PJS have a size of 0.2°-0.3° latitude and small PJS have a size of <0.1°. Physical mechanisms for the occurrence of SSAID and PJS are proposed.

This work was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 23-22-00133).

Correlation Analysis of intrinsic mode of the Total Electron Content at Magnetically Conjugated Points

A.V. Timchenko, F.S. Bessarab

West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (IZMIRAN) Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia

In this paper, the correlation coefficients of the Total Electron Content intrinsic mode at magnetically conjugate points are presented according to the EAGLE model data. Total Electron Content (TEC) is global maps from -90° to 90° latitude, in 5° increments and from 0° to 360° longitude, in 5° increments, with hourly resolution for January 2009. Using the algorithm Empirical Mode Decomposition (EMD) intrinsic mode functions (IMF) were extracted from the TEC, which were then used to calculate the correlation coefficients for magnetically conjugate points. Significant (0.75–0.9) and high (>0.9) values of the correlation coefficient are considered in the work. The purpose of this work is to investigate the response of various perturbations at magnetically conjugate points in the intrinsic mode of the Total Electron Content.

This investigation was performed with the financial support of the Russian Science Foundation Grant No. 21-17-00208.

Thunderstorm activity monitoring in the Baikal natural area

I.D. Tkachev¹, R.V. Vasilyev¹, A.S. Poletaev², A.G. Chensky²

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia*

²*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

In 2020 - 2022, within the framework of the project "Fundamentals, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the environmental situation on the Baikal natural territory", a study of thunderstorm activity was carried out, as well as the deployment of a new lightning direction finding network of ISTP SB RAS and IrNRTU in the territory of the Irkutsk region and the Republic of Buryatia.

A preliminary cluster analysis of lightning cells was made according to the Vereya-MR lightning direction finding network. Since this network ceased to exist in 2019, and data from foreign lightning direction finding networks is not always easy to obtain, it was necessary to create our own network of receivers to regularly monitor the lightning activity of the Baikal natural territory.

Based on the data analysis from the Vereya-MR network, places in the Baikal natural territory with maximum thunderstorm activity were identified. Therefore, the points of the new lightning direction finding network were located in accordance with these data. In 2022, three points were put into operation (near the village of Tora, the village of Listvyanka and in Irkutsk).

During the launch of the network, algorithms for separating lightning impulses, algorithms for determining the coordinates of a lightning discharge from the azimuths of the arrival of a lightning impulse and time delays between points were developed. Thunderstorm data from the summer of 2022 was analyzed to improve processing algorithms, determine locations for additional network points, and evaluate the effectiveness of the operating network. Further stages in the development of monitoring of thunderstorm activity in the Baikal natural territory were determined, as well as the possibility of using network data in the protection of infrastructure facilities and forest protection measures.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, the grant No. 075-15-2020-787 for implementation of Major scientific projects on priority areas of scientific and technological development (the project «Fundamentals, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the environmental situation on the Baikal natural territory»).

RGB all-sky imaging of noctilucent clouds: Altitudes, particle sizes and wave analysis

O.S. Ugolnikov

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Noctilucent clouds (NLC) are known as highest, coldest and possibly youngest clouds in the atmosphere of the Earth. NLC can be also treated as the marker of climate changes in mid- and polar latitudes, where the summer mesopause temperature is close or below the ice frost level.

Visual occurrence of NLC seemed to increase during the last decades, but it is not the reliable criteria for relation with temperature and H₂O trends in upper mesosphere. These trends can lead to change of altitude (decrease) and mean particle size (increase) of NLC particles. These characteristics must be continuously measured from a number of locations in high latitudes on Earth. Actual problem is least-expensive and simple technique for these measurements.

In this work we show that altitude and mean particle size of NLC can be simultaneously measured by simple RGB-imaging of clouds using all-sky camera, this can be the additional purpose for regular all-sky survey holding in many high-latitude locations for aurora monitoring. Accuracy of altitude and particle size measurements is comparable with lidar and satellite measurements.

Altitude of NLC is found by analyzing of color changes as the cloud immerses into the shadow of the Earth with account of Rayleigh and aerosol scattering, O₃ and NO₂ absorption of solar tangent emission. Particle size is found by non-Rayleigh effects of scattering, when the color ratio of NLC starts depending of scattering angle. In the case of strong wave activity often observed for NLC altitude and particle size can be found as the function of phase of the wave. Altitude can be also measured by triangulation techniques if NLC is observed from several locations at 50-200 km from each other.

Results of measurements in central Russia in 2020-2022 together with suggestions of net observations in high-latitude Russia are presented.

Features of the manifestation of the midday recovery effect in the phenomena of PCA during the main phase of the geomagnetic storm

V.A. Uliev

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

After powerful solar flares, riometers at high-latitude stations register phenomena of anomalous absorption of the polar cap type (PCA) due to the penetration of solar proton fluxes (PF) into the lower layers of the ionosphere. In some PCA at the stations of the auroral zone, the effect of midday recovery (MDR) is manifested as a smooth decrease in absorption during the hours close to the local noon with a duration of about 8 hours.

Several cases of MDR manifestations were considered according to the data of the stations of the Northern (Dixon, Amdern, Salekhard) and Southern (Molodezhnaya and Novolazarevskaya) hemispheres during high geomagnetic activity (GA_H) ($K_p > 4_0$) ($Dst = -20 \div -150$) during the period close to the main phase of the geomagnetic storm (GS_{MPH}). For the same stations, cases of the MDR effect at low geomagnetic activity (GA_L) ($K_p \leq 4_0$) ($Dst = 0 \div -10$) are given. A comparison of the nature of the manifestation of MDR in GA_H (in the period close to GS_{MPH}) and in GA_L (in the absence of geomagnetic storm) shows that the absorption variations in the period of MDR in GA_H compared with the absorption variations of MDR in GA_L have the following features.

(1) Faster and sharper reduction of absorption during the MDR period. (2) Shorter duration of the entire MDR variation, the start and end phases, as well as the minimum phase. (3) A large amplitude of the absorption decrease in the MDR period.

These features are explained by the influence of two factors. On the one hand, during the GS_{MPH} period, there is a strong compression of the magnetic force lines in the frontal part of the magnetosphere, which distorts the isolines of

the geomagnetic cut-off rigidity (CR), affects the drift trajectory of the PF and increases the amplitude of the MDR (the factor of compression of the magnetic force lines).

On the other hand, during the GS_{MPH} period, the ring current (RC) in the equatorial plane becomes asymmetric, i.e. it has different intensity at different azimuths. Plasma waves in RC interact with proton fluxes (PF) (gyroresonance interaction), which drift on closed lines of force of auroral latitudes. As a result of gyroresonance interaction, pitch-angular scattering of PF into a loss cone occurs. In the sector of about 10-12 MLT, the RC intensity is the lowest. This leads to the formation of an anisotropic cone of PF losses with a small number of proton fluxes penetrating into the lower ionosphere, which as a result leads to small absorption values, i.e. to the MDR effect. The topology of the RC intensity distribution in the sector of about 10 -12 MLT (intensity value, time boundaries and azimuthal width of the sector, intensity gradient change before 10 MLT and after 12 MLT) determines as a result the time of MDR manifestation (close to geomagnetic noon) and the features of absorption variation during MDR (the factor of asymmetry of RC).

The information system for short-term forecast of aurora possibility

Gulnara Vorobeva¹, Andrei Vorobev^{1,2}, Anatoly Soloviev^{2,3}, and Vyacheslav Pilipenko^{2,3}

¹*Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia*

²*The Geophysical Center of the RAS, Moscow, Russia*

³*Schmidt institute of physics of the Earth of the RAS, Moscow, Russia*

The research is concerned with the development of a web-based information system that operates in predictive and retrospective modes and provides the user with an interactive tool for monitoring the probability of observing aurora borealis. The identified problems of creating such a system are associated with a large and continuously growing volume of data received from providers of information about the parameters observed in the auroral oval region. To eliminate them during building a visualization system, the elements of microservice architecture, client-server interaction, geoinformation technologies were used, which together made it possible not only to create an ergonomic web application, but also to accumulate a database of experimental data for studying the phenomenon of aurora borealis and their causes in space and in time. The architecture of an information system was proposed, a distinctive feature of which is the combination of various patterns of web programming - from a monolithic application to a microservice one with elements of a modular architecture of the "model - view - controller" type. In the course of the research, the need to process spatial data (solving the problem of spatial interpolation, forming a set of isolines, etc.) was demonstrated exclusively on the server side of the application, which made it possible to significantly increase the response time and information content of the created web visualization system, due to the fact that on the client side solves only computationally inexpensive tasks of interaction. The beta version of the developed system is available at <https://aurora-forecast.ru/>.

Исследование интенсивностей свечения различных полос ночных атмосфер Земли и Марса в спокойных геомагнитных условиях

О.В. Антоненко, А.С. Кириллов

Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Апатиты, Россия

В настоящей работе используются экспериментальные данные о характерных концентрациях О на основании характеристик свечения атомарного кислорода на Земле и на Марсе. Рассчитаны значения интегральной светимости полос Герцберга I на средних широтах и в экваториальной зоне Земли, также на северных широтах и в экваториальной зоне Марса. Обсуждается корреляция результатов теоретических расчетов интенсивностей свечения возбуждённого молекулярного кислорода на Земле с экспериментальными данными

Ionosphere and upper atmosphere

по ночному свечению молекулярного кислорода, полученными с космического шаттла для Земли. Наблюдается некоторое соответствие с этими же экспериментальными данными по Земле, полученными с космического шаттла с результатами теоретических расчетов интенсивностей свечения возбуждённого молекулярного кислорода на Марсе – полос Герцберга I. Представлены рассчитанные значения интегральной светимости (гистограммы) для расчётных месяцев года Земли и сезонных точек равноденствия Марса. Показано, что на средних широтах Земли в период низкой солнечной активности максимальные значения интегральной светимости в июле в экваториальной зоне – в апреле. На северных широтах Марса максимальные значения в точке осеннего равноденствия.

Влияние высыпающихся релятивистских электронов на характеристики сигналов системы РСДН-20

О.И. Ахметов, В.Б. Белаховский, О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, А.В. Ларченко, З.В. Суворова

Полярный геофизический институт, г. Апатиты

В работе на основе наземных, спутниковых, баллонных экспериментальных данных и методов численного моделирования исследовано влияние потоков высыпающихся релятивистских электронов (с энергией >1 МэВ) внешнего радиационного пояса Земли на работу системы дальней навигации РСДН-20, работающей на частотах 11,905 кГц, 12,649 кГц и 14,881 кГц. Для регистрации потоков высыпающихся релятивистских электронов использованы данные спутников NOAA POES, данные баллонных измерений, проводимых ФИАН совместно с ПГИ вблизи г. Апатиты.

Для расчета прохождения низкочастотных радиоволн в волноводе Земля-ионосфера использована численная модель ПГИ. Для определения профиля электронной концентрации ионосферы использовались данные радаров некогерентного рассеяния EISCAT, теоретические оценки профилей ионизации атмосферы электронами различных энергий, предложенные в работе [Turunen et al., 2009]. Используются данные по регистрации ОНЧ сигналов в обсерватории ПГИ “Ловозеро”. Проанализированы изменения амплитудных, фазовых характеристик сигналов системы РСДН-20 во время событий высыпания в атмосферу электронов релятивистских энергий. В то же время типичные изменения фазовых и амплитудных характеристик низкочастотных сигналов антропогенного происхождения могут быть использованы для идентификации потоков высыпающихся релятивистских электронов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-77-10018 (Ахметов О.И., Белаховский В.Б.).

Turunen E., Verronen P.T., Seppälä A., Rodger C.J., Clilverd M.A., Tamminen J., Enell C.-F., Ulich T. Impact of different energies of precipitating particles on NO_x generation in the middle and upper atmosphere during geomagnetic storms // J. Atmosph. Sol.-Terr. Phys., Vol. 71, Is. 10-11, p. 1176-1189. 2009.

Особенности регистрации СДВ сигналов пространственно-разнесённой системы приемных пунктов

Н.С. Ачкасов, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, Е.Н. Козакова, Ю.В. Поклад, И.А. Ряховский

ФГБУН Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия
E-mails: nsachkasov@yandex.ru, boris.gavrilov34@gmail.com, poklad@mail.ru, ryakhovskiy88@yandex.ru

ИДГ РАН начиная с 2014 года ведет мониторинг сигналов СДВ передатчиков в ГФО Михнево (54.95° С.Ш, 37.7° В.Д.). Нами были разработаны методики восстановления параметров нижней ионосферы на трассах распространения сигналов во время Солнечных рентгеновских вспышек. Следующим этапом развития этого

направления исследований является разворачивание сети приемных станций. С июня 2021 года работает приемник в обсерватории «Ладушкин» (54.6° С.Ш., 20.2° В.Д.) Калининградского филиала ИЗМИРАН. Для дальнейшего развертывания приемных станций в ИДГ РАН разрабатывается и тестируется комплект приемной аппаратуры и антенн на базе отечественных или общедоступных комплектующих. В данной работе приводятся основные характеристики разрабатываемой аппаратуры, принципы ее построения. По данным, полученным в обсерваториях «Михнево» и «Ладушкин», проведен анализ особенностей принятых сигналов от европейских СДВ передатчиков. Разворачиваемая сеть приемных пунктов позволиткратно улучшить пространственное разрешение при восстановлении параметров ионосферы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122032900175-6.

Влияние солнечных вспышек различных классов на динамику полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы

Н.С. Барабаш^{1,2,3}, И.А. Ряховский²

¹*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»*

²*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН)*

³*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геофизический центр РАН (ГЦ РАН)*

Современный уровень развития глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) дал возможность существенно продвинуться в вопросах изучения ионосферы. К настоящему времени использование ГНСС позволило накопить большой объем уникальных экспериментальных данных о структуре ионосферы – глобальном распределении ионизации, её суточных, сезонных, климатических вариациях и полном электронном содержании (ПЭС).

В работе представлен комплексный анализ динамики ПЭС во время солнечных вспышек X класса, произошедших в сентябре 2017 года. Увеличение интенсивности рентгеновского и ультрафиолетового излучения, наблюдаемое во время хромосферных вспышек на Солнце, вызывает немедленное возрастание электронной концентрации во всей ионосфере. В настоящем исследовании была разработана методика оценки изменения ПЭС ионосферы, вызванного всплеском солнечной активности. Эта методика позволила оценить динамику ПЭС, вызванную солнечными вспышками, произошедшими в сентябре 2017 года. Также была построена зависимость максимального изменения ПЭС от зенитно-солнечного угла.

Влияние ионосферных возмущений на сцинтилляции сигналов ГНСС на авроральных широтах

В.Б. Белаховский^{1*}, П.А. Будников², С.В. Пильгаев¹, А.В. Ролдугин¹, А.С. Калишин³, Я. Джин⁴, В. Милош⁴

¹*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

²*Quantectum, Швейцария*

³*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*

⁴*Университет Осло, Осло, Норвегия*

*E-mail: belakhov@mail.ru

В работе проведен анализ влияния ионосферных возмущений на сцинтилляции ГЛОНАСС и GPS сигналов для экваториальной части аврорального овала с использованием геофизических наблюдений на Кольском полуострове и в Скандинавии. Спутники ГЛОНАСС (наклонение – 64.8°) и GPS (наклонение – 55°) имеют

Ionosphere and upper atmosphere

различную орбиту, поэтому представляет интерес сравнение воздействия ионосферных возмущений на сцинтилляции, определяемые по данным этих спутников.

Использованы данные ГНСС приемника Septentrio PolaRx5 (под управлением ФГБУ "ИПП"), размещенного на здании ПГИ в г. Апатиты за 2021 год, данные GPS приемника NovAtel на станции Шиботн (Skibotn, Норвегия) за 2015-2022 года. Для регистрации ионосферных возмущений использованы оптические наблюдения полярных сияний в эмиссиях 557.7, 630.0 нм в обсерватории ПГИ "Ловозеро", данные ионозонда вертикального зондирования ААНИИ, расположенного на станции Мурманского УГМС "Ловозеро". Для отдельных случаев использованы данные радаров VHF, UHF EISCAT в Тромсе.

Проведено сравнение воздействия суббурь, SSC событий, дневных геомагнитных возмущений на сцинтилляции GPS/ГЛОНАСС сигналов. Анализ показывает, что в большинстве случаев заметный рост фазовых сцинтилляций ($\sigma_f > 1$) происходит во время ночных или вечерних суббурь, сопровождающихся отрицательными магнитными бухтами. Но во время магнитных бурь положительные бухты в магнитном поле, вызванные усилением восточного электроджета, приводят к вполне сопоставимому росту фазовых сцинтилляций. Сильные фазовые сцинтилляции связаны с появлением дуг полярных сияний, ориентированных в восточно-западном направлении. Преобладание зеленой линии (557.7 нм) в спектре полярных сияний говорит о вкладе ионосферных возмущений в E-слое ионосферы в рост фазовых сцинтилляций. Анализ показывает, что для одних и тех же ионосферных возмущений уровень фазовых сцинтилляций по данным ГЛОНАСС и GPS спутников может отличаться в 2 раза, что вызвано, по всей видимости, связано с прохождением сигналов через локальные неоднородности ионосферной плазмы.

Сравнение фазовых GPS сцинтилляций по данным приемника на станции Skibotn с данными радара EISCAT показывает, что основной вклад в рост сцинтилляций вносят возмущения в E-слое ионосферы. Возмущения в F-слое ионосферы не вносят заметного вклада в фазовые сцинтилляции. Не обнаружено роста амплитудных GPS сцинтилляций во время рассмотренных событий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-77-10018 (Белаховский В.Б.).

Оценка влияния солнечных протонных событий на содержание озона в высокоширотной атмосфере

В.Б. Белаховский, А.С. Кириллов

Полярный геофизический институт, г. Апатиты

С использованием данных спутника Aura (инструмент MLS – Microwave Limb Sounder) исследовано солнечных протонных событий 23-25 циклов солнечной активности на высотный профиль концентрации стратосферного и мезосферного озона. Рассматривались пролеты спутника Aura для географических широт $|\Phi| > 65^\circ$. Из рассмотренных событий наиболее заметный отклик наблюдался для протонных событий в январе 2005 года при пролете через южное полушарие, когда наблюдалось нарушение суточного хода озона в течение 11 дней на высотах мезосферы. Солнечные протонные события приводят к образованию азотных NOx и водородных HOx составляющих, приводящих к уменьшению содержания озона в атмосфере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-77-10018.

Моделирование УТ-эффекта возмущений параметров верхней атмосферы для геомагнитной бури в марте 2015

К.В. Белюченко^{1,2}, М.В. Клименко^{1,3}, В.В. Клименко³, К.Г. Ратовский¹

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

²*Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия*

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

Отклику верхней атмосферы на геомагнитную бурю 17 марта 2015 года посвящены многочисленные научные исследования, в том числе, основанные на результатах численных моделей. На основе Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП) нами была дана интерпретация высокоширотных ионосферных эффектов этой геомагнитной бури, выявлены и проинтерпретированы положительные эффекты последствия. Дальнейший анализ результатов численного моделирования показал, что эти положительные эффекты последствия по-разному проявляются в различных долготных секторах. В данной работе мы исследовали зависимость возмущений параметров верхней атмосферы от времени начала геомагнитной бури. Для этого мы провели дополнительные расчеты геомагнитных бурь идентичных рассматриваемой, но со смещением времени начала геомагнитной бури на 0, 6 и 18 УТ. При этом реальная геомагнитная буря 17 марта 2015 года начиналась в 12 УТ. Были рассмотрены основные физические процессы, которые играют важную роль в формировании ионосферных эффектов на разных фазах развития геомагнитной бури. Показано, что интенсивность и широтный охват ионосферных эффектов последствия зависят от долготы и от времени УТ начала и развития геомагнитной бури.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00213.

Ионосферные эффекты частичного солнечного затмения 25 октября 2022 года по данным СДВ и ГНСС зондирования

Л.С. Варзарь¹, Г.А. Курбатов¹, А.М. Падохин^{1,2}

¹*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*ИЗМИРАН, Троицк, Россия*

Радионаблюдения во время солнечного затмения позволяют изучать ионосферные процессы, происходящие в условиях быстрых изменений интенсивности солнечной радиации при почти постоянном зенитном угле Солнца. Наблюдения в различных диапазонах в свою очередь позволяют исследовать отклик в различных высотных слоях. Так данные СДВ зондирования оказываются наиболее чувствительными к процессам в нижней ионосфере (D — слое), в то время как данные ГНСС позволяют исследовать интегральный отклик ионосферы вдоль луча зондирования спутник — приемник в виде вариаций ПЭС. В настоящем докладе представлены некоторые результаты совместного наблюдения вариаций амплитуды СДВ сигналов на трассе Раудерфен (DHO38) — Москва (МГУ) и вариаций ПЭС на приемниках сети IGS, попадающих в область чувствительности СДВ трассы и область трека частичного солнечного затмения 25 октября 2022г. При этом для приема СДВ сигналов используется простейший программно-определяемый приемник на основе звуковой карты SBX X-Fi Surround 5.1, реализованный в среде GNURadio. Показано, что в период частичного затенения трассы наблюдается увеличение амплитуды сигнала передатчика DHO38 по сравнению со средневозмущенным днем, что может быть связано с подъемом верхней стенки волновода. В тоже время, интегральные эффекты в ПЭС намного менее выражены и в ряде случаев маскируются естественной ионосферной изменчивостью.

О модернизации уникальной научной установки “Многоцелевой стенд для исследования околоземного и космического пространства (стенд СУРА)” и развитии ее диагностических средств

Ф.И. Выборнов^{1,2}, А.В. Шиндин¹, М.Е. Гушин¹

¹Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия; e-mail: rf-shindin@rf.unn.ru

²Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия; e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

В докладе приводятся результаты выполненных работ по модернизации нагревного стенда СУРА (Нижегородская обл., п. Васильсурск), достигнутые технические характеристики стенда и состояние диагностических средств, используемых при проведении экспериментальных исследований. Приводятся данные по работе стенда в 2021-2022 годах, выполненных в этот период исследований и полученных результатах. Обсуждаются вопросы дальнейшего развития диагностических средств, сообщается о планируемых экспериментах и ожидаемых результатах.

Целью работы являлось обеспечение необходимого уровня параметров и характеристик стенда СУРА как мощного излучающего средства, обеспечение надежной работы стенда в области исследований искусственных ионосферных возмущений, инициированных его излучением, на уровне, сопоставимом с аналогичными зарубежными установками, совершенствование и создание новых диагностических методов и средств для проведения теоретических и экспериментальных исследований в космическом пространстве, ионосфере, атмосфере, а также для прикладных исследований в областях совершенствования космических и навигационных средств, средств коротковолновой связи и разведки полезных ископаемых. Реализация данного проекта стала важным этапом работ по коренной модернизации стенда и созданию на его базе радиоинструмента нового поколения без останковки текущих исследований.

В докладе отмечается, что многие направления исследований с использованием нагревного стенда СУРА получили дальнейшее развитие, значительно выросла доля молодых исследователей.

Работа А.В. Шиндина выполнена при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства Приоритет-2030.

Реализация функции ЛЧМ-приемника на основе системы Red Pitaya SDRlab 122-16

К.К. Грехнева, С.П. Моисеев, А.В. Шиндин, В.А. Павлова

НИРФИ ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия; e-mail: kseniya81422@mail.ru

В работе описана реализации функции ЛЧМ-приемника на основе системы Red Pitaya SDRlab 122-16. Приводятся дистанционно-частотные характеристики, зарегистрированные на полигоне «Карадаг» (республика Крым) при приеме сигналов ЛЧМ передатчика, расположенного на о. Кипр. Отмечаются высокая универсальность предлагаемой реализации и перспективы ее использования на других полигонах ННГУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства Приоритет-2030.

Особенности регистрации искусственных УНЧ сигналов при разном уровне и характере спектров естественной шумовой помехи

Е.Н. Ермакова, А.В. Рябов

НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия

Исследована возможность регистрации искусственных сигналов от горизонтальных токовых линий при разных состояниях ионосферной плазмы. Изучена суточная динамика величины сигнал/шум на разных частотах в условиях разного уровня солнечной активности. Выбраны периоды существования высокочастотных ионосферных структур ИАР и суб-ИАР. Амплитуда сигнала рассчитывалась по модели горизонтально неоднородного волновода земля-ионосфера для диполя, ориентированного вдоль направления СЮ, а уровень магнитного шума в компонентах СЮ и ВЗ определялся на основе анализа данных низкочастотного мониторинга на среднеширотных пунктах с координатами (46° в. д., 56° с. ш.) и (60.5° с.ш., 24.7° в.д.). Было показано, что суточная динамика величины сигнал/шум существенно различается для частоты 3 Гц и для частоты первого шумановского резонанса (8 Гц): величина сигнал/шум на частоте 3 Гц менялась в 1.5-2.5 раз в течение суток, а вариации этой величины на частоте 8 Гц составляли существенно меньшую величину (20-30%). В первом случае для регистрации сигнала более эффективным является дневной период и период прохождения терминатором трассы распространения н/ч волн. Показано также, что в ночное время в период повышенной солнечной активности немонотонный характер вариаций величины сигнал/шум может быть связан с влиянием структуры суб-ИАР, как на величину амплитуды шумовых компонент, так и на амплитуду компонент сигнала. В периоды минимума солнечной активности (высокочастотный ИАР) характер суточной динамики величины сигнал/шум существенно различался на близких частотах (2 Гц и 3 Гц) в ночное время. Исследования зависимости величины сигнал/шум от расстояния показало, что для магнитного момента $3 \cdot 10^5$ [А км²] сигнал может уверенно регистрироваться на расстояниях до 2500 км днем для частоты 3 Гц и до 1500 км ночью для частот 3 и 8 Гц для магнитоспокойного периода.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-17-00050.

О модификации модели FIRI-2018 и Python-пакета `pyfiri` для условий Южного полушария

О.В. Золотов

Научно-исследовательская лаборатория «Компьютерное моделирование физических процессов в околоземной среде», Мурманский арктический государственный университет, 183038 Мурманск, Россия

В работе представлена модификация статистической модели невозмущенной неавроральной D-области ионосферы FIRI-2018 [Friedrich et al., 2018, <https://doi.org/10.1029/2018JA025437>] для условий Южного полушария. Обсуждаются основные возможности ее программной реализации, выполненной в виде свободного программного обеспечения – Python-пакета `pyfiri`, размещенного в репозитории PyPI (Python Package Index) под лицензией Apache 2.0 [Zolotov et al., 2022, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101263>].

Обзор современного состояния моделей высыпаний электронов и моделей продольных токов

О.В. Золотов, Б.Е. Прохоров

Научно-исследовательская лаборатория «Компьютерное моделирование физических процессов в околоземной среде», Мурманский арктический государственный университет, 183038 Мурманск, Россия

В работе представлены результаты обзора современного состояния моделей продольных токов верхней атмосферы Земли и моделей высыпаний электронов. На основе анализа научных публикаций отобрано семь моделей продольных токов, из которых наиболее современными являются EW-FAC, MFACE, AMPS, и одиннадцать моделей высыпаний электронов. Из последних наиболее распространённой является классическая модель AFGL, а модель Ovation Prime (как в варианте Ovation Prime, так и Ovation Prime-2013) в последнее время набирает все большую популярность.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20152 (<https://rscf.ru/project/22-27-20152/>) и при финансовой поддержке Министерства образования и науки Мурманской области в рамках Соглашения №111.

Суточная динамика резонансных структур приземного естественного электромагнитного шума

Н.В. Иванов

Полярный геофизический институт, Мурманск, Россия

На основе анализа суточной динамики поляризационных характеристик резонансов естественных электромагнитных полей показано, что в окрестностях шумановских резонансов вклад приземных молниевых источников в фоновый магнитный шум определяющий. Проведен анализ случаев модуляции шумановских резонансных структур альвеновскими. Для данных случаев установлено хорошее совпадение наблюдаемых поляризационных характеристик с расчетными. Однако, для областей частот ниже 6 Гц на поляризационные характеристики могут оказывать влияние источники естественного электромагнитного шума, расположенные на высотах выше 100-150 км.

Характеристики мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей при O- и X-нагреве стенда EISCAT/Heating по данным метода ракурсного рассеяния

А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, И.М. Егоров, Г.А. Загорский, А.С. Ковалев

ФГБУ «АНИИ», г. Санкт-Петербург, Россия; e-mail: askalishin@ari.ru

В работе рассмотрены характеристики мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН), генерируемых мощной КВ радиоволной стенда EISCAT/Heating при O - и X - нагреве. Диагностирование МИИН выполнялось методом ракурсного рассеяния радиосигналов при помощи доплеровского комплекса и комплекса наклонного радиозондирования ионосферы. Рассмотрены условия возбуждения и поведения МИИН в зависимости от моды поляризации волны накачки и соотношения частоты излучения к критической частоте ионосферы. Выполнено сравнение характеристик МИИН, полученных методом ракурсного рассеяния, с данными измерений когерентного КВ радара CUTLASS, приведена оценка пространственного размера области, занятой МИИН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по проекту № 22-17- 00020, <https://rscf.ru/project/22-17-00020/>.

Определение пространственной структуры высыпаний авроральных электронов с помощью ИНС по стереометрическим наблюдениям: обучение на модельных данных

Б.В. Козелов

ФГБНУ Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия; e-mail: boris.kozelov@gmail.com

Высыпание потоков электронов в атмосферу во время магнитосферных возмущений часто приводит к авроральному свечению в виде системы лучей, вытянутых вдоль силовых линий магнитного поля от 120-150 км на 100-150 км. При наблюдении с земной поверхности камерой такие лучи выглядят сходящимися в виртуальной точке локального магнитного зенита. Имея одновременные наблюдения такой структуры из разных точек возможно для выделенного луча получить высотный профиль аврорального свечения и, привлекая модель возбуждения ионосферы потоками электронов, высотный профиль объемного свечения и энергетическое распределение электронов в высыпающемся в данном месте потоке [1, 2]. Однако, в общем случае системы лучей не очевидна алгоритмическая возможность решения такой обратной задачи, т.е. по наблюдениям из двух точек восстановить вызвавшее эту систему пространственное распределение высыпаний электронов.

В данной работе для решения такой обратной задачи привлекаются возможности искусственных нейронных сетей (ИНС) [3, 4]. Набор данных генерируется решением прямой задачи прохождения пучков электронов для различных пространственных распределений высыпаний электронов. Сгенерированные изображения для некоторого упрощения нелинейностей задачи представлены в координатах зенитный угол-азимут с полюсом в магнитном зените. ИНС тренируется по паре изображений восстанавливать двумерное пространственное распределение высыпаний электронов. Тестируются различные конфигурации ИНС и пространственные распределения различной сложности. Обсуждаются возможности применения тренированной ИНС для восстановления пространственных распределений по реальным наблюдениям авроральных камер MAIN в Апатитах [5].

Литература:

1. Козелов Б.В., Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е. Исследование лучистых структур в полярных сияниях триангуляционными методами: 1. Высотный профиль объемной интенсивности свечения // Космические исследования, 2021, том 59, No 4, с. 267–274.
2. Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е., Козелов Б.В. Исследование лучистых структур в полярных сияниях триангуляционными методами: 2. Энергетические спектры высыпающихся электронов // Космические исследования, 2021, том 59, No 5, с. 355–360.
3. <https://keras.io/>
4. <https://ru-keras.com/home/>
5. Kozelov B.V., Pilgaev S.V., Borovkov L.P., and Yurov V.E. Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010–2011 // Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 2012, V. 1, Is. 1, P. 1-6, doi:10.5194/gi-1-1-2012

Классификация данных камеры всего неба в Апатитах с использованием ИНС для исследования полярных сияний

Б.В. Козелов

ФГБНУ Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия; e-mail: boris.kozelov@gmail.com

Использование оптических данных для научных исследований всегда осложнялось необходимостью предварительного выбора интересных событий, что требует значительных затрат времени и квалификации. Данные последних лет ~15 лет камер всего неба ПГИ имеются в цифровом формате, что позволяет проводить их автоматическую классификацию с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). В работе рассмотрена классификация кадров ночного неба камеры всего неба в Апатитах, размещенных на сервере

Ionosphere and upper atmosphere

ПГИ (http://aurora.pgia.ru/keogram/obs_list.php?cameraname=allsky). Кадры идут через 10 с, имеется несколько зимних сезонов регистрации с 2011 по 2020 гг.

Для работы с ИНС были из которых размечены ~2500 разных кадров для мультиклассовой классификации. Число классов взято с некоторым запасом, т. к. впоследствии часть из них могут быть объединены. Классы: arc, aurora, clear_sky, clouds, diffuse, drops, fog, full_clouds, moon, pulsing, ray, town_backlight. За основу ИНС взята сверточная сеть с многозначной мультиклассовой классификацией на выходе. В конечном варианте оставлены 2 основных класса, необходимых для прикладной задачи — определение наличия авроры и наличия облачности. Кадр может принадлежать (или не принадлежать) обоим классам. По этим классам набор данных примерно сбалансирован.

После обучения сеть опознает наличие на кадре полярных сияний и облачности в ~96% случаев на тестовом наборе. Обученная сеть реализована для классификации квик-луков на сайте aurora.pgia.ru, т. е. выделения интервалов наблюдения полярных сияний и наличия облачности, графики добавлены к часовым и суточным кеограммам. Выявляются интервалы явлений с ошибочной классификацией для добавления в тренировочный набор.

Характеристики пространственной структуры авроральных высыпаний по наблюдениям ПГИ

Б.В. Козелов, В.Г. Воробьев, Е.Е. Титова, Т.А. Попова

*Полярный геофизический институт, Апатиты, Мурманская область, Россия;
e-mail: boris.kozelov@gmail.com*

По данным высокоширотных наблюдений Полярного геофизического института проанализировано несколько типичных авроральных событий разного масштаба в различных секторах MLT. Используются данные авроральных камер в г. Апатиты, полигоне Верхнетуломский и обсерватории Ловозеро. Определены характеристики пространственной структуры полярных сияний в отобранных событиях: доминирующие масштабы, показатели скейлинга, динамическая оценка степеней свободы. События привязаны к параметрам солнечного ветра, физическим магнитосферным доменам и границам, фазе магнитосферного возмущения.

Работа поддержана грантом РНФ и Министерства образования и науки Мурманской области №22-12-20017 «Пространственно-временные структуры в околоземном космическом пространстве Арктики: от полярных сияний через особенности самоорганизации плазмы к прохождению радиоволн».

Литература:

1. Головчанская И.В., Козелов Б.В. Диапазон масштабов альфвеновской турбулентности в верхней ионосфере авроральной зоны // Космические исследования. 2016, Т. 54, № 1, С. 52–57. DOI: 10.7868/S002342061601009X
2. Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е. Влияние скорости и плотности плазмы солнечного ветра на интенсивность изолированных магнитосферных суббурь // Physics of Auroral Phenomena. Proc. XLI Annual Seminar, Apatity, P.30-33. 2018
3. Козелов Б.В., Ролдугин А.В. Получение информации об ионосферно-магнитосферной плазме по наблюдениям полярных сияний // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 3. С. 366-371. DOI: 10.31857/S0367676521030157

Исследование "захвата" аврорального километрового радиоизлучения (АКР) в плазменные каналы с пониженной плотностью

В.И. Колпак^{1,2,3}, М.М. Могилевский³, Д.В. Чугунин³, А.А. Чернышов^{2,3}, И.Л. Моисеенко³

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, 108840 Троицк, Москва, Россия; e-mail: lera.kolpak@yandex.ru*

²*Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 101000 Москва, Россия*

³*Институт космических исследований РАН, 117997 Москва, Россия*

В данной работе представлены результаты обработки электрической компоненты электромагнитных излучений в диапазоне частот 5–800 кГц, зарегистрированных на спутнике ERG при его пролете вблизи внешней границы плазмосферы Земли. Так как вблизи плазмопаузы плазменная частота электронов много меньше гирочастоты ($f_{pe} \gg f_{ce}$), то наблюдаемые вариации частоты верхнего гибридного резонанса характеризуют изменения плотности плазмы, которые достигают $\Delta N/N \sim 0,3-0,7$. Мы предполагаем, что неоднородности плазмы вытягиваются вдоль силовых линий магнитного поля и образуют каналы, в которые захватывается АКР. Такой захват излучения наблюдается экспериментально для каналов с пониженной плотностью. Результаты анализа условий захвата и распространения АКР в каналах позволили определить ограничения, накладываемые на угол вхождения излучения в канал для различных частот излучения и различных значений $\Delta N/N$, взаимного расположения источника АКР и нижней границы канала. А также это помогло сделать оценку высоты границы канала над поверхностью Земли, что важно для определения времени формирования (вытягивания) канала. Результаты работы показывают, что захват АКР в плазменные каналы может приводить к переносу излучений из одного полушария в другое, без трансформации поляризации.

Оперативный мониторинг высокоширотной ионосферы с применением мультисистемного спутникового оборудования

А.О. Куприянов¹, А.А. Петрукович², А.М. Мёрзлый^{2,3}, О.В. Никифоров², Я.А. Сахаров⁴, А.А. Чернышов², А.Т. Янаков², Д. Замогильный¹

¹*МИИГАИК, г. Москва, Россия; e-mail: aoku28@gmail.com*

²*ФГБУН Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

³*Совет РАН по космосу, г. Москва, Россия*

⁴*ФГБНУ Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия*

Оперативный мониторинг параметров ионосферы и авроральных явлений в арктической зоне является на данный момент актуальной задачей. Это связано, в первую очередь, с влиянием полярной ионосферы на функционирование средств связи, навигации и радиолокации. Возникающие магнито-ионосферные возмущения в арктической зоне приводят к изменению условий распространения радиоволн различного диапазона. Повышение точностных характеристик радиотехнических средств различного назначения требует достоверного знания параметров среды распространения для разработки мер компенсации или уменьшения влияния возмущений полярной ионосферы.

В докладе рассматриваются проблемы и возможные решения создания, организации, обработки и анализа данных ионосферных станций для исследования полного электронного содержания и ионосферных сцинтилляций в том числе в арктической зоне. В частности, рассматриваются вопросы разработки методики оценки и прогноза геофизических параметров и разработки аппаратно-программного комплекса для транс-ионосферного-магнитосферного зондирования, организации постоянно действующей станции мониторинга ионосферы на базе АПК ГНСС в МИИГАИК и ИКИ с общим сервером для взаимодействия со станцией на ЗФИ в том числе ежедневная оперативная оценка и прогноз параметров.

Ionosphere and upper atmosphere

Кроме того, рассматриваются альтернативные и вспомогательные методы мониторинга и прогнозирования ионосферы в том числе с применением современных ионосферных моделей и машинного обучения.

Часть результатов основаны на совместной комплексной арктической экспедиции (КЭ «Арктика-21»). Этап проведен на острове Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа (далее - ЗФИ) на станции «Омега» Национального парка «Русская Арктика» (далее НПРА). Первый этап КЭ «Арктика-21» выполнялся в рамках комплексной экспедиции.

Влияние суббулевой активности и авроральных высыпаний на распространение СДВ сигналов передатчиков радионавигационной системы РСДН-20

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

Полярный геофизический институт, Апатиты, Мурманская область, Россия

Представлены результаты наземных наблюдений СДВ сигналов радионавигационной системы РСДН-20 на станциях Полярного геофизического института: obs. Ловозеро и Верхнетуломский (Кольский полуостров), и obs. Баренцбург (арх. Шпицберген). В результате анализа амплитуд горизонтального магнитного поля сигналов СДВ передатчиков показано, что на фоне возникновения суббуль при значениях AL индекса от -500 нТл и ниже, возможны снижения регистрируемых амплитуд горизонтального магнитного поля сигналов передатчиков в ночное время до практически дневных значений. Рассмотрены случаи, в которых суббулевая активность сопровождается наблюдением авроральных высыпаний. Наблюдаемый эффект снижения амплитуд сигналов СДВ передатчиков в ночное время вероятно вызван локальными изменениями в нижней ионосфере при высыпаниях заряженных частиц во время суббури.

Исследования влияния магнитосферных источников естественного электромагнитного поля на результаты измерения импеданса в высоких широтах

В.А. Любич, Ю.А. Шаповалова

Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

Проведение геофизических работ методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) земной коры, основанным на импедансном подходе, в Арктической зоне имеет ряд особенностей, обусловленных распределением источников естественного электромагнитного поля. В качестве основных источников естественного приземного электромагнитного шума в крайне низкочастотном (КНЧ) диапазоне обычно рассматривают очаги грозовой активности, расположенные в экваториальной области Земли. В районах Арктики на результаты измерений импеданса помимо грозовых источников существенное влияние могут оказывать еще и магнитосферные источники, такие как, например, система горизонтальных полярных токов, текущих в высокоширотной ионосфере (электроджеты). Проведенные теоретические расчеты показали возможность искажений в определении геоэлектрических параметров земной коры по результатам интерпретации данных МТЗ в случае высокоомных горных пород. В ходе исследований был проведен совместный анализ данных индукционного магнитометра, расположенного в Ловозерской геофизической обсерватории ПГИ, и геомагнитных данных, полученных со спутников Iridium в рамках проекта AMPERE. В представленном докладе приведены примеры возможного влияния интенсивных токовых систем, циркулировавших в высокоширотной ионосфере над Кольским полуостровом, на результаты измерения импеданса в центральной части полуострова.

Влияние ионосферных неоднородностей в E-слое на распространение радиоволн КВ-диапазона в высоких широтах

И.В. Мингалев¹, З.В. Суворова¹, Б.В. Козелов¹, А.М. Мерзлый², А.Т. Янаков², В.Н. Шубин³

¹*Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия; e-mail: mingalev_i@pgia.ru*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

³*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия*

В работе изучается прохождение через ионосферную плазму радиоволн КВ-диапазона при наличии в E-слое неоднородностей, возникающих при высыпаниях энергичных протонов и электронов из магнитосферы. Эти неоднородности вытянуты вдоль силовых линий геомагнитного поля и имеют размеры поперек магнитного поля в широком диапазоне от десятков метров до десятков километров. Концентрация электронов в этих неоднородностях может на 1-3 порядка превышать концентрацию в окружающей плазме. Если размеры неоднородности больше длины волны, а критическая частота плазмы в этих неоднородностях превышает частоту радиосигнала, то радиосигналы отражаются от этих неоднородностей, что создает помехи работе РЛС загоризонтного обнаружения. В работе представлены результаты численного моделирования прохождения КВ сигналов через области повышенной электронной концентрации, вызванной высыпаниями частиц энергий от 10 до 40 кэВ на высотах D и E слоев ионосферы на высоких широтах. Для моделирования использовалась разработанная в ПГИ модель для расчета лучевых траекторий коротких радиоволн и поглощения этих волн на траекториях. Расчеты проводятся в приближении геометрической оптики с учетом анизотропии ионосферной плазмы и поглощения за счет столкновений электронов без каких-либо упрощений. Для расчета концентрации и температуры электронов в ионосферной плазме используется глобальная эмпирическая модель ионосферы ГДМИ, разработанная в ИЗМИРАН, с дополнительной ионизацией энергичными электронами по модели, разработанной в ПГИ. Для расчета частоты столкновений электронов используются концентрации нейтральных составляющих атмосферы и их температура, рассчитанные с помощью эмпирической модели NRLMSISE-00. Представлены результаты, демонстрирующие влияние пространственных размеров областей высыпаний частиц на высотах D и E слоев ионосферы, а также энергии высыпающихся электронов и плотности их потока на возможности загоризонтного обнаружения и на односкачковую связь в КВ диапазоне в высоких широтах.

Работа Суворовой З.В. и Козелова Б.В. поддержана грантом РНФ и Министерства образования и науки Мурманской области №22-12-20017 «Пространственно-временные структуры в околоземном космическом пространстве Арктики: от полярных сияний через особенности самоорганизации плазмы к прохождению радиоволн».

Применение ФАР для зондирования слоев ионосферы радиоволнами КВ диапазона с применением сложного сигнала

И.А. Моисеев¹, И.В. Мингалев², В.В. Никишов³, З.В. Суворова², А.М. Мерзлый⁴, А.Т. Янаков¹, В.Н. Шубин⁵

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия; e-mail: moiseeviaiki@yandex.ru*

²*Полярный геофизический институт, г. Анатиты, Россия; e-mail: iv-mingalev@yandex.ru*

³*ООО «ОКБ «ЭЛАНОР», г. Москва, Россия; e-mail: v.nikishov@elanor.su*

⁴*Совет по космосу РАН, г. Москва, Россия; e-mail: pinega142@yandex.ru*

⁵*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия*

В данной работе обсуждаются новые возможности наклонного зондирования ионосферы с использованием антенн с кольцевыми активными фазированными решетками, которые обеспечивают формирование узкой диаграммы направленности КВ радиосигнала по углу места и азимуту лучевых траекторий для передачи и приема радиосигнала, что позволяет достаточно точно определить положение области, в которой происходит отражение лучевых траекторий от ионосферы, и определить концентрацию электронов в этой области. Таким

Ionosphere and upper atmosphere

образом, создаются условия для обеспечения высокой точности измерения пространственных и качественных параметров ионосферы.

Применение сложного радиосигнала на сетке частот излучения необходимо для уточнения диапазона рабочих частот, прогнозирования параметров ионосферы на краткосрочный интервал времени, коэффициента «удлинения» K_f трасс прохождения радиосигнала и ионосферной составляющей азимутальной девиации $\Delta\beta$ для заданного сектора наблюдения и дальности. В этих целях оцениваются параметры радиосигнала: надежность переданной информации, отношение сигнал/шум, диапазон частот радиосигнала, степень ослабления радиосигнала, время задержки переданного радиосигнала [1].

Представлен анализ данных среднеширотной радиотрассы и проведено сравнение этих данных с результатами численного моделирования прохождения КВ сигналов по этой радиотрассе [2]. Для моделирования использовалась численная модель расчета лучевых траекторий коротких радиоволн в приближении геометрической оптики с учетом анизотропии ионосферной плазмы и поглощения за счет столкновений электронов без каких-либо упрощений. Для расчета концентрации и температуры электронов в ионосферной плазме используется глобальная эмпирическая модель ионосферы ГДМИ, разработанная в ИЗМИРАН. Для расчета частоты столкновений электронов используются концентрации нейтральных составляющих атмосферы и их температура, рассчитанные с помощью эмпирической модели NRLMSISE-00. Показано, что наклонное зондирование ионосферы с измерением углов прихода лучевых траекторий в приемную антенну имеет большое преимущество по сравнению с обычным наклонным зондированием ионосферы без измерения указанных углов.

1. Никишов Д.В., Никишов В.В. Система декаметровый связи через ионосферу// Патент Российской Федерации на изобретение № 2680312 от 20.02.2019.

2. Мингалев И.В., Суворова З.В., Шубин В.Н., Мёрзлый А.М., Тихонов В.В., Талалаев А.Б., Мингалев В.С. Отличия прогнозов условий КВ-радиосвязи между передатчиком на средних широтах и приемником в арктическом регионе при использовании различных эмпирических моделей ионосферы // Геомагнетизм и аэрномия, том 61, № 4, 2021 г., с.506-519.

Реализации функции ионозонда вертикального зондирования на двух SDR-платах без ПК

В.А. Павлова, А.В. Шиндин, К.К. Грехнева, С.П. Моисеев

НИРФИ ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия; e-mail: pavlova@nirfi.unn.ru

В работе приводится описание и результаты первых экспериментов макета ионозонда вертикального зондирования на основе двух плат для разработчиков SDRlab 122-16. Вся цифровая обработка сигнала производится с использованием вычислительных средств макета без использования ПК. Реализована публикация ионограмм напрямую в облачное хранилище. Результаты первых испытаний показывают высокое качество получаемых ионограмм сравнимое с профессиональными ионозондами при большей универсальности и несопоставимо меньшей себестоимости комплектующих.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства Приоритет-2030.

Адаптивное моделирование ионосферы по разнородным данным дистанционного зондирования

А.М. Падохин^{1,2}, Е.С. Андреева¹, И.А. Павлов¹, А.В. Тимченко³, Г.А. Курбатов¹

¹*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*ИЗМИРАН, Троицк, Россия*

³*КФ ИЗМИРАН, Калининград, Россия*

В докладе обсуждаются возможности использования разнородных данных дистанционного зондирования, включая данные радиопросвечивания в VHF/UHF/L диапазонах, вертикального и наклонного зондирования и данные сканирующей спектрометрии собственного УФ излучения верхней атмосферы в задаче адаптивного моделирования распределения электронной концентрации в ионосфере. Обсуждаются вопросы задания ковариационных матриц ошибок наблюдений и априорной оценки вектора состояния системы при использовании в качестве начального приближения модели NeQuick2, а также использования расширенного фильтра Калмана для учета в рамках единого алгоритма усвоения линейных (радиопросвечивание) и квадратичных (УФ спектрометрия) относительно электронной концентрации типов данных наблюдений.

Отдельно рассматривается вопрос построения глобальных ионосферных карт TEC на основе одновременного использования данных вертикального зондирования GNSS радиопросвечивания. Данная задача решается с использованием модели двух тонких слоев, распределение TEC в каждом из которых описывается разложением по сферическим гармоникам, при этом данные GNSS дают вклад в оба слоя, а данные вертикального зондирования только в нижний. Приводятся примеры работы алгоритма на модельных и реальных данных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 22-27-00396).

Сравнение восстановленных параметров нижней ионосферы на близких трассах по данным приема СДВ передатчиков в двух пунктах

Ю.В. Поклад, Н.С. Ачкасов, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, Е.Н. Козакова, И.А. Ряховский

ФГБУН Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия

E-mails: poklad@mail.ru, boris.gavrilov34@gmail.com, ryakhovskiy88@yandex.ru

ИДГ РАН с 2014 года ведет мониторинг амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ передатчиков в ГФО Михнево. Была разработана методика восстановления высотных профилей электронной концентрации в нижней ионосфере в рамках двухпараметрической модели Фергюссона-Уайта по время рентгеновских Солнечных вспышек на двухчастотной СДВ трассе GQD/GBZ – «Михнево». В 2021 году аналогичная приемная аппаратура была развернута в Калининградской области в обсерватории ИЗМИРАН «Ладушкин». В работе приводятся результаты восстановления параметров ионосферы на трассе GQD/GBZ – «Ладушкин» во время рентгеновской вспышки класса X1.6. Эти результаты сравниваются с аналогичными для трассы GQD/GBZ – «Михнево». Обсерватория «Ладушкин» расположена на 180 км южнее трассы GQD/GBZ – «Михнево». Таким образом, в первом приближении, трассу GQD/GBZ – «Ладушкин» можно считать частью трассы GQD/GBZ – «Михнево». Сравнительный анализ позволяет оценить применимость методики восстановления параметров ионосферы для трасс различной длины и ее погрешности.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122032900175-6.

Воздействие гамма-вспышек на нижнюю ионосферу по данным СДВ просвечивания в Тихоокеанском регионе

Е.А. Полянская¹, В.А. Пилипенко¹, Г.М. Коркина², М.С. Соловьева¹

¹*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия*

²*Геофизическая служба РАН, Камчатский филиал, г. Петропавловск-Камчатский, Россия*

9 октября 2022 г. с помощью орбитальных рентгеновских и гамма-телескопов был зарегистрирован самый мощный из когда-либо наблюдаемых взрывов во Вселенной - гамма-всплеск GRB221009A на расстоянии 2,4 миллиарда световых лет. Несмотря на колоссальное удаление от Земли, ионосферные отклики на внегалактические катастрофы регистрируют и системы радиопросвечивания нижней ионосферы на сверхдлинноволновых (СДВ) радиотрассах от очень-низкочастотных (ОНЧ, частоты порядка десятков кГц) передатчиков. С помощью радиозондирования были обнаружены ионосферные отклики на такие уникальные внегалактические события как вспышка магнетара и GRB. Поскольку электронная концентрация в нижней ионосфере мала в ночные часы, то дополнительную ионизацию от внегалактических источников легче обнаружить именно в этот период. Однако исключительно мощный всплеск GRB 221009A создал ионосферное возмущение на СДВ радиотрассе, которое было заметно даже в дневные часы.

Гамма-всплеск GRB221009A был зарегистрирован многими орбитальными рентгеновскими и гамма-телескопами, включая детектор STIX на Solar Orbiter. Были проанализированы результаты регистрации ОНЧ сигналов от разных передатчиков, принимаемые на Камчатке в г. Петропавловске-Камчатском. Возмущение наблюдалось на радиотрассах, проходящих через Японию и Юго-Восточную Азию, как внезапное уменьшение амплитуды на 7 дБ и резкий скачок фазы сигнала до 20-30 градусов.

Проведенные исследования, наряду с имеющимися в литературе наблюдениями, показывают, что нижняя ионосфера (D-слой) представляет собой гигантский детектор для улавливания рентгеновских и гамма-вспышек от астрономических объектов. Сеть радиотрасс, проходящих в Юго-Восточной Азии, обнаружила резкое спадание амплитуды и скачок фазы сигналов, вызванных гамма-вспышкой GRB221009A.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-17-00125.

Исследование ориентации поперечной анизотропии высокоширотных неоднородностей в F-области ионосферы методом радиопросвечивания

Н.Ю. Романова

Полярный геофизический институт, Мурманск

Методом радиопросвечивания высокоширотной ионосферы сигналами отечественных ИСЗ исследованы неоднородности электронной плотности на высотах F-области вблизи геомагнитного зенита наземного приёмника, расположенного в п. Верхнетуломский (68.69°, 31.76°). В результате математической обработки флуктуаций амплитуды радиосигналов, принятых в период ноябрь 2008 – март 2012 гг., были определены параметры неоднородностей с размерами поперек геомагнитного поля от нескольких сотен метров до нескольких километров, называемых мелкомасштабными. В различные дни наблюдательного периода было установлено, что неоднородности более вытянуты вдоль геомагнитного поля, чем поперёк, и анизотропны перпендикулярно геомагнитному полю. Ориентация поперечной анизотропии была определена численно с точностью в несколько градусов и имела различные значения в различные дни наблюдательного периода.

Исследование параметров средне- и мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы методами радиопросвечивания и радиолокации

Н.Ю. Романова¹, В.А. Телегин², В.А. Панченко², Г.А. Жбанков³

¹*Полярный геофизический институт, Мурманск*

²*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН) им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк*

³*Научно-исследовательский институт физики южного федерального университета (НИИ физики ЮФУ), г. Ростов-на-Дону*

Методом радиопросвечивания ионосферы сигналами отечественных ИСЗ исследованы неоднородности электронной плотности на высотах F-области вблизи геомагнитного зенита наземного приёмника, расположенного в МГУ им. М.В. Ломоносова. В результате математической обработки флуктуаций амплитуды радиосигналов, принятых в период ноябрь 2008 – март 2012 гг., были определены параметры неоднородностей с размерами поперек геомагнитного поля от нескольких сотен метров до нескольких километров, называемых мелкомасштабными. В различные дни наблюдательного периода преимущественно в ночное время суток было установлено, что неоднородности более вытянуты вдоль геомагнитного поля, чем поперёк, и анизотропны перпендикулярно геомагнитному полю. Ориентация поперечной анизотропии была определена численно и имела различные значения в различные дни. Численное сопоставление с направлением дрейфа среднемасштабных неоднородностей (с поперечными размерами от 5 до 50 км), полученном в те же дни, время и в тех же пространственных областях, показало сходство этих значений. Таким образом, мелкомасштабные неоднородности в плоскости, перпендикулярной геомагнитному полю, вытянуты вдоль направления дрейфа. Направление дрейфа было определено методом радиолокации ионосферы ионозондом DPS-4, расположенном в ИЗМИРАН, и программой LocalDrift, где к расчету принимались ионосферные отражатели не всей карты неба, а только в исследуемой локальной области.

Вклад D области ионосферы в величину ПЭС во время солнечных вспышек различного класса в сентябре 2017 года

И.А. Ряховский, С.З. Беккер

ФГБУН Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия

E-mails: ryakhovskiy88@yandex.ru, susanna.bekker@gmail.com

Солнечные вспышки различного класса оказывают существенное влияние на процессы, происходящие в ионосфере. Изменение высотного профиля N_e во время вспышки обусловлено существенным увеличением потоков излучения в широком диапазоне частот: от рентгеновского до УФ. Изучение динамики ионосферы, вызванной вспышками различного класса, является одним из ключевых вопросов для понимания фотохимических процессов, и повышения точности прогноза космической погоды.

Разработанная в Институте динамики геосфер плазмохимическая модель дала возможность рассчитать динамику N_e в нижней ионосфере во время солнечных вспышек различного класса, произошедших в сентябре 2017 года. Сопоставление полученных результатов с данными глобальных навигационных спутниковых систем позволило оценить вклад D области в величину изменения ПЭС во время солнечных вспышек. Для некоторых вспышек эта величина достигала 30%.

Работа выполнена в рамках Государственных заданий № 122032900175-6 и 122032900184-8.

Современные методы анализа данных на примере обнаружения и реконструкции трековых событий в данных изображающего фотометра обсерватории «Верхнетуломская»

Р.Е. Сараев^{1,2}, С.А. Шаракин¹

¹*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобелыцина Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*

²*Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*

Многоканальные детекторы изображения на основе многоанодных ФЭУ, используемые в серии проектов международной коллаборации JEM-EUSO (как наземные, так и баллонного и космического базирования), регистрируют в атмосфере Земли события со сложным пространственно-временным паттерном сигнала. Для анализа таких событий требуется создание специализированных приложений, реализующих современные нейросетевые подходы и методы на основе вероятностного вывода. При этом крайне важно на этапе обучения моделей использовать реально зарегистрированные данные, а не результаты симуляций. В докладе представлены результаты применения таких методов к данным изображающего фотометра, работающего с 2021 года в обсерватории «Верхнетуломская» (совместный проект НИИЯФ МГУ и ПГИ) к так называемым *трековым событиям*, типа пролета в поле зрения спутника или метеора. Созданное в НИИЯФ МГУ программное обеспечение включает инструменты предварительной разметки данных, обучения и применение нейросетевого триггера для поиска треков в данных с разным временным разрешением, а также использование вероятностного программирования для реконструкции параметров трека.

Работы выполнены при поддержке Российского научного Фонда (грант № 22-62-00010, <https://rscf.ru/project/22-62-00010/>).

Временная продолжительность поляризационного джета по спутниковым и наземным наблюдениям

А.Е. Степанов¹, С.И. Данилов¹, Д.Г. Баишев¹, В.Л. Халипов², С.Е. Кобякова¹

¹*Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера ЯИЦ СО РАН, г. Якутск, Россия;*
e-mail: a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru

²*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

В работе рассматриваются данные наземной ионосферной станции Якутск (YA462) и измерения ионосферных параметров со спутников серии DMSP (h~830 км) при развитии поляризационного джета. Поляризационный джет на ионосферной станции Якутск регистрировался в вечернем секторе (17-19 MLT) на фоне суббуревых возмущений, когда геомагнитный индекс SME достигал значений в пределах от 1000 до 2000 нТ, в то время как по данным магнитной обсерватории Якутск (YAK) наблюдалась положительная бухта величиной ~50-100 нТ в H-компоненте и ~100-200 нТ в Z-компоненте магнитного поля Земли. Продолжительность наблюдения поляризационного джета или время существования в субавроральной ионосфере узких провалов ионосферной плазмы, вызванных электрическим полем северного направления, составляет по спутниковым измерениям от 3 до 9 часов.

Результаты эксперимента на стенде EISCAT в 2018 г.

А.В. Тертышников¹, Р.Ю. Юрик

¹*Институт прикладной геофизики, Москва, Россия*

Представлены результаты эксперимента в 2018 г. на нагревном комплексе EISCAT/Heating (Тромсё, Норвегия) по радиопросвечиванию границ трубки нагрева ионосферы.

По результатам измерений подтвердились достаточно резкие градиенты ионосферной задержки сигналов КА ГНСС в высокоширотной ионосфере на границах трубки нагрева ионосферы, как и ранее в 2009 г. в среднеширотной ионосфере над нагревным стендом Сура (Васильсурск, Россия).

Дрейф магнитных полюсов и строение полярной ионосферы

В.М. Уваров

Санкт-Петербургский университет путей сообщения, Санкт-Петербург, Россия

В рамках численной модели полярной ионосферы [1] исследован вопрос о влиянии дрейфа магнитных полюсов Земли на строение полярной ионосферы. Расчеты выполнены для северного полушария. Координаты магнитного полюса, изменяющиеся в процессе его дрейфа, задавались на основе модели магнитного поля Земли IGRF-13. Проявление дрейфа магнитного полюса в изменении строения полярной ионосферы обусловлено двумя факторами, учтенными при численном моделировании - изменяющимся рассогласованием между географическим и магнитным полюсами и изменением поля коротации, которое существенно зависит от взаимного расположения этих полюсов. Проведенные модельные расчеты иллюстрируют вызванные дрейфом полюсов изменения строения полярной ионосферы на промежутке в несколько солнечных циклов и на промежутке в один год. Графическое отображение результатов расчетов дано в виде двумерных распределений изолиний электронной концентрации в максимуме слоя F2.

1. Уваров В.М., Барашков П.Д., Захарова А.П. Модель полярной ионосферы с учетом влияния межпланетной среды. 1. Эффект азимутальной компоненты ММП. – Геомагнетизм и аэрномия, 1992, т.32, № 3, с. 7 - 77.

Спектральный риометр

Ю.В. Федоренко, А.В. Ролдугин, А.В. Ларченко, С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, Д.С. Швецов, М.В. Кузнецова

ПГИ, г. Апатиты, Россия

В феврале 2023 г. в obs. Ловозеро Полярного геофизического института введен в эксплуатацию спектральный риометр. В докладе представлены алгоритмы и программы обработки данных и его функциональная схема. Обсуждаются особенности обработки его данных в сравнении с алгоритмами, применяемыми для обработки записей широко распространенных одночастотных риометров типа La Jolla. Продемонстрировано, что при наличии мешающих помех, все больше и больше осложняющих регистрацию космического радишума на высокоширотных станциях, спектральные риометры обладают некоторыми преимуществами перед одночастотными. При анализе спектров космического радишума значительно легче выделить участки записей, искаженных помехами, а в случае монохроматических помех их полностью подавить. Подробно проанализированы особенности интерпретации риометрических данных с целью оценки профилей электронной концентрации во время высыпаний заряженных частиц. Показано, что широкие диаграммы направленности распространенных риометрических антенн типа двойного диполя и даже более узконаправленных антенн типа Уда-Яги (волновой канал) не дают возможности оценить значение

Ionosphere and upper atmosphere

поглощения космического радиопомех в области высыпаний с горизонтальными размерами в несколько десятков километров, и, следовательно, применить тригонометрические данные к оценке профиля электронной концентрации в этой области. Оценены систематические погрешности оценок поглощения для типичных размеров области высыпаний. Рассмотрены возможные технические решения, направленные на уменьшение такого рода погрешностей.

Возможности скинтилляционного GNSS приемника Septentrio PolaRx5S установленного в г. Апатиты

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

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
Email: *mijgun@yandex.ru*

В данной работе представлены возможности установленного в г. Апатиты GNSS приемника Septentrio PolaRx5S. Приемник был установлен на крыше здания ПГИ в декабре 2020 г. сотрудниками Института прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова.

Многочастотный 544 канальный GNSS приемник Septentrio PolaRx5S является эталонным, поддерживает сигналы GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, SBAS, IRNSS, QZSS. Генерирует данные в форматах ISMR (Ionospheric Scintillation Monitoring Record), Septentrio Binary Format (SBF), RINEX, BINEX, NMEA и RTCM. Позволяет получать скинтилляционные индексы амплитудный S4, фазовые $\Phi_{01} \sim \Phi_{60}$, погрешность псевдодальности и псевдофазы CCD, интенсивность скинтилляций SI, наклон и интенсивность фазового спектра при частоте 1 Гц $r\&T$. Рассчитывает полное электронное содержание TEC с поправкой на смещение спутников. А также кодовые, фазовые и навигационные данные с частотой до 100 Гц.

В докладе приведены примеры использования данных, полученных при помощи приемника, и продемонстрирована информативность различных индексов при различных гелиогеофизических событиях.

Характеристики среднеширотных и субавроральных красных дуг свечения атмосферы

В.Л. Халипов

Институт космических исследований РАН, Москва; e-mail: khalipov@iki.rssi.ru

Красные дуги свечения верхней атмосферы были открыты французским астрономом Daniel Barbier в период МГГ 1957 - 1959 гг. Свечение атмосферы, обнаруженное им в линии 630 нм, было стабильным в течение многих часов и охватывало долготы от горизонта до горизонта. При этом обычные формы полярных сияний наблюдались далеко к северу относительно красных дуг. Были выполнены многочисленные измерения, которые показали, что интенсивность свечения часто составляла 500 – 5000 Рл, но могла достигать десятков килоэрлей и максимальная измеренная интенсивность достигала 134 кРл. Свечение зеленой линии атомарного кислорода регистрировалось, но было на два порядка менее интенсивным.

В следующем цикле солнечной активности последовали параллактические и интерферометрические измерения красных дуг, которые показали, что максимум свечения расположен на высоте 450 км, и температура нейтральной атмосферы (T_n) под дугой не изменяется. Измерения на спутнике OGO-4 (Nagy, 1967) не обнаружили электрического поля в полосе красной дуги. Все эти измерения были выполнены на средних широтах и соотнесены с фазой восстановления магнитных бурь большой интенсивности.

В ИКФИА свечение ночного неба на субавроральных широтах исследуется с начала 70-х годов. В работе Надубович и др. (1973) проанализированы параллактические измерения с трех и четырех пунктов сканерных наблюдений и установлено, что высоты максимума свечения с внедренной в них красной дугой составляют 170-180 км. В обсерватории Маймага проводились длительные интерферометрические измерения T_n , комплексные оптические и ионозондовые измерения. Это позволило получить следующие результаты.

а) Красная дуга развивается в полосе поляризованного джета (ПД) и запаздывает на 30-40 мин. относительно момента возникновения ПД. При интенсивности возмущения $AE \sim 1000$ нТл и более оба явления развиваются синхронно.

б) Под дугой T_n увеличивается на 200 - 400 К относительно уровня, определенного по невозмущенным дням месяца. Рост температуры запаздывает на 1.5 – 2 часа относительно начала уярчения свечения в дуге (Алексеев, 1984; Халипов и др., 2018).

с) Субавроральные красные дуги развиваются на широте станции Жиганск ($L = 4$) при уровне активности АЕ = 300-350 нТл. При АЕ = 500 нТл они смещаются на широту Якутска ($L = 3$), а при АЕ > 1500 нТл весь сценарий явления перемещается до Москвы ($L = 2.3$).

В детальном исследовании субвизуального фонового свечения атмосферы на субавроральных широтах (Фельдштейн и др., 2012) обоснована точка зрения, что источником свечения красных дуг являются остаточные высыпания электронов из силовых трубок на экваториальной границе электронного плазменного слоя. Дополнительное усиление свечения атомарного кислорода происходит в полосе ПД, где концентрация электронов в области F падает почти на порядок, что резко уменьшает дезактивацию возбужденных атомов кислорода (Халипов, 2018). Также действует фактор фрикционного разогрева среды под воздействием очень сильного электрического поля ПД 30 – 50 мВ/м. Механизм образования классической красной дуги был разработан в статье (J. Cornwall, F. Coroniti, R. Thorne, 1971). Энергичные ионы кольцевого тока в приэкваториальной области магнитосферы возбуждают ионно-циклотронные волны, которые ускоряют электроны среды вследствие действия механизма затухания Ландау. Возникшая популяция сверхтепловых электронов передает энергию в атмосферу, порождая красную дугу. Выяснилось, что этот механизм действительно работает, но наблюдаемая интенсивность ионно-циклотронных гармоник способна создать свечение красной линии интенсивностью 1.5-2.0 кРл.

О приеме на севере Ленинградской области коротковолнового ЛЧМ-сигнала, рассеянного искусственно возмущенной областью ионосферы

А.В. Шиндин¹, Ф.И. Выборнов^{1,2}, Л.Б. Бовин³, И.В. Крашенинников⁴

¹НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия; e-mail: rf-shindin@rf.unn.ru

²ВГУВТ, г. Нижний Новгород, Россия; e-mail: vybornov@nirfi.unn.ru

³ФГУП "ГосНИИПП", г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

В работе представлены результаты эксперимента по зондированию ионосферы, возмущенной мощным коротковолновым излучением нагревного стенда СУРА. Эксперимент проводился во второй половине сентября 2022 г. Зондирование проводилось линейно-частотно-модулированным (ЛЧМ) сигналом по двум трассам. В первом случае передатчик располагался в г. Троицк (ИЗМИРАН), зондирование проводилось в диапазоне частот 3 – 25 МГц. Во втором случае принимался сигнал ЛЧМ-станции Кипр в диапазоне 8-30 МГц. Прием ЛЧМ-сигнала проводился вблизи г. Приозерска Ленинградской области. Дополнительно ЛЧМ сигнал регистрировался в г. Нижнем Новгороде и п. Васильсурск Нижегородской области. Сигналы обоих передатчиков, отраженные от ионосферы, уверенно принимались в любое время суток всеми ЛЧМ станциями.

Нагревный стенд работал по программе 10 минут - нагрев, 10 минут – пауза. Сигнал излучался на обыкновенной компоненте ниже критической частоты на ближайшей разрешенной частоте. ЛЧМ-передатчики работали с периодом 5 минут, скорость сканирования составляла 100 кГц в секунду. Для диагностики состояния ионосферы во время работы нагревного стенда использовался ионозонд CADI.

Во время работы стенда СУРА уверенно регистрировался сигнал на частотах выше критической частоты F-слоя, отраженный от искусственно-возмущенной области ионосферы, который отсутствовал в паузах работы нагревного стенда. Кроме того, уверенно регистрировался сигнал возвратно-наклонного зондирования, рассеянный горными массивами.

В работе приводятся параметры трасс зондирования, наблюдаемые дистанционно-частотные характеристики сигнала (полученные как в время работы стенда СУРА, так и во время пауз) и результаты моделирования. Выполненное моделирование с использованием данных ионозонда CADI позволило идентифицировать данный сигнал как ракурсный от F-области ионосферы, искусственно возмущенной излучением нагревного стенда СУРА. Приводятся характеристики наблюдаемого ракурсного сигнала, обсуждаются параметры искусственных неоднородностей ионосферы.

Работа А.В. Шиндина выполнена при поддержке программы стратегического академического лидерства Приоритет-2030.

Experimentum crucis: The presence of radionuclides in precipitations is not the main reason for the observed increase in gamma flux

Yu.V. Balabin

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

Original experiments were carried out using a gamma-ray spectrometer installed at the cosmic ray station in Apatity. The spectrometer monitors the spectrum of gamma radiation coming from the atmosphere in the energy range of 0.1-4 MeV. Based on the results of these experiments, a final and unambiguous conclusion was made: the effect of an increase in gamma radiation during precipitation recorded at many stations of cosmic rays is not associated with the presence of radionuclides in precipitation or additional release of radionuclides from the soil. At the same time, these experiments indirectly confirm the hypothesis of the influence of meteorological processes on the propagation and interaction of secondary cosmic rays in the Earth's atmosphere.

Peculiarities of gamma-radiation spectra increases during precipitations: Radionuclide lines and continuum spectrum

Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
E-mail: *balabin@pgia.ru*

Since the installation of a differential electromagnetic radiation spectrometer in the range of 0.1-4 MeV in the summer of 2022 in Apatity, more than 60 increase events with an amplitude above 10% have been registered. A NaI(Tl) spectrometric crystal is used with an energy resolution along the 662 keV (cesium-137) line of about 5%. The resulting array of spectra was analyzed. The spectra contain lines of some radionuclides, as well as an annihilation line at 511 keV. Lines of radionuclides of the uranium series (lead-214, bismuth-214) appear in the spectra during precipitation, but the contribution of all lines to the total flux of quanta is about 10% (in terms of the number of quanta) and is not capable of providing the observed increase. In broad bands (800–1100 keV, 1200–1700 keV), no lines are observed, although the spectrum also increases. All this indicates that the contribution of radionuclides to the increase effect in gamma radiation during precipitation is small and is not the main reason for the increase. The main reason for this phenomenon is most likely associated with the processes of interaction of secondary cosmic rays and meteorological phenomena.

Spectral measurements during gamma-ray increase events

Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
E-mail: *balabin@pgia.ru*

In Apatity, at the cosmic ray station, an electromagnetic radiation spectrometer in the range of 0.1-4 MeV was installed and launched in the continuous monitoring mode. A NaI(Tl) spectrometric crystal was used, the spectrum type was differential. The spectrometer was calibrated against the lines of americium-241, cesium-137, potassium-40, sodium-22, and cobalt-60. The resolution for the 662 keV (cesium-137) line was determined to be 5%. With the help of the spectrometer, dozens of events of an increase in gamma radiation during precipitation were recorded. Spectral measurements have shown that the changes in the spectrum with increases are continual in nature and are not due to radionuclide lines. Although some lines of the uranium family radionuclides with low intensity are present during

precipitations, they cannot provide the effect of an increase in the quantum flux over the entire measurement range. The counting of quanta in the lines of radionuclides shows that the number is an order of magnitude less than the total number of quanta in the measured range. Measurements of the differential spectrum of gamma radiation during precipitation unequivocally show that the effect of an increase in the gamma radiation flux during precipitation is not due to radionuclides present in precipitation.

The study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 18-77-10018.

Features of variations of X-ray (up to 1 MeV) and gamma radiation (more than 1 MeV) according to the data of the scintillation spectrometer in Apatity

Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

E-mail: balabin@pgia.ru

Regular measurements of the differential gamma radiation spectrum coming from the atmosphere in Apatity in the energy range of 0.1-4 MeV can also be converted into radiation flux profiles in successive energy bands, for example, 100-200 keV, 200-300 keV, etc. To measure the differential spectrum of gamma radiation, a NaI(Tl) Ø65×65 mm spectrometric crystal is used. The analysis and comparison of such band profiles makes it possible to determine the upper energy limit for precipitation-related radiation increase events with good accuracy. Previously, this limit was already determined by less accurate instruments and was equal to 2-4 MeV. Now, with a high-resolution spectrometer, it can be determined much more accurately. The band profiles also show that gamma-ray flux variations not associated with precipitation and with an amplitude of less than 10% have a significantly lower upper energy limit than precipitation-related radiation increase events. With the help of strip profiles, it is possible to separate such events.

Electric field measurements at the cosmic ray station in Apatity

A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky, V.B. Belakhovsky

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

Since the beginning of 2023, continuous measurements of the electric field strength have been carried out at the cosmic ray station in Apatity. Fluxmeter model “Phcela D1” is used. The inclusion of a fluxmeter in the system of sensors that record various atmospheric parameters is due to the fact that one of the hypotheses about the origin of the gamma radiation increase during precipitation is based on the effect of an additional energy gain (before-acceleration) of energetic charged particles in electric fields in the atmosphere. In favor of this hypothesis, there are the following facts: the presence of radionuclides in sediments only in trace amounts, a continuous spectrum of gamma radiation that occurs during precipitation. However, an exact description of the mechanism for gaining energy in an electric field and then dissipating it in the form of electromagnetic radiation has not yet been created. Carrying out measurements of the electric field strength will allow a more complete representation of the state of the atmosphere during the increase events. Fluxmeter data are available at <https://cosmicray.pgia.ru/gammanew.html>. The initial data have a resolution of 1 second, but they are presented on the site with a five-minute averaging.

The study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 18-77-10018.

Cosmic Ray Variations Based on Observations by Pairs of Identical Detectors in Apatity and Barentsburg

A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky

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

Neutron monitors are most effective for cosmic rays with energies of 0.5-10 GeV, but for muon telescopes, the minimum energy for a primary particle of cosmic rays is ~5 GeV, and the average energy of detected particles is ~50 GeV. Two pairs of detectors (neutron monitors and muon telescopes) located in Apatity and Barentsburg (archipelago Spitsbergen) make it possible to estimate the anisotropy of cosmic rays in the direction of the north ecliptic pole and mid-latitudes. The asymptotic cone of acceptance for the neutron monitor in Apatity lies in the middle latitudes (in the GSE system), while in Barentsburg it is somewhat higher. For muon telescopes, the fields of view are cones with an apex angle of 80-90 degrees. The telescope in Barentsburg is turned to the area near the ecliptic pole, the Apatity telescope is directed lower, in the direction of latitudes 50-70 degrees. After correcting the data for variations associated with changes of pressure and temperature, the ratio of the count rates of a pair of neutron monitors and a pair of telescopes is calculated. In this way, simultaneous changes in the count rates associated with active processes on the Sun are excluded: Forbush decreases, coronal holes, etc., which have an amplitude several times greater than the possible anisotropy. The variations in the ratio of neutron monitors are very small, which indicates a low anisotropy of cosmic rays at mid-latitudes. Variations in the ratio of muon telescopes are much greater and are observed during periods of increased solar activity. This means that active ejections from the Sun affect the polar regions of the ecliptic to a lesser extent.

The study was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 18-77-10018.

Lightning initiation and development problems

D.I. Iudin^{1,2}, A.A. Syssoev^{1,2}, V.A. Rakov³

¹*Privolzhsky Research Medical University, 10/1 Minina and Pojarskogo Sqr., 603005, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Institute of Applied Physics RAS, 46 Uljanova str., 603950, Nizhniy Novgorod, Russia*

³*University of Florida, Gainesville, USA*

The presentation is devoted to the fundamental issues of initiation and development of lightning discharge which open a list of the most important unsolved problems of atmospheric electricity. The root of the intrigue is the fact that the level of electric field strength of atmospheric air is about an order of magnitude higher than the peak values of electric fields measured in thunderclouds. Several concepts were proposed to explain the lightning initiation process, among which two can be highlighted: the hypothesis about the lightning initiation as a result of a positive streamer initiation from the hydrometeor surface and the scenario appealing to the appearance of lightning as a result of the runaway electrons breakdown. However, due to various difficulties, none of these approaches has become the leading one. Recently a fundamentally new mechanism of lightning discharge initiation was formulated, which is based on a noise-induced kinetic transition that occurs in stochastic field of charged hydrometeors. The proposed approach looks like a sequence of transitions of discharge activity from small spatial scales to larger ones. One of the main features of the proposed hypothesis is that generation of streamers is determined by the level of small-scale and mesoscale electric field fluctuations in a thundercloud and practically does not depend on the magnitude of the large-scale field. The role of the latter is to ensure the interaction of appearing streamers when they begin to develop mainly in the background field direction. In the final part of the review, the fundamental role of polarity asymmetry in the processes of initiation and subsequent development of lightning discharge is discussed.

The study of kinetics of molecular nitrogen in the stratosphere of Titan during precipitation of galactic cosmic rays

A.S. Kirillov¹, R. Werner², V. Guineva²

¹*Polar Geophysical Institute of Russian Academy of Sciences, Apatity, Murmansk region, Russia*

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

We study the electronic and vibrational kinetics of molecular nitrogen in the stratosphere of Titan during precipitation of galactic cosmic rays. The composition of Titan's atmosphere at the altitudes is considered as the mixture of N₂-CH₄-H₂-CO gases with admixtures of hydrocarbons. Special attention is paid to the investigation of the role of inelastic molecular collisions in the redistribution of the excitation energy between different molecular degrees of freedom. It is shown that inelastic intramolecular and intermolecular electron energy transfers during the collisions influence on vibrational populations of excited and ground electronic states of N₂ at the altitudes of the stratosphere. The important role of electronically and vibrationally excited molecular nitrogen in the excitation of other atmospheric components is discussed.

The microwave monitoring the diurnal variations of the mesospheric ozone in the winter 2022-2023 at Apatity during Solar Cycle 25

Y.Y. Kulikov¹, V.B. Belakhovsky², V.I. Demin², V.M. Demkin³, A.S. Kirillov², A.V. Losev², V.G. Ryskin¹

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

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

³*High School of Economy, Nizhny Novgorod, Russia*

We present data continuous series of microwave observations of the middle atmosphere ozone in winter 2022-2023 above Apatity (67N, 33E). Measurements were carried out with the help of the mobile ozonemeter (observation frequency 110.8 GHz). The instrument allow to measure a spectrum of the emission ozone line for time about 15 min with a precision of ~ 2%. On the measured spectra were appreciated of ozone vertical profiles in the layer of 22-60 km which compared to satellite data MLS/Aura. The minimal amplitude of the diurnal cycle mesospheric ozone (60 km) was registered during polar night 2022 – (1.06±0.02). The amplitude of a diurnal cycle represents the relation of the night to day ozone concentration (altitude 60 km).

Measurements of resonance frequency of ozone rotational transition $J = 6_{1,5} - 6_{0,6}$ in the real atmosphere with high precision

M.Yu. Kulikov, A.A. Krasil'nikov, M.V. Belikovich, V.G. Ryskin, A.A. Shvetsov, A.M. Feigin

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46 Ulyanov Str., 603950 Nizhny Novgorod, Russia

Ground-based passive measurements of downwelling atmospheric radiation at ~110.836 GHz allow one to extract the spectra of ozone self-radiation (rotational transition $J = 6_{1,5} - 6_{0,6}$) coming from the low stratosphere - middle mesosphere and retrieve vertical profiles of ozone concentration at these altitudes. Nowadays, there is a notable (several hundred kHz) ambiguity in determination of the resonance frequency of this important ozone line. We carried out long-term ground-based measurements of atmospheric microwave radiation in this range using upgraded apparatus with relatively high spectral resolution (~12 kHz). Obtained brightness temperature spectra allowed us to define the resonance frequency of this ozone line to be 110835.909±0.016 MHz. We verified that Doppler shift of frequency by

Low atmosphere, ozone

meridional component of horizontal wind as well as variations of the tropospheric absorption had a little effect on the obtained result. The found value is 130 kHz less than laboratory measured one and differ from modern model calculations. Surprisingly, it is close to the results of early semiempirical calculations carried out more than 40 years ago. We discuss the applications where the knowledge about the resonance frequency of this ozone line with high precision can be important.

Study of the polar ozone annual cycle with CCM SOCOL-3

Andrey Mironov¹, Vladimir Zubov^{1,2}, Eugene Rozanov^{1,3}

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia*

³*Physikalisch-Meteorologisches Observatorium, Davos and World Radiation Center, Davos, Switzerland*

Comparison of the chemistry climate model (CCM) SOCOL-3 basic numerical experiment (without changing any parameters) with the IASI (Infrared Atmospheric Sounder Interferometer) satellite instrument shows that the greatest difference in total ozone content is observed in the polar region of the southern hemisphere.

To resolve this problem and to assess the role of the main physical and photochemical processes that affect the annual cycle of polar ozone in the southern hemisphere, we considered changes in the following processes in the model: 1) the rate of ozone photodissociation for large zenith angles of the Sun; 2) rates of stratospheric heterogeneous reactions under polar night conditions; and 3) intensity of the meridional mixing on the model sub-grid scales in the polar southern hemisphere.

A comparison of the model results with the corresponding IASI measurement data showed that photolysis and horizontal mixing are the most important features for improving ozone modeling. A reasonable adjustment of these factors has made it possible to significantly improve the model representation of the annual ozone cycle over the polar region in the southern hemisphere.

The work was carried out at the St. Petersburg State University "Ozone Layer and Upper Atmosphere Research laboratory" with the support of the Government of the Russian Federation (grant no. 075-15-2021-583).

Atmospheric response to energetic particle precipitation

I.A. Mironova¹, D.V. Grankin¹, E.V. Rozanov¹, V.S. Makhmutov², G.A. Bazilevskaya²

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; e-mail: i.a.mironova@spbu.ru*

²*FIAN, Moscow, Russia*

Here we investigate in detail a number of energetic particle precipitation events during different periods of geomagnetic and solar activity. We present a calculation of the atmospheric ionization rates during geomagnetic disturbances using the reconstructed spectra of electron/proton precipitation observed by satellites and balloons measurements. We carry out estimation of ozone destruction during geomagnetic disturbances using three-dimensional and one-dimensional photochemical radiation-convection models taking into account ionic chemistry, and also estimate the electron density during disturbed periods.

The work was carried out at the St. Petersburg State University "Laboratory for the Study of the Ozone Layer and Upper Atmosphere" with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under contract 075-15-2021-583.

Monitoring of the thickness of the snow cover based on the neutron component data of cosmic rays

L.A. Trefilova, P.G. Kobelev, V.G. Yanke

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation of the Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), Troitsk, Moscow, Russia

Neutron monitors are successfully used in achieving the tasks in various fields of human activity: science, agriculture, forecasting (meteorology), etc. At present, is developed a special echnology, which provides the ability to measure the moisture content in soil and snow above on some field scale in real-time. The described method is integral, i.e. averages the effect over the area determined by the range of neutrons in the lower atmosphere, which is ~220 m, and the corresponding area is about 10 hectares. For mountainous areas for northern countries, monitoring the thickness of the snow cover is especially relevant. The method used to estimate moisture and snow is a relative method and therefore requires calibration of detectors.

Keywords: Neutron monitors, moisture estimating, monitoring, thickness of the snow cover

Solar rhythms in trajectories of extratropical cyclones in the North Atlantic

S.V. Veretenenko and P.B. Dmitriev

Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

Long-term variations of the main trajectories of extratropical cyclones (storm tracks) in the North Atlantic were studied, the data of MSLP (Mean Sea Level Pressure) archives from Climatic Research Unit, UK (1873-2000) and NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (1979-2021) being used. It was revealed that in the period of most intensive cyclogenesis (October-March) the average latitudes of storm tracks in the longitudinal range from 60°W to 10°W undergo oscillations with the periods of ~80-100, ~40-47 and ~22 years, which indicates their possible connection with solar activity variations. Cyclone trajectories were found to be shifted to the north at the minimum of the secular Gleissberg cycle (~1900-1920) and at the descending branch of this cycle (since ~1960s), whereas at the secular maximum (~1940-1960) they were shifted to the south. The peak-to-peak amplitude of the secular variations in storm track latitudes was found to be the largest (~3-5°) in the western part of the North Atlantic, which is the region of intensive formation and development of extratropical cyclones. On the bidecadal time scale, a northward shift of storm tracks was revealed in even-numbered solar cycles, the effect being the most pronounced (~1-2°) in the eastern North Atlantic, where cyclone destruction becomes more frequent. It was suggested that a possible physical mechanism of the detected variations in cyclone trajectories involves ionization changes due to cosmic ray variations and geomagnetic activity, which affect the chemical composition and temperature regime of the polar atmosphere and thus the state of the stratospheric polar vortex and the polar jet position.

Исследование изменений температуры воздуха в Мурманске для выявления эволюции городского острова тепла

В.И. Демин

Полярный геофизический институт, Апатиты

Мурманск представляет особый интерес для городской климатологии. Метеорологические измерения в городе начались практически одновременно с его постройкой. По этой причине можно отследить возникновение и эволюцию городского острова тепла, которая должна проявиться в виде усиливающей со

Low atmosphere, ozone

временем (по мере роста города) разности температур между городской и фоновой метеостанциями. С учетом двукратного переноса метеорологической станции, чтобы избежать эффектов неоднородности, предполагается тренд с точками разрыва в 1924 и 1935 гг. Допускается также существование сдвигов в конце 1940-ых гг., когда уничтоженный во время войны город стал отстраиваться заново и после 1991 г., когда резко упал объем промышленного производства и строительства, а также началось сокращение населения.

Сравнение среднемесячных и более чувствительных к антропогенному воздействию минимальных температур не обнаруживает убедительных признаков существования острова тепла в районе городской метеорологической станции.

Вариации температуры воздуха в тепловом пограничном слое атмосферы в условиях города и в фоновом районе

В.И. Демин¹, Б.В. Козелов¹, Ю.В. Меньшов²

¹ФБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

²Территориально-ситуационный центр ФКУ Упрдор «Кола». г. Петрозаводск

Исследована структура и динамика теплового пограничного слоя атмосферы в городе Апатиты и над Кандалакшей (данные аэрологического зондирования). Между рядами температуры в городе и фоновым районом в пределах выявленного слоя наблюдается высокая корреляция, как в зимний, так и в летний период (почти 0.9), указывающая на схожие механизмы его формирования.

Инфракрасное свечение окиси азота в средней атмосфере Земли во время GLE69

А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский

Полярный геофизический институт, Апатиты

Релятивистские энергетические протоны обнаруживаются наземными нейтронными мониторами, размещенными в полярных областях. Использование данных сети нейтронных мониторов позволяет определять спектры высокоэнергичных протонов, выбрасываемых в атмосферу Земли во время Ground Level Enhancements (GLE). В настоящей работе рассмотрены механизмы образования колебательно-возбужденных молекул окиси азота NO на высотах средней атмосферы Земли при выпадении высокоэнергичных протонов. Расчеты сделаны для события GLE69 (20.01.2005). Основные результаты этих расчетов состоят в следующем.

Исследование колебательных заселенностей $\text{NO}(X^2\Pi, v=1-20)$ во время события GLE69 на высотах средней атмосферы показало, что химическая реакция метастабильного атомарного азота $\text{N}(^2D)$ с молекулярным кислородом O_2 является основным механизмом образования колебательно-возбужденных молекул окиси азота $\text{NO}(X^2\Pi, v>0)$ и излучения 5,3 мкм и 2,7 мкм инфракрасных полос NO на высотах потери энергии выпадающих протонов. Свечение данных инфракрасных полос происходит при спонтанных одноквантовых $\Delta v=1$ и двухквантовых $\Delta v=2$ переходах в колебательно-возбужденной молекуле NO. Показано, что относительный вклад VV' -процесса переноса энергии с колебательно-возбужденной молекулы $\text{N}_2(X^1\Sigma_g^+, v>0)$ может быть значительно увеличен и сравним с вкладом химического процесса в тех случаях, когда концентрации окиси азота [NO] возрастают до значений порядка концентраций молекулярного азота $[\text{N}_2]$ в атмосферной смеси газов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-77-10018) «Потоки высокоэнергичных заряженных частиц в околоземном космическом пространстве, и их воздействие на атмосферу Арктики».

Возбуждение синглетных состояний молекулярного кислорода на высотах мезосферы и нижней термосферы Земли в ночные и сумеречные часы

Ю.Н. Куликов, А.С. Кириллов

Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия; e-mail: kulikov@pgi.ru

Целью работы является исследование физико-химических процессов формирования высотных распределений возбуждённых состояний $a^1\Delta_g$ и $b^1\Sigma_g^+$ молекулярного кислорода (синглетного кислорода) в ночной и сумеречной мезосфере и нижней термосфере Земли, а также разработка аэрономической модели баланса скоростей этих процессов. Особое внимание уделяется расчету констант скоростей взаимодействия синглетного кислорода с атмосферными составляющими. Рассчитанные на основе теории Розена-Зинера коэффициенты гашения возбуждённых состояний O_2^* используются для определения колебательных населенностей электронно-возбужденных уровней молекулярного кислорода в ночной и сумеречной атмосфере. Для расчёта высотных профилей концентрации атомарного и возбуждённого молекулярного кислорода, а также химически тесно связанного с ними озона и других важных составляющих «нечётного» водорода в области мезосферы и нижней термосферы (50-120 км), построена аэрономическая модель суточных вариаций химического состава верхней атмосферы Земли. Модель включает в себя детальные расчёты скоростей фотодиссоциации компонентов атмосферы солнечным УФ-излучением с учётом их суточных вариаций, зависимости от солнечной активности, зенитного угла и географической широты, а также уточнённые константы скоростей химических реакций. Для проверки построенной модели использованы опубликованные экспериментальные данные о высотном распределении оптических и ИК-эмиссий верхней атмосферы, а также ряда других измерений. Выполнены расчёты относительных населенностей $O_2(b^1\Sigma_g^+, v)$ на высотах 80-110 км. Сравнение рассчитанных населенностей с результатами имеющихся в научной литературе экспериментальных оценок для ночной атмосферной эмиссии O_2 дает хорошее согласие. Также сравнение результатов расчётов сумеречной ИК-эмиссии $O_2(a^1\Delta_g)$ с данными измерений показывает хорошее согласие модели и экспериментальных данных.

Возмущения циркуляции нижней и средней атмосферы, которые могут быть вызваны изолированным горным массивом

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

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия

В настоящей работе анализируются результаты численного моделирования крупномасштабной циркуляции нижней и средней атмосферы, моделирование было проведено с целью выявления влияния земного рельефа на эту циркуляцию. Использовалась численная глобальная модель горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, которая была ранее разработана в Полярном геофизическом институте.

Используемая модель основывается на численном решении системы газодинамических уравнений в слое, окружающем Землю глобально, и позволяет рассчитывать трехмерные глобальные распределения зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости нейтрального ветра, температуры и плотности атмосферного газа на высотах нижней и средней атмосферы. Применяемая численная модель является негидростатической, в ней вертикальная скорость газа находится 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 условие гидростатического равновесия не применяется.

В работе основное внимание сконцентрировано на влиянии, которое может оказать изолированный горный массив на циркуляцию нижней и средней атмосферы в окрестности этого массива, в качестве которого выбраны горы и скалы, покрывающие архипелаг Кергелен, лежащий в Индийском океане. Протяженность

этого архипелага в горизонтальных направлениях многократно меньше его расстояний до окружающих Индийский океан материков, от которых он изолирован огромными водными пространствами. Покрывающие его горы достигают высоты 1850 м.

Анализируемые результаты получены для одинаковых гелиогеофизических условий при помощи двух вариантов модели, в первом из которых поверхность Земли считается гладкой, а во втором варианте модели учитывается рельеф земной поверхности. Сравнение этих результатов позволяет выявить влияние изолированного горного массива на циркуляцию нижней и средней атмосферы в окрестности этого массива.

Геопотенциальный анализ физической природы зимней ночной дуги полярного сияния, протянувшейся вдоль береговых гранитов норвежского моря

Е.Е. Timofeev¹, I.V. Artamonova², T.S. Virđi³, M.K. Vallinkoski⁴

¹*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*

²*С.-Петербургский государственный университет*

³*Physics Department, University College of Wales, Aberystwith, Wales, UK*

⁴*Helsinki Univ. Research Inst. for Theoretical Physics, Helsinki, Finland*

В нашей работе исследуются особенности энергетики движения воздушных масс над поверхностью моря в условиях сильнейшего ночного шторма. 21 октября 1981 г. Для этого были выполнены расчёты величины работы, необходимой для подъёма воздушных масс от поверхности моря до определённой высоты по методике компании «NOAA Physical Science Laboratory». Величина этой работы носит название геопотенциала. Расчёты геопотенциала были выполнены на 13-ти высотах, начиная от уровня моря с 3-ёх километровыми интервалами до высоты 36 км.

Обычно при прохождении интервала высот примерно от 12 до 16 км (типичных высот тропопаузы) картины расположения и ориентации полос ионов: внизу в центре и на верху тропопаузы выше и на самой тропопаузе оказываются непредсказуемо различными.

Однако, вопреки ожиданиям оказалось, что в этом случае экстремально мощного шторма картины расположения ионов оказались подобными на всех 13-ти высотах. Фактически это означает, что тропопаузы в эту особую ночь не было, по крайней мере, до высоты 36-ти километров.

Вариации суточного ритма растений и исхода случайных процессов в периоды повышенной солнечной активности и околоземных геофизических возмущений

П.А. Кашулин, Н.В. Калачёва

Полярно-Альпийский ботанический сад-институт, РАН, Апатиты, Россия

Исследовали многодневную динамику суточных ритмов настических движений культивируемых растений, восприимчивых к внешним физическим факторам. Наряду с традиционно используемыми нами растениями видов *Marantha leoconeura* и *Stenantho setosa*, ритмично меняющими углы наклона глистовых пластинок, анализировали круговые гироскопические движения усиков лианы *Brionia* и мобильные листовые пластинки венериной мухоловки *Dionea muscipula*. Последний вид способен генерировать электрические потенциалы действия, принципиально не отличающиеся от мембранных потенциалов нервных волокон животных видов, на которые могут оказывать модулирующее влияние внешние ЭМ поля. Параллельно с наблюдением движения мобильных органов растений проводили измерения исходов случайных механических процессов с двоичным выбором и анализировали цифровые ответы генератора случайных чисел SRP-285П "CITIZEN". Все измерения проводили дважды в сутки и вечерние и дневные часы. В опытах с двоичным выбором в виде бросания монет анализировали длины серий однотипных исходов и их частоты. Результаты многодневных наблюдений сравнивали с тремя параметрами солнечной активности: радиоизлучение 10,7 см, суточные значения чисел Вольфа и суммарная площадь солнечных пятен. А также – с уровнем возмущения магнитосферы Земли и интенсивностью корпускулярных потоков. Обнаружены изменения динамики нормальных физиологических ритмов наблюдаемых растений, числа и распределения серий одинаковых результатов в опытах с двоичным исходом для серии календарных дат с высокой солнечной активностью конца 2022 года и начала текущего года. В периоды относительно спокойной «космической погоды» отмечены дневные и вечерние различия общего числа и длин однотипных серий в опытах с двоичным выбором.

AUTHOR INDEX

A

Abunin A.A. 55, 56, 57, 60
 Abunina M.A. 55, 56, 57, 60
 Achkasov N.S. 72, 85
 Aidakina N.A. 38
 Akhmetov O.I. 72
 Aksenovich T.V. 22, 28
 Andreeva E.S. 85
 Anfinogentov S.A. 56
 Antonenko O.V. 71
 Antonova E.E. 15, 31, 32, 34
 Antonyuk G.I. 25, 55
 Artamonov M.F. 67
 Artamonova I.V. 100
 Artekha N.S. 38
 Artemyev A.V. 33, 39, 41, 43, 44, 49
 Atanassov A. 16, 24

B

Baishev D.G. 88
 Balabin Yu.V. 57, 92, 93, 94, 98
 Barabash N.S. 73
 Barinov O.G. 19
 Barkhatov N.A. 25
 Bazilevskaya G.A. 30, 96
 Behailu G. 29
 Bekker S.Z. 87
 Belakhovsky V.B. 23, 26, 72, 73, 74, 93, 95, 98
 Belikovich M.V. 95
 Belov A.A. 62
 Belov A.V. 55, 56, 60
 Belyuchenko K.V. 20, 64, 75
 Benghin V.V. 25, 55
 Berezutsky A.G. 29, 37
 Beshpalov P.A. 40
 Bessarab F.S. 64, 65, 69
 Bilin V.A. 22, 28
 Blagoveschenskaya N.F. 78
 Bojilova R. 16, 24
 Borchevkina O.P. 65
 Borisenko A.V. 58
 Borisova T.D. 78
 Borovlyova K.E. 51
 Bovin L.B. 91
 Budnikov P.A. 73

C

Chelpanov A.A. 56
 Chensky A.G. 69
 Chernyshov A.A. 40, 41, 63, 68, 81
 Chibranov A.A. 29, 33, 37

Chugunin D.V. 40, 41, 63, 68, 81

D

Danilov S.I. 88
 Deca J. 29
 Demekhov A.G. 34, 39, 41, 42, 45, 54
 Demin V.I. 95, 97, 98
 Demkin V.M. 95
 Despirak I.V. 15, 16, 17, 22, 24
 Divin A.V. 29, 33, 53
 Dmitriev A.V. 63
 Dmitriev P.B. 97
 Dobrokhotoy S.Yu. 47
 Dolenko S.A. 19
 Dorofeev D.A. 41

E

Efishov I.I. 21
 Egorov I.M. 78
 Elias A.G. 32
 Ermak V.M. 72, 85
 Ermakova E.N. 77
 Eselevich M.V. 57
 Eselevich V.G. 57

F

Fedorenko Yu.V. 39, 52, 82, 89, 90
 Fedorov E.N. 45, 51
 Feigin A.M. 95
 Filatov G.S. 65
 Filatov M.V. 21, 89, 90
 Frantsuzov V.A. 41

G

Gadzhiev I.M. 19
 Gavrilov B.G. 72, 85
 Gedalin M.E. 33
 Germanenko A.V. 57, 92, 93, 94, 98
 Grach V.S. 42
 Grankin D.V. 30, 96
 Grekhneva K.K. 76, 84
 Grigorenko E.E. 47
 Gromov S.V. 16, 17
 Gromova L.I. 15, 16, 17
 Guineva V. 16, 24, 95
 Gundorin V.I. 38
 Gushchin M.E. 38, 50, 76
 Gvozdevsky B.B. 92, 93, 94, 98

I

Ievenko I.B.	20, 30
Inostroza A.	15
Ismagilov V.S.	42
Iudin D.I.	94
Ivanov N.V.	78

J

Jin Ya.	73
--------------	----

K

Kalacheva N.V.	101
Kalishin A.S.	73, 78
Kamaletdinov S.R.	43
Kapustin V.E.	18
Karakotov R.R.	56
Karavaev Yu.A.	18
Karpov I.V.	65
Kashulin P.A.	101
Kasimova V.A.	53
Katkov A.N.	38
Khabarova O.V.	27
Khalipov V.L.	36, 88, 90
Kirillov A.S.	71, 74, 95, 98, 99
Kirpichev I.P.	15, 31
Kleimenova N.G.	15, 16, 17, 52
Klibanova Yu.Yu.	18
Klimenko M.V.	20, 21, 64, 75
Klimenko V.V.	64, 75
Klimov P.A.	62, 68
Klimushkin D.Yu.	46, 48, 50, 58
Knizhin S.I.	64
Kobanov N.I.	56
Kobelev P.G.	97
Kobyakova S.E.	88
Kochedykov V.V.	38
Kogay T.G.	27
Kolobov V.V.	22
Kolpak V.I.	81
Kopytenko Yu.A.	42
Korkina G.M.	86
Korobkov S.V.	38
Kotova D.S.	63
Kotova G.A.	36
Kovalev A.S.	78
Kozakova E.N.	72, 85
Kozelov B.V.	62, 68, 79, 80, 83, 98
Krashennnikov I.V.	91
Krasil'nikov A.A.	95
Kryakunova O.N.	56
Kubyshekin I.V.	53
Kulikov M.Yu.	95
Kulikov Yu.N.	99
Kulikov Y.Y.	95
Kupriyanov A.O.	81

Kurbatov G.A.	75, 85
Kurdyayeva Yu.A.	65
Kurikalova M.A.	18
Kuzmin A.K.	65
Kuznetsov A.A.	56
Kuznetsova M.V.	89

L

Lahari B.	61
Larchenko A.V.	72, 82, 89, 90
Lebed O.M.	82
Leonovich A.S.	36
Lissa D.	17
Losev A.V.	95
Loskutov K.N.	38
Lubchich A.A.	15, 16, 17, 22, 24, 34, 48, 54
Lubchich V.A.	82
Lukianova R.Yu.	65
Lukin A.S.	44
Luzhkovskiy A.A.	44

M

Mager P.N.	48, 58
Makarov G.A.	18
Makhmutov V.S.	96
Malova H.V.	27
Malysheva L.M.	15, 16, 17
Manninen J.	52
Marchuk R.A.	18
Maurchev E.A.	57, 92, 93, 94, 98
Mazur N.G.	45, 51
Melnik M.N.	27
Menshov Yu.V.	98
Merzlyi A.M.	27, 28, 65, 81, 83
Mikhailova O.S.	48
Mikhalev A.V.	18
Mikhalko E.A.	92, 93, 94
Miloch W.J.	63, 68, 73
Mingalev I.V.	27, 72, 83, 99
Mingalev O.V.	27, 72
Mingalev V.S.	99
Mironov A.D.	96
Mironova I.A.	30, 96
Miroshnichenko I.B.	37
Mishin V.V.	18
Mitrofanov V.M.	27
Mogilevsky M.M.	40, 41, 68, 81
Moiseenko I.L.	81
Moiseev I.A.	65, 83
Moiseev S.P.	76, 84
Murashov A.S.	62
Myagkova I.N.	19

N

Naiko D.Yu.	15, 31, 32
Namgaladze A.A.	66
Nechaev O.Yu.	25, 55
Neshchetkin G.M.	40
Nigussie M.	29
Nikiforov O.V.	65, 81
Nikishov V.V.	83
Nikitenko A.S.	52, 82, 90
Nikolayevskiy N.F.	56
Nikolenko A.S.	38
Niranjan K.	17

O

Ochoa J.A.	32
Orlov K.G.	99
Osedlo V.I.	55
Ovchinnikov I.L.	15, 31, 32

P

Padokhin A.M.	75, 85
Panchenko V.A.	87
Paramonik I.P.	29, 33, 53
Parfenov S.A.	66
Parkhomov V.A.	57
Parnikov S.G.	20, 30
Pasmanik D.L.	45
Pavlov I.A.	85
Pavlova V.A.	76, 84
Penskikh Yu.V.	18
Petlenko A.V.	42
Petrashchuk A.V.	58
Petrishchev M.S.	42
Petrova I.A.	38
Petrukovich A.A.	33, 41, 44, 65, 81
Pilgaev S.V.	23, 73, 82, 89, 90
Pilipenko V.A.	23, 26, 45, 51, 53, 71, 86
Pinto V.	15
Podgorny A.I.	58
Podgorny I.M.	58
Poklad Yu.V.	72, 85
Poletaev A.S.	69
Polianskaia E.A.	86
Popov V.Yu.	65
Popova T.A.	34, 54, 80
Posukh V.G.	37
Prasad D.S.V.V.D.	17
Prokhorov B.E.	66, 67, 78
Pulinets M.S.	15

R

Rakov V.A.	94
Ratovsky K.G.	20, 64, 75

Raykova L.	16, 24
Reeves G.D.	29
Revunov S.E.	25
Roldugin A.V.	15, 23, 73, 82, 89, 90
Romanova N.Yu.	86, 87
Rozanov E.V.	64, 96
Rozhdestvenskaya V.I.	59
Rozhdestvensky D.B.	59
Rubtsov A.V.	46, 50
Rumenskikh M.S.	29, 33, 37
Ryabov A.V.	77
Ryakhovskiy I.A.	72, 73, 85, 87
Ryskin V.G.	95

S

Sakharov Ya.A.	22, 26, 28, 81
Saraev R.E.	62, 88
Savina O.N.	40
Seifullina B.B.	56
Selivanov V.N.	22, 26, 28
Semenov V.S.	33, 53
Sergushin P.A.	42
Setsko P.V.	22, 27
Shagimuratov I.I.	21
Shagurin I.A.	65
Shaikhislamov I.F.	29, 33, 37
Shapovalova Yu.A.	82
Sharakin S.A.	62, 68, 88
Shchelkanov K.D.	62
Shelkov A.D.	67
Shi X.	49
Shindin A.V.	76, 84, 91
Shirokiy V.R.	19
Shklyar D.R.	38, 44, 46, 48
Shlyk N.S.	55, 56, 60
Shubin D.A.	46
Shubin V.N.	83
Shustov P.I.	33
Shuvalov S.D.	47
Shvetsov A.A.	95
Shvetsov D.S.	89
Sibeck D.G.	36
Sigaeva K.F.	62, 68
Sinevich A.A.	63, 68
Singh A.K.	23, 24
Singh P.	61
Smirnova E.S.	47
Smotrova E.E.	48
Soloviev A.A.	23, 71
Solovieva M.S.	86
Sondhiya D.K.	61
Sotnikov N.V.	15
Srivastava P.	23
Starilov A.S.	65
Stepanov A.E.	36, 88
Stepanova M.V.	15
Strikovskiy A.V.	38

Stukov D.A.	53
Sukhodolov T.V.	64
Surkov V.V.	53
Suvorova Z.V.	72, 83
Syssoev A.A.	94

T

Telegin V.A.	59, 87
Tepenitsyna N.Yu.	21
Tertyshnikov A.V.	35, 89
Timchenko A.V.	69, 85
Timofeev E.E.	100
Tinin M.V.	64
Titova E.E.	48, 80
Tkachev I.D.	69
Tonoian D.S.	49
Trefilova L.A.	97
Trofimov D.A.	62
Trushin P.A.	37
Tsepakina I.L.	56

U

Ugolnikov O.S.	70
Uliev V.A.	70
Uvarov I.A.	65
Uvarov V.M.	35, 89

V

Valev D.	16, 24
Vallinkoski M.K.	100
Varzar L.S.	75
Vasilyev R.V.	67, 69
Vasko I.Yu.	43, 44, 49
Venkatesh K.	17
Veretenenko S.V.	97
Vesnin A.M.	20
Virdi T.S.	100
Vladimirov R.D.	19
Vorobev A.V.	23, 71
Vorobeva G.R.	23, 71
Vorobjev V.G.	15, 25, 34, 80
Vybornov F.I.	76, 91

W

Wang R.	43, 49
Werner R.	16, 24, 95

Y

Yadav S.	24
Yagodkina O.I.	15, 25, 34
Yagova N.V.	28
Yahnina T.A.	34, 54

Yakimchuk A.I.	50
Yakimova G.A.	21
Yanakov A.T.	65, 81, 83
Yanke V.G.	97
Yashin I.V.	25
Yasyukevich Y.V.	20
Yurik R.Yu.	89
Yushkov B.Yu.	25

Z

Zaboronkova T.M.	50
Zagorskiy G.A.	78
Zaitsev I.V.	33, 53
Zakharov Yu.P.	29, 37
Zamogil'nyi D.Yu.	81
Zelenyi L.M.	27
Zhang X.-J.	39, 44, 49
Zhbankov G.A.	87
Zhong D.	29, 53
Zolotarev I.A.	25, 55
Zolotov O.V.	66, 77, 78
Zolotoy S.A.	28
Zossi B.S.	32
Zubov V.A.	96
Zudin I.Yu.	38, 50

