

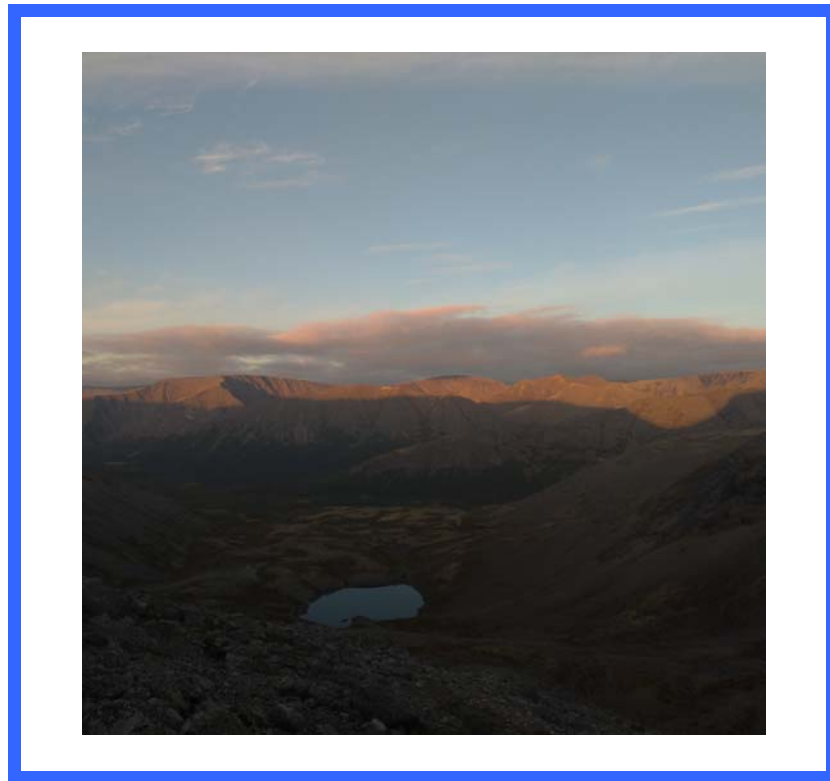
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE

PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

45th Annual Seminar
14 – 18 March 2022

Abstracts



PGI-22-01-142

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

Polar Geophysical Institute

PGI-22-01-142

PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

45th Annual Seminar

Abstracts

14 – 18 March 2022

Apatity
2022

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, 2022

CONTENTS

SESSION 1. GEOMAGNETIC STORMS AND SUBSTORMS

R.N. Boroyev, M.S. Vasiliev	Study of auroral activity according to the SME index at the main phase of magnetic storms during CIR and ICME events	11
I.V. Despirak, N.G. Kleimenova, L.M. Malysheva, L.I. Gromova, A.V. Roldugin, A.A. Lubchich	Svalbard polar magnetic substorms and their mid-latitude signature	11
L.I. Gromova, S.V. Gromov, N.G. Kleimenova, L.M. Malysheva	Polar magnetic effects of the initial phase of a magnetic storm	11
N.G. Kleimenova, I.V. Despirak, L.M. Malysheva, L.I. Gromova, A.A. Lubchich, V. Guineva, R. Werner	Polar convection substorms and their possible mid-latitude effects: Case study	12
V.V. Mishin, Yu. Yu. Klibanova, A.V. Mikhalev, Yu.V. Penskiikh, R.A. Marchuk	Bursts of geomagnetic pulsations and the night atmosphere airglow caused by solar wind pressure changes during the magnetospheric storm	12
Shin-ichiro Oyama	What can we learn from the quiet high-latitude ionosphere?	13
V.A. Pilipenko, O.V. Kozyreva, Ya.A. Sakharov	Is the global MHD modeling of the magnetosphere adequate for the prediction of geomagnetically induced currents?	13
P.V. Setsko, I.V. Despirak, Ya.A. Sakharov, V.A. Bilin, V.N. Selivanov	Geomagnetically induced currents during supersubstorms 7-8 September 2017	14
I.I. Shagimuratov, I.I. Efishov, M.V. Filatov, I.E. Zakharenkova, N.Yu. Tepenitsyna, G.A. Yakimova	Seasonal features of GPS phase fluctuations occurrence and positioning errors in polar and auroral ionosphere	14
P.I. Shustov, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Model of high-energy electron flows in GLONASS orbits	15
R. Werner, V. Guineva, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, I.V. Despirak, A.A. Lubchich, N.G. Kleimenova, P.V. Setsko	Mid-latitude response to auroral substorms in magnetic field variations at the Bulgarian station Panagjurishte	15
В.Б. Белаховский, В.А. Пилипенко, Я.А. Сахаров, В.Н. Селиванов	Рост геомагнитно-индуцированных токов во время СМЕ и CIR магнитных бурь в 2021 году	16
И.И. Ефишов, И.И. Шагимуратов, Г.А. Якимова, И.Е. Захаренкова, Н.Ю. Тепенитчина, М.В. Филатов	Ионосферные эффекты геомагнитной бури 4 ноября 2021 года на средних и высоких широтах в европейском регионе	16
В.А. Пархомов, В.Г. Еселевич, М.В. Еселевич, Б. Цэгмэд, Л.В. Казанцев	Геоэффективность диамагнитных структур эруптивных протуберанцев (ДСЭП)	17

С.Е. Ревунов, О.М. Бархатова, В.Г. Воробьев, А.Е. Барсукова	Прогноз изолированных суббурь, вызываемых солнечными плазменными потоками	17
Я.А. Сахаров, С.А. Золотой, А.М. Мёрзлый, А.М. Садовский, А.А. Петрукович, А.Т. Янаков, О.В. Никифоров, В.Н. Селиванов	Оценка воздействия магнитосферных возмущений на энергетические системы в средних широтах	18
М.В. Филатов, С.В. Пильгаев, А.С. Никитенко, А.В. Ларченко, Б.В. Козелов, Ю.В. Федоренко, А.В. Ролдугин, П.А. Будников, И.И. Шагимуратов	Наблюдения за гелиогеофизической обстановкой в 2021 году средствами сцинтилляционного GNSS приемника установленного в г. Апатиты	19
Д.А. Шевелева, С.В. Апатенков, Я.А. Сахаров, Е.И. Гордеев	Характеристики солнечного ветра и геомагнитных условий при экстремальных ГИТ на станции Выходной (2012-2018)	19

SESSION 2. FIELDS, CURRENTS, PARTICLES IN THE MAGNETOSPHERE

Е.Е. Antonova, I.P. Kirpichev, I.L. Ovchinnikov, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, N.V. Sotnikov, M.S. Pulnits, M.V. Stepanova	Problems of magnetospheric dynamics and structure of magnetospheric magnetic field	20
I.B. Ievenko, S.G. Parnikov	Relationship of the SAR arcs height to solar activity. The observation results at the Yakutsk meridian.	20
V.V. Kalegaev, N.A. Vlasova, E.I. Efimkina, I.S. Nazarkov	Magnetospheric magnetic field and outer radiation belt variations during 26.10-11.11 2015	21
P.A. Klimov, G.I. Antonyuk, V.V. Benghin, A.R. Ivanova, V.V. Kalegaev, K.F. Sigaeva, N.A. Vlasova, I.A. Zolotarev	Near UV pulsating aurora and high energy electrons precipitations measured by the Lomonosov and METEOR satellites	21
A.S. Lukin, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Machine learning technique for searching of motion integrals in the magnetotail current sheet equilibrium	22
I.P. Paramonik, A.V. Divin, I.V. Zaitsev, V.S. Semenov	Automatic classification of reconnection regions in Particle-in-Cell simulations by means a Gaussian mixture model	22
I.P. Paramonik, A.V. Divin, I.V. Zaitsev, V.S. Semenov	Performance of the Gaussian mixture model method in determining parameters of a multibeam distribution function	23
J.K. Shi, Z.Y. Zhang, K. Torkar, Z.W. Cheng	An investigation on Field Aligned Electrons distribution around cusp region	23
V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, Е.Е. Antonova	Latitudinal structure of precipitation in the dayside polar cusp	24
О.Н. Крякунова, А.В. Белов, А.Ф. Яковец, А.А. Абуниев, И.Л. Цепакина, Б.Б. Сейфуллина, М.А. Абунина, Н.Ф. Николаевский, Н.С. Шлык	Статистическая связь суточного флюенса магнитосферных релятивистских электронов с межпланетными и геомагнитными характеристиками	24

О.В. Мингалев, П.В. Сецко,
М.Н. Мельник, А.В. Артемьев Моделирование токового слоя в хвосте магнитосферы Юпитера 25

О.В. Мингалев, П.В. Сецко,
М.Н. Мельник, И.В. Мингалев,
Х.В. Малова, А.М. Мерзлый,
Л.М. Зелёный Возможность образования токового слоя
ближнего хвоста магнитосферы
потоками ионов кислорода из ионосферы 26

SESSION 3. WAVES, WAVE-PARTICLE INTERACTION

A.V. Artemyev Sub-relativistic microbursts produced by electron
nonlinear Landau resonance 27

V.B. Belakhovsky, V.A. Pilipenko,
E.E. Antonova, Y. Miyoshi Different mechanisms of the electron acceleration
up to relativistic energies and Arase and GOES satellite observations 27

V.A. Frantsuzov, A.V. Artemyev,
P.I. Shustov, A.A. Petrukovich Electron diffusion by intense whistler-mode waves 28

V.S. Grach, A. Artemyev,
A.G. Demekhov, X.-J. Zhang Relativistic electron precipitation by EMIC waves:
Evidences of importance of nonlinear resonant effects 28

S. Kamaletdinov, I. Vasko,
I. Hutchinson, A. Artemyev,
A. Lotekar, F. Mozer How do slow electron holes persist in the Earth's magnetosphere 29

A.S. Nikitenko, Yu.V. Fedorenko,
J. Manninen, N.G. Kleimenova,
M.V. Filatov Latitudinal dynamics of the auroral hiss occurrence during substorm:
Case study 29

A.V. Rubtsov, M. Nosé,
A. Matsuoka, Y. Miyoshi An attempt to cluster Pc4-5 waves by magnetic field component
amplitudes using Arase satellite data 30

V.V. Safargaleev, A.E. Kozlovsky,
T. Raita Pc1 pulsations of unexpectedly high (more than 3 Hz) frequency.
First results of the study. 30

I.A. Shorstkii Electromagnetic absorber composite for a radar protection
from auroral influence 31

E.E. Smotrova, O.S. Mikhailova,
P.N. Mager Resonance interaction between ULF-wave and electrons,
observed by spacecraft Van Allen Probe A 31

E.E. Titova, D.R. Shklyar,
J. Manninen Broadband whistler waves and differential electron fluxes
in the equatorial region of the magnetosphere behind the plasmopause
during substorm injections 31

D.S. Tonoian, M.M. Shevelev,
A.V. Artemyev Effect of the resonance broadening on relativistic electron scattering
by EMIC waves 32

В.Б. Белаховский,
В.А. Пилипенко Исследование физической природы Pi3 пульсации
с использованием одновременных наземных
и спутниковых наблюдений 32

А.А. Власов, А.С. Леонович,
Д.А. Козлов Поток сверхтепловых электронов, ускоряемых в ионосферу
кинетическими альфвеновскими волнами
и возможность формирования SAR arcs 33

А.С. Никитенко, Ю.В. Федоренко	Моделирование пространственной структуры волнового поля аврорального хисса и сравнение с результатами наземных наблюдений	34
З.В. Суворова, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, О.И. Ахметов, А.М. Мёрзлый, В.Ю. Попов	Взаимодействие метровых и декаметровых радиоволн с ионосферными неоднородностями	34
В.Л. Халипов, А.С. Леонович, Д. Сайбек	Волновая турбулентность как физический процесс, порождающий красные дуги с экстремальными значениями интенсивности свечения 20-150 кР	35

SESSION 4. THE SUN, SOLAR WIND, COSMIC RAYS

Yu.V. Balabin	Analysis of the anomalous solar cosmic ray event GLE66 (29.10.2003)	36
Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky	Ground Level Event on October 28, 2021	36
Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky, L.I. Schur	Muon telescope in Barentsburg	36
E.A. Mauricev, Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko	The method for converting the SEP transport modeling results through the Earth's atmosphere into the effective and the equivalent radiation doses	37
E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko	A relation between the atmosphere layer mass fraction and the output results in the RUSCOSMICS model	37
A.V. Moldavanov	Entropy variation at long-lasting stochastic coupling of magnetosphere with solar wind	37
A.I. Podgorny, I.M. Podgorny, A.V. Borisenko	Types of magnetic field configurations in which energy accumulation for flares is possible according to the results of MHD simulation above the active region in the real scale of time	38
D.B. Rozhdestvensky, V.I. Rozhdestvenskaya, V.A. Telegin	Spectral analysis of solar activity and ground temperature	39
P. Srivastava, A.K. Singh	Observational properties of Coronal Mass Ejections (CMEs) associated with the soft X-rays and geo-effectiveness during solar cycles 23 and 24	40
I.Y. Vasko	Kinetic-scale current sheets in the solar wind at 1 au	40
М.А. Абунина, Н.С. Шлык, А.В. Белов, А.А. Абунин, О.Н. Крякунова, Б.Б. Сейфуллина, И.Л. Цепаккина	Исследование возрастных потоков электронов магнитосферного происхождения с энергией >2 МэВ в 2009 году	41

Н.А. Бархатов, Е.А. Ревунова, А.Е. Барсукова	Сопоставление низкочастотных характеристик модельного спирального магнитного облака солнечного ветра с наблюдаемыми возмущениями	41
А.В. Белов, Н.С. Шлык, М.А. Абунина, А.А. Абунин	Характеристики Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений, зарегистрированных на космических аппаратах Helios	42
В.В. Сафаргалеев	Оценка времени распространения скачка давления солнечного ветра между ударной волной и магнитопаузой по одновременным спутниковым и наземным наблюдениям	43

SESSION 5. IONOSPHERE AND UPPER ATMOSPHERE

S.Z. Bekker	Numerical modeling of the lower ionosphere response to the X-ray flares of different classes	44
A.A. Belov, P.A. Klimov, B.V. Kozelov, A.S. Murashov, A.V. Roldugin, S.A. Sharakin, D.A. Trofimov	Upgraded optical complex in “Verkhnetulomsky” observatory: equipment and first results	44
S.M. Cherniakov	Model estimation of total electron content calculation by the method of spaced reception of satellite signals	45
V.V. Denisenko, M. Rycroft, R.G. Harrison	A mathematical model of the global ionospheric electric field generated by thunderstorms	45
H. Gao, J.Y. Xu, G.M. Chen, Y.J. Zhu	The effect of solar proton events on the airglows and ozone and atomic oxygen concentrations	46
V.E. Ivanov, Zh.V. Dashkevich	Efficiencies of emission excitation and formation of electron concentration in auroras	46
M.V. Klimenko, V.V. Klimenko, A.V. Divin, E.I. Gordeev	Modeling of magnetosphere-ionosphere coupling using GSM TIP and GAMERA	47
V.V. Klimenko, V.V. Denisenko, M.V. Klimenko, M.N. Melnik	Sources and modeling of ionospheric electric field using the new version of Global Self-Consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonosphere	47
E.N. Kozakova, I.A. Ryakhovskiy, Yu.V. Poklad, B.G. Gavrilov	Experimental study of the state of the lower night ionosphere according to the amplitude characteristics of electromagnetic radiation in the VLF range	48
B.V. Kozelov, A.V. Roldugin	Altitudinal dynamics of auroral structures at the pole boundary of the auroral oval	49
Yu.A. Kurdyayeva, S.P. Kshevetskii	Features of the propagation of acoustic-gravity waves generated by tropospheric heat sources	49
S.O. Lomotey, J.R. Souza, C.M. Wrasse, H. Takahashi, D. Barros, C.A.O.B. Figueiredo, P. Essien, T.T. Ayorinde, F. Egito, N.A.B. Klutse, A.V. Bilibio	Temporal and longitudinal climatological studies of the equatorial ionization anomaly observed by ground-based GNSS receiver networks over South America	49

R.A. Marchuk, A.S. Potapov, V.V. Mishin	Ultra-short-period pulses in ULF oscillations of the geomagnetic field and their relationship with thunderstorm activity	50
A.A. Namgaladze, M.V. Rybakov	The earthquakes and ionosphere physics coupling	51
V.D. Nikolaeva, E.I. Gordeev, A.V. Nikolaev, D.D. Rogov, O.A. Troshichev	Auroral Ionosphere Model with PC index as an input parameter	51
O.M. Odeyemi, S.O. Ikubanni, J.O. Adeniyi, B.O. Adebisin, S.J. Adebisi, O.O. Ogunlesi, O.E. Odeyemi	Diurnal and Seasonal GPS-TEC Morphology in the African Equatorial Ionization Anomaly (EIA) region during High Solar Activity	52
A.V. Oinats, M.V. Tolstikov	Study of ionospheric irregularities using HF radars	52
A.M. Padokhin, E.S. Andreeva, M.O. Nazrenko	Revisiting phase-difference approach for GNSS global ionospheric mapping	53
K.G. Ratovsky, I.V. Medvedeva	Dependence of ionospheric variability on local time, season and geomagnetic activity level	53
I.A. Ryakhovskiy, Y.V. Poklad, B.G. Gavrilov	TEC changes caused by X-class solar flares 6 and 10 September 2017	53
A.A. Sinevich, A.A. Chernyshov, D.V. Chugunin, A.V. Oinats, W.J. Miloch, M.M. Mogilevsky	A multi-instrumental approach to the study of the small-scale structure of a polarization jet	54
A.V. Timchenko, F.S. Bessarab, V.V. Denisenko	Correlation of TEC variations at magnetically conjugated points	54
О.И. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, В.Б. Белаховский, З.В. Суворова, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.С. Кириллов	Распространение электромагнитных волн ОНЧ диапазона в области высоких широт во время событий GLE	55
В.Б. Белаховский, П.А. Будников, А.Д. Гомонов, С.В. Пильгаев, А.А. Мочалов, В.А. Билин	Возмущения ГНСС сигналов во время магнитной бури 3-5 ноября 2021 года по данным наблюдений на Кольском полуострове	55
К.В. Белюченко, М.В. Клименко, В.В. Клименко, К.Г. Ратовский	Связь модельных возмущений параметров термосферы и ионосферы с вариациями АЕ индекса во время геомагнитной бури в марте 2015 года	56
В.Н. Боков, И.А. Носиков, М.В. Клименко, А.М. Падохин, Ф.С. Бессараб	Моделирование распространения коротких радиоволн в ионосфере Земли в приближении геометрической оптики: методы и подходы	57
А.Д. Гомонов, А.С. Калишин, А.М. Мёрзлый, И.В. Мингалев, И.А. Моисеев, О.В. Никифоров, Я.А. Сахаров, З.В. Суворова, С.М. Черняков, В.Н. Шубин, А.Т. Янаков	Особенности характеристик зон засветки односкачковыми лучевыми траекториями в высоких широтах в 24-м цикле солнечной активности в период магнитных возмущений	57
Е.Н. Ермакова, Д.С. Котик, А.В. Рябов	Определение условий для уверенного приема искусственных УНЧ сигналов в различных геофизических условиях	58

О.В. Золотов, М.А. Князева, Ю.В. Романовская	pyFIRI - свободная Python-реализация модели FIRI-2018 для невозмущенной неавроральной D-области ионосферы Земли	58
Д.В. Кудин, Н.В. Ягова, В.А. Пилипенко	Определение особенностей мелкомасштабных авроральных структур по данным спутниковых наблюдений SWARM	59
А.О. Куприянов, Д.Ю. Алибин, Д.Ю. Замогильный, А.М. Мёрзлый, О.В. Никифоров, А.А. Петрукович, Я.А. Сахаров, А.А. Чернышов, А.Т. Янаков	Основные результаты применения мультимастотного приемника ГНСС для оценки параметров высокоширотной ионосферы на архипелаге Земля Франца Иосифа в марте 2021 года	60
А.В. Ларченко, А.С. Никитенко, О.М. Лебедь, С.В. Пильгаев, Ю.В. Федоренко	Особенности возбуждения волновода Земля-ионосфера на частотах выше первого поперечного резонанса	60
В.А. Любич, Ю.А. Шаповалова	Оценка применимости импедансного подхода в высоких широтах вблизи магнитосферных источников естественного электромагнитного поля	61
Э.Г. Мирмович	Термосферно-ионосферные возмущения, опережающие магнитные, как краткосрочные предвестники прогноза магнитных бурь	61
И.А. Павлов, А.М. Падохин, Е.С. Андреева, С.А. Калашникова	Низкоорбитальная томография ионосферы по разнородным данным дистанционного зондирования	62
С.В. Пильгаев, А.В. Ларченко, М.В. Филатов, Ю.В. Федоренко, А.С. Никитенко, Б.В. Козелов	Результаты измерений компонент электромагнитного поля СНЧ/ОНЧ диапазона на острове Александры архипелага Земля Франца-Иосифа	63
Ю.В. Поклад, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, И.А. Ряховский	Изменения частот Шумановских резонансов во время рентгеновской вспышки X8.2 класса 10 сентября 2017 года	63
Д.Д. Рогов	Многолучевость распространения радиоволн ДКМ диапазона на авроральной радиотрассе в Арктической зоне РФ	64
Д.Д. Рогов, В.А. Ульев	Проявление эффекта полуденного восстановления в событии ППШ по данным ионосферных наблюдений в Арктической зоне РФ	64
Н.Ю. Романова, В.А. Телегин, В.А. Панченко, Г.А. Жбанков	Ориентация поперечной анизотропии и направление дрейфа	65
М.В. Рыбаков	Исследование субавроральной ионосферы в районе магнитно-ионосферной обсерватории Воейково посредством цифрового ионозонда CADI	65
В.Л. Халипов, А.С. Леонович, Д. Сайбек	Каталог стабильных красных дуг Даниэля Барбье, зарегистрированных во время МГГ 1957-1959 г. и геофизические условия при их развитии	66

SESSION 6. LOW ATMOSPHERE, OZONE

A.V. Losev, V.V. Maksimova, A.G. Mahura, P.V. Amosov, V.I. Demin	Temperature-wind regimes of the tropo- and stratospheres over the Kola Peninsula (July 2017)	67
--	--	----

P.O. Pikulina, I.A. Mironova, E.V. Rozanov, T.V. Sukhodolov, A.V. Karagodin	The reaction of the upper atmosphere to solar activity in September 2017	68
A.S. Kirillov, R. Werner, V. Guineva	Electronic kinetics of molecular nitrogen in the middle atmospheres of Titan and Earth during precipitations of high-energetic particles	68
Y.Y. Kulikov	Microwave observations extremes variations of the tropospheric water vapour and mesospheric ozone	68
Y.Y. Kulikov, A.F. Andriyanov, V.B. Belakhovsky, V.I. Demin, V.M. Demkin, A.S. Kirillov, A.V. Losev, A.V. Poberovsky, V.G. Ryskin	Simultaneous microwave monitoring the diurnal variations of the mesospheric ozone on level 60 km in December 2021 on Apatity and Peterhof	69
E.V. Rozanov	Ozon layer in the past and future	69
О.В. Антоненко, А.С. Кириллов	Анализ отклика свечения молекулярного кислорода на вариации температуры средней и верхней атмосферы в зависимости от солнечной активности и сезона на средних широтах Земли	70
В.И. Демин	Создание однородного ряда среднемесячных температур воздуха и оценка климатических изменений в Апатитах (Мурманская область)	70
В.И. Демин, Б.В. Козелов	Особенности вертикального распределения температуры воздуха в Апатитах в различные сезоны	71
А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Кинетика N ₂ и O ₂ в средней атмосфере Земли во время событий GLE	71
И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, В.С. Мингалев	Численное моделирование циркуляции нижней и средней антарктической атмосферы и влияния на нее земного рельефа в летних условиях	72
К.Г. Орлов, И.В. Мингалев, Е.А. Федотова, В.С. Мингалев	Системы внутренних гравитационных волн в средней и верхней атмосфере Земли, порожденные обтеканием горных массивов течениями в нижней тропосфере	73
Е.А. Федотова, И.В. Мингалев, К.Г. Орлов	Результаты тестирования радиационного блока модели общей циркуляции атмосферы Земли	73
SESSION 7. HELIOBIOSPHERE		
P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva	Association of solar spots and CME's with diurnal rhythm disturbance in meteo sensitive plants and with randomness lack events in coin-toss experiments	74
Э.Г. Мирмович	Потенциальные источники опасностей и чрезвычайных ситуаций гелиогеофизического характера	74
Г.Д. Пак, Н.М. Салихов	Геофизические и биологические эффекты солнечного затмения 1 августа 2008 года	75
Author index		78

Study of auroral activity according to the SME index at the main phase of magnetic storms during CIR and ICME events

R.N. Boroyev, M.S. Vasiliev

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

In the present paper the relationship of the SME index both with the characteristics of a magnetic storm and the parameters of the interplanetary medium during the main phase of magnetic storms, induced by the CIR and ICME events, is studied. Over the period 1990–2017, 107 magnetic storms driven by (64) CIR and (43) ICME events have been selected. It is shown that, in contrast to AE and Kp, a stronger correlation is observed between the average value of the SME index (SME_{aver}) and the parameters of the interplanetary medium at the main phase of magnetic storms. The close values of the correlation coefficients between SME_{aver} and the SW electric field were obtained for CIR and ICME events.

Svalbard polar magnetic substorms and their mid-latitude signature

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

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

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

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

Based on the data of the SuperMAG and IMAGE network magnetometers, observations of aurora in the Svalbard archipelago, and data from the AMPERE project satellites, an analysis of the polar substorms observed in 2010–2012 was made. We compared the polar substorms recorded at Svalbard with the magnetic data from the mid-latitude stations located at the same meridian, e.g., Borok (BOX) and Kiev (KIV). We found that most number of polar substorms under consideration were accompanied by the well-defined mid-latitude positive magnetic bays with the amplitudes of $\sim 15\text{--}40$ nT in the X-component of the geomagnetic field. These positive magnetic bays are usually interpreted as the evidence of the substorm West Travelling Surge (WTS) development due to the dipolarization process. Thus, it allows us to conclude that the source of polar substorms is located on closed magnetic field lines. The analysis of some events of the selected polar substorms is presented.

Polar magnetic effects of the initial phase of a magnetic storm

L.I. Gromova¹, S.V. Gromov¹, N.G. Kleimenova^{2,3}, L.M. Malysheva²

¹*IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia*

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

³*Space Research Institute, Moscow, Russia*

The storm initial phase often accompanied by strong variations of IMF and solar wind parameters that leads to significant geomagnetic disturbances. We studied geomagnetic effects of the initial phase of the first magnetic storm (20 April 2020) of the new cycle of the solar activity. It was found that high-latitude geomagnetic disturbances were concentrated at dayside of the polar latitudes above $\sim 65\text{--}70^\circ$ Mlat when the IMF Bz was positive. These magnetic disturbances were controlled by the IMF By and demonstrated the generation of the large-scale magnetic vortex structures. The vortices could be interpreted as an indicator of the local enhancement of the high-latitude Field

Geomagnetic storms and substorms

Aliened Currents (FACs). The similar situation was found as well during the initial phase of some other magnetic storms as 24 Apr 2012, 17 Aug 2012, 23 May 2013: there were revealed the local vortex structures in the morning and daytime sectors of the high latitude ($>65^\circ$) developed under an enhancement of the solar wind dynamic pressure. That was confirmed by the analysis of the global maps of the ground-based observations from ~320 stations of SuperMAG project and from the simultaneous measurements on 66 ionospheric satellites of the AMPERE project. The vortex structures demonstrated activation of polar latitude FACs, some of which may attributed to the NBZ-system caused by influence of the development of Chapman-Ferraro current system on the magnetopause by increasing of the solar wind dynamic pressure under the northward IMF.

Polar convection substorms and their possible mid-latitude effects: Case study

N.G. Kleimenova¹, I.V. Despirak², L.M. Malysheva¹, L.I. Gromova³, A.A. Lubchich², V. Guineva⁴, R. Werner⁴

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

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

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

⁴*Space Research and Technology Institute, BAS, Stara Zagora Department, Bulgaria*

The study of the morning negative bay occurrence at high magnetic latitudes (above ~70 MLAT) demonstrated that the majority of such events, observed under southward IMF, could be attributed to a developing of the convection substorms. This was confirmed by the results of the analysis of the planetary distribution of the magnetic disturbances measured above the ionosphere by 66 simultaneous satellites in frame of the AMPERE project. It was shown that in the selected events, the morning high-latitude electrojet was accompanied by the simultaneous afternoon-evening electrojet and magnetic bays at auroral and polar latitudes, under the absence of disturbances in the near-midnight region. In the studied time intervals, there were no auroral riometer absorption. We found that these negative convection bays (the morning as well as the evening ones) are usually did not accompanied by pronounced mid-latitude effects in positive magnetic bay occurrence. That could be interpreted as the absence of a substorm current wedge development. As example, the similar situation was observed on 17 June 2013 and on 17 February 2017. However, when the convection substorms occurred accompanying by ordinary substorms, the positive mid-latitude magnetic bays frequently recorded in the evening sector, as, e.g., on 23 October 2013 or 25 February 2016. Contrary to that, the morning polar magnetic bays, recorded under the northward IMF, could be associated with an eastward expansion of, so called, daytime polar substorms, which are appeared near the local noon and controlled by the By IMF.

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

Bursts of geomagnetic pulsations and the night atmosphere airglow caused by solar wind pressure changes during the magnetospheric storm

V.V. Mishin¹, Yu.Yu. Klibanova², A.V. Mikhalev¹, Yu.V. Penskiikh¹, R.A. Marchuk¹

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

²*A.A. Ezhevsky Federal State Budgetary Educational Institute of Higher Education Irkutsk State Agrarian University, Irkutsk, Russia*

We report on the dynamics of geomagnetic disturbances and optical airglow of the night atmosphere during the 21 October 2001 strong magnetospheric storm. Three 1.5-hour intervals of the solar wind (SW) dynamic pressure changes by an order of magnitude were observed, which were synchronously accompanied by substorm activations, bursts of broadband geomagnetic pulsations and of atmospheric airglow emissions 557.7 nm and 630.0 nm at middle

latitudes. During these bursts, the southern boundary of the region of field-aligned currents and the auroral oval approached the observation points, but was 5–10 degrees north of them. Possible mechanisms of amplification of broadband pulsations and airglow associated with the effects of SW pressure changes are discussed: substorm activations, changes of field-aligned currents and ionospheric currents, precipitation of both energetic and thermal/superthermal electrons. Features of the high-frequency part of the spectrum of pulsations and their spatial distribution are associated with the properties of the ionospheric Alfvén resonator and ionospheric MHD waveguide.

The work was financially supported by Basic Research program II.16.

The experimental data was obtained using the equipment of Shared Equipment Center “Angara” (http://ckp-angara.iszf.irk.ru/index_en.html).

What can we learn from the quiet high-latitude ionosphere?

Shin-ichiro Oyama^{1,2,3}

¹*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*

²*National Institute of Polar Research, Japan*

³*Space Physics and Astronomy Research Unit, University of Oulu, Oulu, Finland*

The auroral oval never disappears even for periods of very low geomagnetic activity. This suggests that magnetospheric energies more or less should be dissipated in the polar ionosphere and cause corresponding disturbances in the ionosphere and thermosphere. The impacts on the upper atmosphere are likely insignificant to change in a global scale but quiet-time measurements may give a new insight to investigate mechanisms working in the M-I-T coupled system, which might be masked by many simultaneous processes during geomagnetically disturbed periods. This presentation will introduce two results made of quiet-time measurements with camera, Fabry-Perot interferometer and Swarm to introduce what we can learn from the quiet high-latitude ionosphere.

Is the global MHD modeling of the magnetosphere adequate for the prediction of geomagnetically induced currents?

V.A. Pilipenko^{1,2}, O.V. Kozyreva^{1,2}, Ya.A. Sakharov^{1,3}

¹*Geophysical Center, Moscow (space.soliton@gmail.com)*

²*Institute of Physics of the Earth, Moscow (kozyreva@ifz.ru)*

³*Polar Geophysical Institute, Apatity (sakharov@pgia.ru)*

The goal of the ULF wave modeling challenge campaign for 27-28 May 2017 storm involves running various global MHD simulation codes with realistic solar wind driving conditions, and then comparing the resulting global ULF wave properties with actual observations. During the magnetic storm on May 27-28, 2017 the magnetic disturbance gradually increased and then slowly decayed. However, during the maximal disturbance magnetic field variations became more chaotic. During this period intense irregular Pi3 pulsations were superposed on the magnetic bay. These pulsations are not quasi-sinusoidal waves like typical Pc5 pulsations; but they are rather quasi-periodic sequence of magnetic impulses with time scales ~10-15 min. During this period with elevated Pi3 activity very high values of GIC were recorded (up to ~50 Amperes per node) in the electric power transmission line at the Kola Peninsula. Here we consider the contribution of geomagnetic disturbances to the rapid growth of GIC during the 27-28 May 2017 strong geomagnetic storm and examine a feasibility of MHD global simulation to predict the occurrence of Pi3 pulsations, and consequently GICs. Such comparison has proved that the magnetic field variability predicted by MHD modeling is more than order of magnitude less than that observed. The current MHD model can successfully predict the response of the magnetosphere to the interplanetary shocks and large-scale variations of IMF and solar wind during magnetic storms. However, such modeling failed to reproduce the small-

Geomagnetic storms and substorms

scale features of magnetic storm/substorm – Pi3 pulsations. Therefore, the variability of geomagnetic field predicted by MHD modeling turn out to be more than order of magnitude less than observed one. Thus, so far MHD models are inadequate for the GIC burst prediction.

The study is supported by the grant 21-77-30010 from the Russian Science Foundation.

Geomagnetically induced currents during supersubstorms 7-8 September 2017

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

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Northern Energetics Research Centre KSC RAS, Apatity, Russia*

Study the connection between a supersubstorm (SSS) development and the geomagnetically induced currents (GICs) appearance on the Karelian-Kola power line and the Finnish pipeline, which located in subauroral and auroral zone, is aimed to understand causes of GICs. In this report, we continue compare the GICs appearance data from EURISGIC system (Vykhodnoy, Revda, Kondopoga) and Manstala station with the substorm appearance data from magnetometers of IMAGE and SuperMAG networks. The cases of GICs during the two time intervals were studied: 1) from 23 to 04 UT on 7-8 September 2017 when first strong SSS with a peak value SML-index <-3500 nT was observed and 2) from 12 to 19 UT 8 September 2017 when second SSS with SML-index = -2500 nT with two intense substorms at ~15 UT and ~18UT (SML ~ 1500 nT) was observed. It is shown that most intense GICs was observed during first SSS, when Vykhodnoy, Revda and Kondopoga stations were located in night sector, and second intense substorm, when these stations were located in late-evening sector. Good agreement is also shown between our observations and results of [Clilverd *et al.*, 2021], which considered GICs on the same date at TOR (Scotland) and HWB (New Zealand) stations. In addition, a good agreement is shown between profiles of GICs and W_p and IL indices.

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

Seasonal features of GPS phase fluctuations occurrence and positioning errors in polar and auroral ionosphere

I.I. Shagimuratov¹, I.I. Efifshov¹, M.V. Filatov², I.E. Zakharenkova¹, N.Yu. Tepenitsyna¹, and G.A. Yakimova¹

¹*West Department IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

E-mail: shagimuratov@mail.ru

In this work the analysis of seasonal occurrence of phase fluctuations of GPS signals and their impact on the Precise Point Positioning (PPP) errors at high latitudes is presented. The fluctuation activity was evaluated with the GPS-based indices ROT and ROTI. We used GPS observations of polar Ny-Ålesund (78.9°N, 11.9°E; 76.6°N corrected geomagnetic latitude (MLAT)) and auroral Tromsø (69.60°N, 19.20°E; MLAT 66.9°N) stations in March, June, October and December 2015. It is found that in diurnal distribution of TEC fluctuations at NYA1 maximal occurrence were registered around magnetic noon except December, when some increase of fluctuations was occurred near MLT. While at Tromsø the maximum occurrence was occurred around MLT in all season. In seasonal dependences of the phase fluctuations occurrence at Ny-Ålesund was highest in the March and October, and lowest in the June. At Tromsø the maximal occurrence of fluctuations was in the October and December, and lowest in the June. The positioning errors were determined using the GIPSY-OASIS software (<http://apps.gdgps.net>). The PPP is the processing strategy of the single receiver for GNSS observations that enables the efficient computation of the high-quality coordinates. The errors were registered as short term surge with duration 2-5 min, which associated

with occurrence of TEC fluctuations. In diurnal distribution of positioning errors at Ny-Ålesund PPP errors exceeding 1 m took place in day time sector. The lower occurrences of errors were also registered in December. In June and October the difference in diurnal and seasonal of error distribution is notable. At Tromsø behavior of positioning errors is similar with ROTI distribution.

Model of High-Energy Electron Flows in GLONASS Orbits

P.I. Shustov^{1,2}, A.V. Artemyev^{1,3}, A.A. Petrukovich¹

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

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

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

In this work, we construct a statistical model of high-energy electron flows at the GLONASS orbital height. For this empirical model, we use observations of electron fluxes on satellites of the Radiation Belt Storm Probes (RBSP) space mission from 2012 to 2019 years. The measured fluxes are projected along the Earth's magnetic field lines from RBSP orbital height to the height of interest (in this case – GLONASS orbital height). The projection is carried out using an empirical model of the Earth's magnetic field. The input parameters of this model are the geomagnetic indices (e.g., SymH index). Further analysis of the electron fluxes projected onto a specific orbital height makes it possible to obtain the probability functions of the amplitudes of the electron fluxes depending on the electron energies and geomagnetic indices. This work presents analytical approximations of these probability functions.

Mid-latitude response to auroral substorms in magnetic field variations at the Bulgarian station Panagjurishte

R. Werner¹, V. Guineva¹, A. Atanassov¹, R. Bojilova², L. Raykova¹, D. Valev¹, I.V. Despirak³, A.A. Lubchich³, N.G. Kleimenova⁴, P.V. Setsko³

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

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

³*Polar Geophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

⁴*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

The Bulgarian station Panagjurishte- (PAG, the corrected geomagnetic coordinates 42.7 N, 98.4 E) is located a little westward from the average location of the geomagnetic meridian of Scandinavian chain IMAGE from PPN (47.1 MLAT) to NAL (76.6 MLAT). The INTERMAGNET magnetometer network has collected the 1-min digital data from the Panagjurishte station since 2007. The data of the perturbations in X and Y magnetic field components as well as the horizontal power at Panagjurishte have been computed up to 2020 basing on the algorithms developed by Chu and McPherron. The details of the applied technique are briefly described.

The occurrence of the positive magnetic bays at PAG with the amplitude of the X-component higher than 5 nT has been compared with the IMAGE substorm index $IL < -200$ nT for 2013. We used this value of the IL-index as a proxy of the substorm occurrence at the IMAGE meridian at the auroral latitudes lower than SOR station (67.4 MLAT). It was found, that more than 70% of such IMAGE substorm have been accompanied by positive magnetic bays at PAG with the amplitude higher 5 nT. However, the PAG response to the polar substorms observed at IMAGE chain at stations higher than SOR (67.4 MLAT) was much lower. As to be expected, a relatively lower response of about 60% of the substorm events was found for the PPN-NAL chain, because this substorms number includes polar substorms as well.

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

Рост геомагнитно-индуцированных токов во время СМЕ и CIR магнитных бурь в 2021 году

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко², Я.А. Сахаров¹, В.Н. Селиванов³

¹ ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

² Геофизический центр РАН, г. Москва

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

E-mail: belakhov@mail.ru

В работе рассмотрен рост геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), регистрируемых в линиях электропередач на Кольском полуострове и в Карелии, во время магнитной бури 3-5 ноября 2021 года, вызванной приходом СМЕ (coronal mass ejection), и во время магнитной бури 11-13 октября 2021 года, вызванной CIR (coronation interaction region). Для регистрации вариаций геомагнитного поля использованы данные магнитометров сети IMAGE, включая данные станции ПГИ Ловозеро, использованы также данные станции Лопарская.

Магнитная буря 3-5 ноября 2021 года была наиболее сильной за последние три с половиной года, хотя интенсивность ее была средней ($Dst = -105$ нТл). Величина ГИТ по данным станции VKN для данной бури составляла около 15 А. В то же время для магнитной бури 11-13 октября 2021, имевшую заметно меньшую интенсивность ($Dst = -57$ нТл), величина ГИТ составляла около 35 А. В работе рассматривается вклад ионосферных токовых систем (аврорального электроджета, вихревых токовых систем) в рост ГИТ для данных бурь. Рассматривается вклад геомагнитных пульсаций P₃ диапазона, наблюдавшихся на фоне суббури, в рост ГИТ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-30010 (Пилипенко В.А., Сахаров Я.А.)

Ионосферные эффекты геомагнитной бури 4 ноября 2021 года на средних и высоких широтах в европейском регионе

И.И. Ефишов¹, И.И. Шагимурагов¹, Г.А. Якимова¹, И.Е. Захаренкова¹, Н.Ю. Тепенитчина¹, М.В. Филатов²

¹ Западное отделение ИЗМИРАН г. Калининград, Россия

² ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

E-mail: efishov@hotmail.com

В данной работе мы представляем результаты мониторинга GPS TEC-вариаций во время геомагнитной бури 4 ноября 2021 г. в европейском секторе. Буря началась 3 ноября около 21 UT, максимальное значение понижения индекса Dst (-105 нТл) пришлось на 14 UT 4 ноября. Для анализа использовались TEC-карты с временным разрешением в 15 мин. Карты формировались в широтном диапазоне 30-75°N и 10°W-40°E. На активной стадии развивалась положительная буря, максимальный эффект наблюдался в дневное время. Характерной особенностью развития бури явилось положительное возмущение, которое проявилось в виде локализованной области повышенной ионизации, простирающегося в направлении северо-запада. Предполагается, что это есть проявление эффекта SED (storm enhanced density) [1]. Локализованная область повышенной концентрации достигала широт 70-75°N. На TEC-картах наиболее ярко данный эффект наблюдался в интервале 08-10 UT. Широтные профили TEC для долготы 20°E демонстрируют динамику среднеширотного провала во время бури. Минимальное положение провала 4 ноября приходилось на широты 52-53°N. В то время как для 5 ноября (на фазе восстановления) провал наблюдался на широтах около 60°N.

1. A.J. Coster, M.J. Colerico, J.C. Foster, W. Rideout, and F. Rich. Longitude sector comparisons of storm enhanced density // *Geophysical Research Letters*, V.34, L18105, DOI:10.1029/2007GL030682, 2007.

Геоэффективность диамагнитных структур эруптивных протуберанцев (ДСЭП)

В.А. Пархомов¹, В.Г. Еселевич², М.В. Еселевич², Б. Цэгмэд³, Л.В. Казанцев¹

¹*Байкальский государственный университет, г. Иркутск*

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

³*Институт астрономии и геофизики АН Монголии, г. Улан-Батор*

Представлены результаты исследования природы и характера возмущений магнитосферы, генерируемых диамагнитными структурами, связанными с эруптивными протуберанцами (ДСЭП). Диамагнитные структуры (плазмоиды) определяются по отрицательному коэффициенту корреляции между большими скачками концентрации солнечного ветра (СВ) и модуля межпланетного магнитного поля (ММП). Структуры генерируются при эрупции плазмы протуберанцев и переносятся от Солнца до орбиты Земли потоками спорадического солнечного ветра, источником которого на Солнце являются КВМ (корональные выбросы массы). КВМ регистрируется в виде последовательности из ударной волны (Shock), ударно-нагретой плазмы (Sheath) и межпланетного коронального выброса массы (Interplanetary Coronal Mass Ejection, ICME).

Контакт ДСЭП с магнитосферой вызывает интенсивные полярные сияния, начинающиеся на дневной стороне и глобальное геомагнитное возмущение, которое включает: усиление кольцевого тока, магнитосферную суббурю, энергетика и длительность которой определяются энергией, переносимой ДСЭП, возрастание потоков энергичных частиц в радиационных поясах и генерацию геомагнитных пульсаций различного типа.

Предполагается, что имеет место прохождение ДСЭП внутрь магнитосферы, определяемое по сохранению её структуры в магнитослое и на дневной стороне до расстояний $\sim 4R_e$ и с существенным изменением ее структуры в области плазменного слоя хвоста магнитосферы на расстоянии $\sim 10 R_e$, что отражает проявление диссипативных процессов, которые инициируются воздействием ДСЭП на замагниченную плазму в хвосте магнитосферы.

На переднем фронте ДСЭП наблюдается прямоугольный импульс V_z компоненты ММП, что является триггером при взаимодействии структуры при её прохождении из магнитослоя внутрь магнитосферы.

В заключении на основе большой статистики приводится таблица характерных параметров ДСЭП и вызываемых ими магнитосферных возмущений в различные годы солнечного цикла.

Прогноз изолированных суббурь, вызываемых солнечными плазменными потоками

С.Е. Ревунов¹, О.М. Бархатова², В.Г. Воробьев³, А.Е. Барсукова¹

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

²*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

³*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты*

Выполнен нейросетевой прогноз суббурь, обусловленных воздействием потоков плазмы солнечного ветра на магнитосферу Земли. Для этого были созданы рекуррентные нейросетевые модели, основанные на ранее установленных [Бархатов и др., 2017] физических причинно-следственных связях динамики высокоширотной геомагнитной активности (по индексу AL) с параметрами плазменных потоков. Здесь в качестве входных последовательностей использованы два параметра – V_z компонента ММП и интегральный параметр $\Sigma[N*V^2]$, учитывающий предысторию процесса накачки кинетической энергии в магнитосферу, где N и V – концентрация плазмы и скорость солнечного ветра, соответственно.

Прогноз непрерывного ряда значений AL индекса достигается последовательностью параллельно работающих ИНС. Количество сетей определяется скважностью необходимого прогнозируемого ряда AL индекса, при этом учет 90 мин предыстории входных параметров в каждой из сетей обеспечил восстановление значения AL индекса с точностью до $\sim 80\%$.

Geomagnetic storms and substorms

Демонстрация функционирования прогноза выполнена на минутных данных, зарегистрированных в 1998-2012 гг. (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov>) и отвечающих 8 часовым интервалам 70 изолированных магнитосферных суббурь. Часть событий выборки (65 событий) использовались для обучения ИНС, другая часть (5 событий) использовались для тестирования качества обучения нейросетей. Предлагаемая прогностическая модель суббуревой активности на 120 минут выполнена с использованием 12 нейросетей, где каждая ИНС прогнозировала AL индекс на конкретное время от текущего момента: +10 мин, +20 мин, ... +120 мин. Таким образом, полученный спрогнозированный ряд AL-индекса содержит 12 значений с дискретностью 10 минут.

Объективная оценка качества прогноза AL-индекса выполнялась вычислением коэффициента корреляции R и эффективности восстановления PE между реальными (целевыми) и сгенерированными значениями, полученными 12-ю параллельно работающими ИНС. В экспериментах показано, что в среднем качество прогнозируемого ряда значений AL-индекса снижается от R=0.82, PE=79% (+10 мин) до R=0.61, PE=42% (+120 мин). Таким образом, созданные нейросетевые модели с достаточной эффективностью могут быть применены для прогнозирования изолированных суббурь, вызываемых солнечными плазменными потоками.

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

Оценка воздействия магнитосферных возмущений на энергетические системы в средних широтах

Я.А. Сахаров^{1,6}, С.А. Золотой³, А.М. Мёрзлый^{2,4}, А.М. Садовский²,
А.А. Петрукович², А.Т. Янаков², О.В. Никифоров², В.Н. Селиванов⁵

¹ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия; e-mail: sakharov@pgia.ru

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

³НИРУП «Геоинформационные системы», г. Минск, Беларусь

⁴Совет по космосу РАН, г. Москва, Россия

⁵ФИЦ Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, Россия

⁶ФГБУН Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

Возбуждение геоиндуктированных токов (ГИТ) в токопроводящих системах, таких, как линии электропередач, кабели связи, магистральные трубопроводы и проч., является терминальным эффектом воздействия геомагнитных возмущений на наземные технологические системы. При развитии сильных и сверхсильных магнитосферных возмущений существенно меняются параметры ионосферы, что может быть связано с высыпаниями заряженных энергичных частиц и усилением ионосферных токов не только в авроральных, но и в субавроральных и средних широтах. В докладе по опубликованным данным проведен анализ возможного воздействия сильных магнитосферных возмущений на наземные технологические системы, в первую очередь, линии электропередач и системы энергораспределения, расположенные в средних широтах. По результатам анализа сделан вывод о необходимости расширения наземных систем регистрации магнитосферных возмущений в зону средних широт.

Исследование выполнено частично за счет средств гранта РФФИ (проект №22-29-00413).

Наблюдения за гелиогеофизической обстановкой в 2021 году средствами сцинтилляционного GNSS приемника установленного в г. Апатиты

М.В. Филатов¹, С.В. Пильгаев¹, А.С. Никитенко¹, А.В. Ларченко¹, Б.В. Козелов¹, Ю.В. Федоренко¹, А.В. Ролдугин¹, П.А. Будников², И.И. Шагимурастов³

¹ ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

² Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

³ Западное отделение ИЗМИРАН г. Калининград, Россия

Email: mijgun@yandex.ru

В данной работе представлены результаты наблюдений, полученных при помощи установленного в г. Апатиты GNSS приемника Septentrio PolaRx5S за 2021 год. Многочастотный 544 канальный GNSS приемник генерирует данные, содержащие сцинтилляционные индексы, полное электронное содержание (ПЭС), кодовые, фазовые и навигационные нефильтрованные данные с частотой до 100 Гц. Данный приемник был установлен на крыше здания ПГИ в городе Апатиты в декабре 2020 г. сотрудниками Института прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова. Для облегчения исследований сотрудниками Полярного геофизического института реализован интерактивный WEB-интерфейс, позволяющий просматривать в каждый момент времени кадры оптических камер с нанесенными на них положениями GNSS спутников и соответствующими индексами сцинтилляций.

По итогам 2021 года авторами был отобран ряд событий иллюстрирующих поведение сцинтилляционных индексов в различных гелиогеофизических условиях. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности данного прибора для мониторинга состояния ионосферы.

Характеристики солнечного ветра и геомагнитных условий при экстремальных ГИТ на станции Выходной (2012-2018)

Д.А. Шевелева¹, С.В. Апатенков¹, Я.А. Сахаров², Е.И. Гордеев¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

E-mail: st035310@student.spbu.ru

В работе исследовались 140 событий с наибольшими амплитудами геоиндуцированных токов (ГИТ) на станции Выходной (65 MLat) зарегистрированные в 2012-2018 годах. Показаны отличия параметров солнечного ветра и геомагнитных индексов от типичных значений. Видны характерные увеличения скорости солнечного ветра и динамического давления, пониженная Vz компонента ММП. Существенно сдвинуты от обычных значений индексы AE, AL, Dst, а также скорость роста (падения) Dst/dt. Проанализирована связь с ударными волнами в солнечном ветре.

Работа проведена в рамках проекта РФФ № 19-77-10016.

Problems of magnetospheric dynamics and structure of magnetospheric magnetic field

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

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*

Fundamental problem of high latitude magnetosphere is the problem of mapping of observed at low altitudes structures to the equatorial plane. Developed during the latest period models of the Earth's magnetic field partially solved this problem. However, statistical character of these models, great level of turbulent fluctuations in the geomagnetic tail even during quiet periods and inner magnetosphere during disturbed periods greatly complicate the process of mapping. Another problem is the inapplicability the approximation of the ideal MHD in the conditions of magnetostatic equilibrium and slow plasma motion. It is impossible, for example, to analyze magnetic flux transport in the magnetosphere without simultaneous analysis of the changes of external boundary conditions formed in the process of the solar wind interaction with the geomagnetic field.

One of the main changes in the analysis of magnetospheric dynamics is the use of plasma pressure as the parameter conserved along magnetic field line in the condition of magnetostatic equilibrium for mapping of low altitude auroral structures to the equatorial plane. We analyze the main changes of the description of magnetospheric dynamics appeared taking into account such mapping results. The formation of magnetic holes and humps in the ring current and tail regions and their role in the magnetospheric dynamics are discussed.

Relationship of the SAR arcs height to solar activity. The observation results at the Yakutsk meridian.

I.B. Ievenko, S.G. Parnikov

Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk 677027, Russia
E-mail: ievenko@ikfia.ysn.ru

The stable auroral red (SAR) arcs arise due to the overlap of ring current with the outer plasmasphere, where energetic ion fluxes heat plasmaspheric electrons. An emerging downward flux of superthermal electrons along the magnetic field lines increases the ambient electron temperature at the altitudes of the ionosphere F2 region in the form of Te peak. As a result, the enhancement of intensity of atomic oxygen red line in the SAR arc mapping the plasmopause takes place. It is generally accepted that the height of maximum intensity of atomic oxygen red line in the SAR arcs has an average value of 400–450 km. At the same time, the height of maximum excitation rate of the 630.0 nm emission in the arc produced by a flux of superthermal electrons should depend on the altitude distribution of atomic oxygen density and deactivation coefficient of excited O(1D) atoms.

A significant change of altitude distribution of the upper neutral atmosphere density in the solar cycle is known. According to the MSISE-90 atmospheric model at the altitudes of 350 and 450 km, generally accepted for red arcs, the O concentration decreased by ~ 4 and ~ 9 times, respectively, during the 23 solar cycle minimum. The change in the O density was determined for magnetically quiet days in February in 2000 and 2008 (for the maximum and minimum of the 23rd cycle, respectively) at local midnight at the 64°N geographic latitude of the Yakutsk meridian. It gives ground to suggest that the height of the SAR arcs should decrease during the solar activity minima.

According to long-term observations at the Yakutsk meridian, we know that under the conditions of low magnetic activity ($Dst \geq -50$ nT; $K_p \leq 3+$) the SAR arcs occur during individual substorms. Red arcs in such events were observed at the geomagnetic latitudes of 55–60°. We carried out the triangulation observations of SAR arcs in the period of 2018–2021, during 24 solar cycle minimum. The first height measurements of the red arcs yielded the values of 280–350 km. In the future, we plan to measure the height of the red line radiation in SAR arcs during the growth phase of the 25th solar cycle in the period of 2022–2024.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No 21-55-50013).

Magnetospheric magnetic field and outer radiation belt variations during 26.10-11.11 2015

V.V. Kalegaev^{1,2}, N.A. Vlasova¹, E.I. Efimkina^{1,2}, I.S. Nazarkov^{1,2}

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*

Coupled dynamics of the Earth's geomagnetic field and relativistic electron fluxes of the outer radiation belt was studied during the period of prolonged geomagnetic activity on 26.10 - 11.11.2015 on the basis of experimental data of measurements of electron fluxes and geomagnetic field in geostationary orbit (GOES satellite) and in a highly elliptical orbit passing through the core of radiation belts (Van Allen Probes satellite). Three moderate geomagnetic storms developed under the influence of various conditions in interplanetary space: 01.11, 03-04.11 and 07.11 with $|Dst_{max}| \sim 40, \sim 60$ and ~ 90 nT, respectively, are considered. A significant increase in the flow of relativistic electrons was observed only after storm 03-04.11.2015, associated with strong solar wind pressure pulse. The growth of electron fluxes was observed under southern orientation of the interplanetary magnetic field and high solar wind velocity.

It is shown that the main factors determining the dynamics of electron fluxes were the expansion (contraction) of drift shells (Dst effect) and radial diffusion under the action of sudden magnetic field pulses. The results of a comparative analysis of the dynamics of electron fluxes and variations of the geomagnetic field indicate a consistent dynamics of electron fluxes and the geomagnetic field both in the core of the Earth's radiation belts and in the geostationary orbit.

Near UV pulsating aurora and high energy electrons precipitations measured by the Lomonosov and METEOR satellites

P.A. Klimov¹, G.I. Antonyuk^{1,2}, V.V. Beninghin¹, A.R. Ivanova^{1,2},
V.V. Kalegaev¹, K.F. Sigaeva^{1,2}, N.A. Vlasova¹, I.A. Zolotarev^{1,2}

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

²*Faculty of Physics Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, Moscow, 119234, Russia*

The TUS telescope on board the Lomonosov satellite in LEO orbit carried out observations of UV emission in the Earth's atmosphere during 2016-2017. During two series of measurement in December 2016 - January 2017 and November 2017, a total of 64 events of the near UV (NUV) glow pulsations in the sub-auroral region were registered. Simultaneously, DEPRON detector of Lomonosov satellite measured the enhanced fluxes of energetic particles at the heights of about 500 km. The both periods were associated with recovery phase of the moderate magnetic storms. Prolonged auroral activity during these periods give us an opportunity to consider them as HILDCAA (high-intensity, long-duration, continuous AE activity) events. Complementary measurements of the wave electric and magnetic field by EMFSIS instrument of Van Allen Probes satellites give evidence of electrons pitch-angle scattering by VLF waves in the near-equatorial region. Charged particle fluxes measurement conducted by two orthogonal detectors on board METEOR-M2 satellite found intense precipitation of the electrons with energies 100-700 keV. The most of the NUV events occur either on the maximum of the outer radiation belt or in the high-latitude auroral region of quasi-trapped energetic particles (more than 100 keV). Multi-satellite measurements show that NUV pulsations appear as a result of prolonged auroral geomagnetic activity that is responsible for outer radiation belt electrons acceleration and scattering by VLF waves and precipitation in the Earth's atmosphere.

Machine learning technique for searching of motion integrals in the magnetotail current sheet equilibrium

A.S. Lukin^{1,2}, A.V. Artemyev^{1,3} and A.A. Petrukovich¹

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

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

³*Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, CA, USA*

The development and investigation of self-consistent models of various plasma equilibria require knowledge of existing exact or approximate integrals of particles motion in a given electromagnetic fields of the corresponding equilibrium. In some simple system configurations these integrals can be calculated directly using particle's Hamiltonian function, while for more sophisticated configurations a searching of integrals of motion represents an important and challenging problem. A set of approaches for invariant constructions were developed, e.g., adiabatic theory, but for many systems even a number of conserving values (number of existing invariants) is not defined.

Machine learning methods represent a class of very sophisticated data analysis technique that has been used in application to various plasma problems. Some of these technics can be applied to the problem of dimensionality reduction and manifold learning. These methods could potentially help us to find a number of conserved quantities along particles trajectories for a given magnetic field configuration.

In our work we use one of such techniques, AI Poincare, to discover the number of integrals of motion for charged particles moving in the magnetotail current sheet. We use simple magnetic field model approximating the current sheet configuration around the equator and determine the parametrical regions where two integrals of motion can be found, i.e. where number of integrals is sufficient to build the magnetotail current sheet equilibrium.

Automatic classification of reconnection regions in Particle-in-Cell simulations by means a Gaussian mixture model

I.P. Paramonik¹, A.V. Divin¹, I.V. Zaitsev^{1,2}, V.S. Semenov¹

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

²*University of Helsinki, Helsinki, Finland*

Contemporary space missions generate huge amounts of data, which makes it difficult to manually interpret, research and analyse. Fast mining of these observational results (e.g. determining the location of a satellite in a specific region of the magnetosphere), represents an important problem in data analysis. Both supervised and unsupervised machine learning algorithms are successfully applied to problems of such kind [1]. In particular, unsupervised algorithms allow to classify effectively different subsets in high-dimensional data and highlight areas of interest to aid supervised scientific investigations.

In this work we utilize Gaussian Mixture Model (GMM) method [2] to identify various regions of magnetic reconnection produced by Particle-in-Cell (PIC) simulations using the iPIC3D [3] code. The GMM algorithm allows to classify automatically main reconnection regions, such as the diffusion region, the current sheet and the reconnection exhaust, based on the bulk parameters of the simulated plasma (density, magnetic field, velocity). Classification results share much similarities with the more common indicators of magnetic reconnection such as non-gyrotropy measures or slippage.

1. Innocenti M.E. et al. "Unsupervised classification of simulated magnetospheric regions." *Annales Geophysicae*. Vol. 39. No. 5. Copernicus GmbH, 2021.
2. Dupuis R. et al. "Characterizing magnetic reconnection regions using Gaussian mixture models on particle velocity distributions." *The Astrophysical Journal* 889.1 (2020): 22.
3. Markidis S. and Lapenta G. "Multi-scale simulations of plasma with iPIC3D." *Mathematics and Computers in Simulation* 80.7 (2010): 1509-1519.

Performance of the Gaussian mixture model method in determining parameters of a multibeam distribution function

I.P. Paramonik¹, A.V. Divin¹, I.V. Zaitsev^{1,2}, V.S. Semenov¹

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

²*University of Helsinki, Helsinki, Finland*

The presence of various acceleration mechanisms in fully ionized collisionless plasmas typically leads to strongly non-Maxwellian distribution functions. More accurate description of such structures in the phase space allows to separate the kinetic and thermal plasma energies efficiently [1].

However, the calculation of multibeam moments for distribution functions which are far different from the equilibrium Maxwellian distribution, is highly sensitive to the number of beams presumed. A common question here is to how to distinguish beams of different density and velocity taking into account macroparticle noise produced by a Particle-in-Cell (PIC) simulation. In this work we perform a series of tests with known beams parameters and evaluate the beam properties using the Gaussian mixture model (GMM). Bayesian information criterion (BIC) serves as a quality measure of the beam identification. We have established the limits (in terms of number of particles, beam temperatures, velocities) of applicability of the method and provide criteria for choosing the best model. Our work serves as a basis for better approximation of distribution function, interpretation of beams, and future application of the GMM method to the problem of magnetic reconnection.

1. Goldman M.V. et al. "Multibeam energy moments of multibeam particle velocity distributions." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 125.12 (2020): e2020JA028340.

An investigation on Field Aligned Electrons distribution around cusp region

Jiankui Shi¹, Ziying Zhang², Klaus Torkar³, Zhengwei Cheng¹

¹*State Key Laboratory of Space Weather, NSSC, CAS, Beijing, China*

²*Beijing Union University, Beijing, China*

³*Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria*

Field Aligned Electrons (FAEs) take an important role in the dynamics in the polar region, especially in the auroral phenomena. In this paper, Cluster data were used to study the distribution of FAE events in the polar region. The FAE event was defined as electron parallel flux $> 3 \times 10^8 \text{ (cm}^2\text{·s)}^{-1}$. The total number of FAE events around the two cusps was basically identical, but downward FAE events prevailed in the south and upward FAE events in the north. In the southern cusp, the peak of the FAE event distribution versus altitude was about $1.3 R_E$ higher and the peak of the FAE event distribution versus ILAT was about 4° ILAT lower. Only the downward FAEs around the southern cusp had a second ILAT peak which was located about 11° higher than the main peak. These results indicated a north-south asymmetry of the FAE distribution around the two cusps. Some causes for the asymmetry are discussed, the main ones being the geomagnetic dipolar tilt and solar wind flows, the IMF asymmetry related to the magnetosphere, and the difference of ionospheric conductivity in the two hemispheres. Various solar wind-magnetosphere interaction processes, such as quasi-viscous interaction and reconnection, are responsible for the asymmetry, too. The second distribution peak (at higher ILAT) of the downward FAE events around the southern cusp corresponded to high solar wind speed, and may be associated with the NBZ FAC at low altitude. The FAE roles to the features of the auroral are discussed, too.

Latitudinal structure of precipitation in the dayside polar cusp

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*

Dayside polar cusps (one in each hemisphere) are a funnel-shaped structure in a geomagnetic field, in which direct penetration of solar wind plasma to the ionospheric heights is possible along the geomagnetic field lines. The probability distribution of the cusp observation in the ionosphere has a maximum of about the midday meridian, the length in longitude is ~ 3 hours. Observations from DMSP series spacecraft were used to study the latitudinal structure of cusp precipitation. The poleward and equatorward boundaries of the cusp were determined by the characteristics of the precipitating ions and electrons. More than one hundred complete latitudinal passes of the cusp region have been studied with the availability of data on IMF and solar wind plasma. The features of the ion pressure distribution in the cusp are investigated depending on the magnitude and direction of the B_z and B_y components of the IMF and the solar wind dynamic pressure. The obtained results are discussed.

Статистическая связь суточного флюенса магнитосферных релятивистских электронов с межпланетными и геомагнитными характеристиками

О.Н. Крякунова^{1,2}, А.В. Белов³, А.Ф. Яковец¹, А.А. Абунин³, И.Л. Цепаккина¹,
Б.Б. Сейфуллина¹, М.А. Абунина³, Н.Ф. Николаевский¹, Н.С. Шлык³

¹*Институт ионосферы Национального центра космических исследований и технологий, г. Алматы, Казахстан; e-mail: krolganik@yandex.ru*

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

³*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия*

По данным за 35 лет (1987-2021 гг.) измерений потоков магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ на геостационарных орбитах, скорости солнечного ветра и геомагнитной активности рассчитаны коэффициенты корреляции между суточным флюенсом электронов, скоростью солнечного ветра и Ар-индексом геомагнитной активности с различными временами запаздывания, а также между флюенсами электронов, рассчитанными в соседние дни. Расчеты коэффициентов корреляции показывают, что в целом в 22-24 циклах солнечной активности более высокие коэффициенты корреляции суточного флюенса электронов со скоростью солнечного ветра и Ар-индексом геомагнитной активности наблюдаются на фазах спада и минимума солнечной активности. Получена трехпараметрическая модель, позволяющая прогнозировать суточный флюенс высокоэнергичных магнитосферных электронов на следующие сутки, основанная на предыстории поведения флюенса, данных об Ар-индексе геомагнитной активности и измерениях скорости солнечного ветра. Модель показывает хорошее согласие с экспериментальными данными с высоким коэффициентом корреляции (0.82) для всего периода 1987-2021 гг.

Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855916).

Моделирование токового слоя в хвосте магнитосферы Юпитера

О.В. Мингалев^{1,2}, П.В. Сецко¹, М.Н. Мельник¹, А.В. Артемьев³

¹ ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анапиты; e-mail: mingalev_o@pgia.ru

² Мурманский арктический государственный университет, Анапиты

³ Институт космических исследований РАН, Москва

Известные данные аппаратов Galileo и Juno показывают, что в хвосте магнитосферы Юпитера имеется тонкий токовый слой (ТТС), в котором помимо протонов присутствуют тяжелые горячие ионы кислорода O^+ и серы S^+ . Эти ионы появляются в магнитосфере Юпитера в результате регулярных мощных вулканических выбросов диоксида серы SO_2 на ближайшем к Юпитеру его спутнике Ио, средний радиус орбиты которого примерно равен $6R_J$, где $R_J \approx 11R_E$ – радиус Юпитера, а R_E – радиус Земли.

ТС в хвосте магнитосферы Юпитера по значениям магнитного поля похож на ТС ближнего хвоста магнитосферы Земли. Тангенциальная компонента магнитного поля B_t выше и ниже ТС, и его нормальная компонента B_n имеют характерные значения соответственно $B_{t0} = 20$ нТл и $B_n = 1$ нТл. Характерные значения температуры ионов серы S^+ , ионов кислорода O^+ , протонов и электронов составляют соответственно $T_S \sim 40-60$ кэВ, $T_O \sim 20-40$ кэВ, $T_p \sim 5-20$ кэВ и $T_e \approx 1$ кэВ. Концентрации ионных компонент лежат в пределах $n_\alpha \approx 0.01-0.05$ см⁻³. Полутолщина ТС в хвосте Юпитера L сравнима с его радиусом: $L \sim (0.2-0.5)R_J \sim 2-5R_E$. Для каждой ионной компоненты отношение продольной скорости встречных потоков $V_{D\alpha}$ на краях ТС к тепловой скорости $V_{T\alpha}$ ориентировочно лежит в пределах $\delta_\alpha = V_{D\alpha}/V_{T\alpha} \approx 0.25-4$.

Для исследования поперечного пространственного масштаба ТТС в хвосте магнитосферы Юпитера с помощью численной модели получены его стационарные симметричные конфигурации для нескольких вариантов образующих ТС встречных продольных потоков ионов. Из результатов расчетов можно сделать следующие выводы.

Если рассматриваемый ТС образован только потоками горячих ионов серы S^+ , то он имеет наибольшую полуширину $L \approx (0.3-0.35)R_J \approx (3-3.5)R_E$, а также наименьшие максимальные значения плотности тока и концентрации в центре ТС $j_{S\max} \approx 1.5$ нА/м и $n_{S\max} \approx 0.024$ см⁻³. Если ТС образован только потоками горячих ионов кислорода O^+ , то он имеет меньшую полуширину $L \approx 0.25R_J \approx 2.5R_E$, а также большие максимальные значения плотности тока и концентрации в центре ТС $j_{O\max} \approx 3$ нА/м и $n_{O\max} \approx 0.048$ см⁻³. Если ТС образован только потоками протонов, то он имеет наименьшую полуширину $L \approx 0.04R_J \approx 0.4R_E$, а также наибольшие максимальные значения плотности тока и концентрации в центре ТС $j_{O\max} \approx 16$ нА/м и $n_{O\max} \approx 0.095$ см⁻³.

Таким образом, наблюдаемым масштабам ТС в хвосте магнитосферы Юпитера соответствуют ТС, в который основной вклад в полный ток через ТС дают горячие ионы серы S^+ .

Возможность образования токового слоя ближнего хвоста магнитосферы потоками ионов кислорода из ионосферы

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

¹ ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты; e-mail: mingalev_o@pgia.ru

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

³ Институт космических исследований РАН, Москва

Из экспериментальных данных известно, что на предварительной фазе суббури в геомагнитно активных условиях наблюдается повышение вклада ионов кислорода в полную концентрацию ионов в плазменном слое от значений порядка 1-2% перед суббурей до значений свыше 50%. В околоземной магнитосфере на силовых линиях, выходящих из высокоширотной области ионосферы, были обнаружены потоки ионов кислорода, направленные от Земли в хвост. Присутствие токонесящих ионов кислорода было неоднократно обнаружено при пересечениях токового слоя (ТС) ближнего хвоста аппаратами миссии CLUSTER. Недавно по измерениям миссии THEMIS было показано, что в плазменном слое наблюдаются направленные в ближний хвост продольные потоки ионов кислорода O^+ ионосферного происхождения, а продольная скорость этих потоков в основном лежит в пределах $V_{DO} \sim 100 - 250$ км/с.

Моделирование и теоретические оценки показывают существенную зависимость конфигурации ТС от параметров образующих его встречных потоков ионов. До недавнего времени для указанных выше потоков ионов кислорода их параметры не измерялись, и могли быть только приближенно оценены. Поэтому ранее для аналитической модели ТС рассматривалась область входных параметров модели, при которых получается относительно широкий ТС на ионах кислорода, в который вложен в разы или на порядок более тонкий протонный токовый слой. При этом в центре ТС плотность тока протонов была в разы больше плотности тока ионов кислорода.

В работе с помощью численной модели ТС показано, имеется вполне согласующаяся с последними данными измерений область входных параметров, для которых токовый слой на ионах кислорода по ширине сопоставим с протонным, и шире его примерно в 1.5 раза. При этом при одинаковых концентрациях ионов кислорода и протонов на краях ТС в его центре значения плотности тока и концентрации протонов в разы меньше, чем соответственно плотность тока и концентрация ионов кислорода.

Sub-relativistic microbursts produced by electron nonlinear Landau resonance

A.V. Artemyev^{1,2}

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

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

Energetic electron precipitation into Earth's atmosphere is an important factor in radiation belt dynamics and magnetosphere-ionosphere coupling. The most intense pattern of such precipitation is the occurrence of microbursts -- short-lived bursts of precipitating fluxes detected on low-altitude spacecraft. Due to the wide energy range of the observed microbursts and their transient nature, they are generally associated with energetic electron scattering into the loss-cone via cyclotron resonance with field-aligned intense whistler-mode chorus waves. In this study, we show that intense sub-relativistic precipitations may be generated via electron nonlinear Landau resonance with very oblique whistler-mode waves.

Different mechanisms of the electron acceleration up to relativistic energies and Arase and GOES satellite observations

V.B. Belakhovsky¹, V.A. Pilipenko², E.E. Antonova^{3,4}, Y. Miyoshi⁵

¹*Polar geophysical institute, Apatity, Russia*

²*Institute of the physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

³*Skobeltsyn Institute of nuclear physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

⁴*Space research institute, Moscow, Russia*

⁵*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya, Japan*

We study the role of different mechanisms suggested for the explanation of the processes of the outer radiation belt formation and evolution. ULF mechanism simultaneously with radial diffusion by sudden impulses was suggested as one of the first. It supports the radial diffusion transport described by the Fokker-Planck equation leading the increase of particle energy due to betatron acceleration. Such mechanism qualitatively reproduced the long-term flux variations observed in the inner portion of the outer belt and the slot region. However, it has difficulties with the explanation of the inner magnetosphere acceleration of relativistic electrons and the formation of the phase space density maximum at definite radial distance.

The variations of relativistic electron fluxes and wave activity in the work are studied using the data of the geostationary satellites GOES and the Japanese satellite Arase (ERG). For the describing VLF wave activity in the magnetosphere the PWE instrument on Arase satellite we used. The magnetosphere ULF wave activity in the Pc5 frequency range was described by the ULF index developed at the IPE RAS. Cases without magnetic storms with high solar wind speed and magnetic storms are selected.

For the selected events the growth of VLF and ULF wave activity was registered approximately at the same time and coincides with the growth of substorm activity. Therefore, it is not easy to separate the contribution of these acceleration mechanisms.

We analyzed strong magnetic storms when the flux intensity maximum shifts to lower L-shells compared to intervals without magnetic storms. We verify the validity of the Tverskaya relation, which connect the minimum during storm Dst/Sym-H variation with the position of the radiation belt maximum after storm and analyze the action of ULF mechanism in the outer radiation belt particle dynamics.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation #18-77-10018.

Electron diffusion by intense whistler-mode waves

V.A. Frantsuzov^{1,2}, A.V. Artemyev^{1,3}, P.I. Shustov^{1,2}, A.A. Petrukovich¹

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

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

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

Resonances with electromagnetic whistler-mode waves are the primary driver for the formation and dynamics of energetic electron fluxes in various space plasma systems, including shock waves and planetary radiation belts. The basic and most elaborated theoretical framework for the description of the integral effect of multiple resonant interactions is the quasilinear theory, which operates through electron diffusion in velocity space. The quasilinear diffusion rate scales linearly with the wave intensity, which should be small enough to satisfy the applicability criteria of this theory. Spacecraft measurements, however, often detect whistler-mode waves sufficiently intense to resonate with electrons nonlinearly. In this presentation we describe the generalization of the diffusion rates of electrons resonating with monochromatic intense waves. We show that the generalized equations keep the scaling of the quasi-linear diffusion for weak waves, but scales linearly with wave amplitude for sufficiently intense waves. Using realistic waves and plasma characteristics, we discuss importance of diffusion on intense waves for energetic electron dynamics in the radiation belts.

Relativistic electron precipitation by EMIC waves: Evidences of importance of nonlinear resonant effects

Veronika S. Grach¹, Anton Artemyev^{2,3}, Andrei G. Demekhov^{1,4}, Xiao-Jia Zhang²

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

²*University of California, Los Angeles, Los Angeles, USA*

³*Space Research Institute RAS, Moscow, Russia*

⁴*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We study possible precipitation of relativistic electrons as a result of resonant interaction with electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves in the He⁺ band. We combine test particle simulations of energetic electron interaction with EMIC waves in the Pc1 frequency range (~0.2-5 Hz), low-altitude spacecraft observations of EMIC-driven electron precipitations and ground-based observations of Pc1 pulsations at the Lovozero station. We show that despite the low pitch-angle electron transport away from the loss-cone due to effects of force bunching, the scattering from higher pitch-angles results in the loss-cone filling. We also show that finite realistic duration of the wave packets plays an important role.

How do slow electron holes persist in the Earth's magnetosphere

Sergey Kamaletdinov^{1,2}, Ivan Vasko^{1,3}, Ian Hutchinson⁴,
Anton Artemyev^{1,5}, Lotekar Ajay⁶, and Mozer Forrest^{3,7}

¹*Space Research Institute, Space plasma department, Moscow, Russia (serjesmail@gmail.com)*

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

³*Space Science Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA*

⁴*Plasma Science and Fusion Center, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA*

⁵*University of California, Los Angeles, California, USA*

⁶*Swedish Institute of Space Physics, Uppsala, Sweden*

⁷*Department of Physics, University of California, Berkeley, California, USA*

Electron holes are a specific type of nonlinear electrostatic solitary waves, so called BGK modes. Interest in such structures is due to the fact, that they may contribute to plasma heating and provide anomalous resistivity in various space plasma regions. Multisatellite space observations of electron holes have firmly established that these structures can have speeds comparable to local ion thermal velocity. In fact, the stable persistence of such slow electron holes presents a riddle, since theory and simulations have indicated that the interaction of such slow electron holes with ions normally prevents their speeds remaining at or below the ion thermal velocity. Although the origin of these structures is still elusive, in our work we resolve the problem of existence of slow electron holes. Based on the multisatellite measurements aboard four Magnetospheric Multiscale (MMS) spacecraft, we were able to determine velocities of around one thousand electron holes in a particular interval in the Earth's plasma sheet. Using MMS measurements of the ion velocity distribution functions (VDF) during the same time interval we were able to show these observed ion VDFs have a pronounced double-humped shape with electron holes speeds clustered near the local minimum between the two humps. New theory shows that slow electron holes can avoid the acceleration that otherwise prevents their remaining slow only under these same circumstances. In addition, we have also analyzed about one thousand slow electron holes from the dataset of Lotekar et al. and proved, that indeed the speeds of slow electron holes are always clustered around the local minimum of double-humped (more specifically, at least double-humped) ion VDF. Thus, the agreement between observation and theory about the conditions for their existence is remarkable. Although the origin of the slow electron holes is still elusive, this analysis resolves the problem of existence of slow electron holes.

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

Latitudinal dynamics of the auroral hiss occurrence during substorm: Case study

A.S. Nikitenko, Yu.V. Fedorenko, J. Manninen, N.G. Kleimenova, M.V. Filatov

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

We analyzed wavefield parameters of the VLF auroral hiss bursts observed at two observational sites located at auroral and polar latitudes: Kannuslehto (KAN, Finland, 64.79°, 105.67°, CGM) and Barentsburg (BAB, Spitsbergen Archipelago, 75.74°, 107.24°, CGM) during the substorm events of 09 December 2018, 05 January 2019 and 23 November 2019. The analysis of the VLF auroral hiss showed that, as a rule, the bursts of auroral hiss were associated with the substorm development and were recorded at these stations not simultaneously: at first, the auroral hiss burst occurred at lower latitudes (KAN) and later on at the polar latitude (BAB). The same feature was observed for all considered substorms development. Moreover, there was the substorm onset delay with the latitude increasing as well as the occurrence of the bursts of the Pi2 pulsations, recorded at the IMAGE stations. It was found that the auroral hiss burst occurrence coincides with the occurrence of the phase scintillations of GPS signals observed at Bear Island (BJN, 71.45°, 108.07°, CGM), Hopen Island (HOP, 73.06°, 115.10°, CGM), Longyearbyen (LYR, 75.12°, 113.00°, CGM) and Ny Ålesund (NAL, 75.25°, 112.08°, CGM). Basing on the analysis of the arrival angles and polarization behavior of the auroral hiss, we showed that the latitudinal dynamics of the location of the auroral hiss exit point corresponds to the latitudinal dynamics of the geomagnetic disturbances.

An attempt to cluster Pc4-5 waves by magnetic field component amplitudes using Arase satellite data

A. V. Rubtsov¹, M. Nosé², A. Matsuoka³, and Y. Miyoshi²

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

²*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan*

³*Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan*

We used a list of Pc4-5 waves from a statistical survey of 45 months of Arase satellite magnetic field measurements to find possible clusters of waves according to magnetic field component amplitudes. A basic assumption is that different wave generation mechanisms can excite certain modes with specific ratios between radial, azimuthal, and field-aligned magnetic field oscillations. We found that most waves constitute one big cluster comprising toroidal, poloidal, and, partially, compressional waves. Only a small group of compressional waves locates separately. Rare purely poloidal waves could make a separate cluster, but there is a too small amount of them to prove it.

This study was supported by the Russian Science Foundation under Grant 21-72-10139. Authors acknowledge SCOSTEP Visiting Scholar (SVS) program and Center for International Collaborative Research (CICR), Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University.

Pc1 pulsations of unexpectedly high (more than 3 Hz) frequency. First results of the study.

V.V. Safargaleev^{1,2}, A.E. Kozlovsky³, T. Raita³

¹*Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, St. Petersburg, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

³*Geophysical Observatory Sodankyla, Sodankyla, Finland*

Our statistical analysis of pulsations in the hertz range over a four-year period showed that in auroral latitudes, the vast majority of pulsations (96.5%) are observed in the band up to 3 Hz. In rare cases (3.5%), the pulsation frequency lies in the range above 3 Hz. These rare pulsations (high-frequency Pc1) became the object of our studies using data from the network of induction magnetometers obs. Sodankyla in Finland and PGI induction magnetometers on the Kola Peninsula and in Spitsbergen. During the period 2003-2016, more than 60 cases of high-frequency Pc1 observations were identified, while a targeted search, excluding the possibility of missing the phenomenon, was carried out only for 2 years (2015-2016). An analysis of Pc1 over this two-year interval showed that in 38% of cases pulsations are observed during the recovery phase of a magnetic storm, in 40% of cases there are no pulsations after a magnetic storm, and in 22% of cases there are pulsations but no storms. In the latter case, pulsations begin when the Dst index has a minimum in the interval of ± 3 hours around the beginning of pulsations. The result is inconsistent with the widespread point of view that the magnetic storm plays a decisive role in the generation of Pc1 in the traditional frequency range. A possible scenario of the phenomenon is proposed. The research is ongoing.

The work of the VS was supported by a grant from the Academy of Finland No. 331880

Electromagnetic absorber composite for a radar protection from auroral influence

I.A. Shorstkii

Advanced technologies and new materials laboratory, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Nature of auroral phenomena impact on radio waves propagation has been studied in various works, though their effect on radar operation has been poorly investigated. Such phenomena can interfere with operation of radars controlling air traffic. Proposed electromagnetic absorber composite was obtained by using rotational magnetic field method and techniques. Absorption properties of composite material for radar protection from auroral influence have been studied in practice.

Resonance interaction between ULF-wave and electrons, observed by spacecraft Van Allen Probe A

E.E. Smotrova^{1,2}, O.S. Mikhailova¹, P.N. Mager¹

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

²*ITMO University, Saint Petersburg, Russia*

In our work, we present results of observation rare phenomena of interaction between ULF-wave and electrons, which was registered in the dawn sector on 27th October 2012 by spacecraft Van Allen Probe A. For 45 minutes, a Pc4 wave with an amplitude of 0.7 nT and a frequency of 9.45 mHz was observed. The wave had mixed polarization, where the poloidal and toroidal components differed slightly in amplitude. Simultaneously with the wave, the electron fluxes were registered, which were probably injected into the magnetosphere during substorm development. At an energy of 38 keV, oscillations with a frequency of 9.4 mHz were detected, which corresponded to the frequency of the observed ULF wave. Particle's distribution near 90-degree pitch angle means that ULF-wave interacted with the energetic electrons via drift resonance. In this case, the observed wave represented as a fundamental harmonic with an azimuthal wavenumber $m \sim 110-120$.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and by Russian Science Foundation, project No. 21-72-10139.

Broadband whistler waves and differential electron fluxes in the equatorial region of the magnetosphere behind the plasmopause during substorm injections

E.E. Titova^{1,2}, D.R. Shklyar², J. Manninen³

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia; e-mail: lena.titova@gmail.com*

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

³*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

Broadband noise VLF waves were recorded on the Van Allen Probe-B satellite in the equatorial region of the magnetosphere on March 17, 2019, at frequencies lower than the electron gyrofrequency f_{ce} . VLF emissions in the frequency band from 3 to 30 kHz were observed behind the plasmopause on L -shells from 3 to 5.5 during substorm injections. The upper frequency in the emission spectrum followed the course of the electron gyrofrequency and was below it by several kHz. Broadband whistlers were observed simultaneously with an increase in the fluxes of low-energy electrons with energies $>10^2$ eV, which had transverse anisotropy.

To explain the observed spectrum, local wave growth rates were calculated as a function of frequency and wave normal angle θ based on simultaneous measurements of differential electron fluxes, which were also carried out on

Waves, wave-particle interaction

the Van Allen Probe-B satellite. We considered three cyclotron resonances: $n = 1, 0, -1$, which correspond to the lowest values of the resonance velocity and give the maximum contribution to the growth rate.

In the spectra of VLF emissions on the satellite, as well as in the growth rate calculations, there are often two maxima at frequencies above and below $f_{ce}/2$. The energy range and pitch angles of electrons making the maximum contribution to the excitation of these maxima are estimated. For example, at 16:44:48 UT, when the satellite was at a latitude of $Lat = -5.6^\circ$ and $L = 4.1$, the largest contribution to the excitation of the low-frequency maximum at frequencies of 4-6 kHz was made by electrons with energies of 30-90 keV and pitch angles of $109^\circ - 115^\circ$, while the largest contribution to a high-frequency maximum at a frequency of $0.85 f_{ce}$ was made by particles with energies of 0.5 - 3 keV and pitch angles of $97^\circ - 120^\circ$.

The calculations of whistler wave growth rates are compared with the characteristics of VLF emissions, and the areas of their best agreement are identified. In calculations, the high-frequency maximum of the growth rate usually corresponds to the frequency $f_{max} = (0.8 - 0.9) f_{ce}$, and in the experiment, the upper frequencies in the spectra of observed VLF emission were lower by (3-10) kHz and amounted to $f_{max} = (0.65 - 0.8) f_{ce}$. This discrepancy is probably due to the peculiarities of the propagation of whistler waves at high frequencies close to f_{ce} near the equator.

Effect of the resonance broadening on relativistic electron scattering by EMIC waves

D.S. Tonoian^{1,2}, M.M. Shevelev¹, A.V. Artemyev^{1,3}

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

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

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

One of the main mechanisms for relativistic electron losses in Earth's inner magnetosphere is the electron resonant scattering by electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves. These are very intense waves that quickly scatter resonant electrons and may be responsible for electron dropouts and microbursts. Pitch-angle ranges of 1 MeV electrons resonating with EMIC waves for typical wave characteristics and background plasma conditions rarely go beyond 30 degree from the loss-cone, and most significant high-pitch-angle electron population does not resonate with EMIC waves. However, observed EMIC waves are often sufficiently intense to support the resonance broadening effect that can increase the pitch-angle range of scattering electrons. In this presentation we consider how such effect can be estimated and incorporated into calculation of the quasi-linear diffusion rates for typical EMIC wave characteristics.

Исследование физической природы Pi3 пульсации с использованием одновременных наземных и спутниковых наблюдений

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко²

¹*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты; e-mail: belakhov@mail.ru*

²*Геофизический центр РАН, г. Москва*

В работах [1, 2] была показана важная роль Pi3 (Ps6) пульсаций, наблюдавшихся на фоне суббури, в рост геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), поскольку данные пульсации сопровождаются развитием вихревых токовых систем в ионосфере. Тем не менее, физическая природа данного типа пульсаций до сих пор окончательно не выяснена.

Для выяснения физической природы Pi3 пульсаций использованы данные наземных магнитометров сетей CARISMA, THEMIS и данные спутников GOES, THEMIS. Рассмотрены такие события, когда спутники THEMIS находились в хвосте магнитосферы. Для регистрации потоков высыпающихся заряженных частиц

использованы данные риометров NORSTAR, камер всего неба THEMIS. Рассмотрены P13 пульсации во время магнитных бурь 27-29 мая 2017, 7-9 сентября 2017 года.

P13 пульсации наблюдались в течение всего периода суббуревой активности. Максимальная амплитуда пульсаций наблюдается в авроральной зоне (~66° CGL). Лучшее всего пульсации выражены в X-компоненте геомагнитного поля на Земле, что соответствует азимутальной геомагнитного поля на геостационарных спутниках GOES, THEMIS. С началом суббурь наблюдается резкое увеличение потоков энергичных частиц по данным спутников GOES, THEMIS, увеличение высыпания электронов по данным риометрического поглощения и усиление интенсивности полярных сияний. P13 пульсации интенсивно модулируют потоки заряженных частиц в магнитосфере, риометрическое поглощение, интенсивность полярных сияний. Мы полагаем, что рассматриваемые P13 пульсации имеют иную физическую природу, чем дневные Pc5 пульсации, занимающие тот же частотный диапазон. Предложено несколько моделей, описывающих МГД природу и механизм возбуждения P13 колебаний.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-30010 (Пилипенко В.А.).

1. Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н. Характеристики variability геомагнитного поля для изучения воздействия магнитных бурь и суббурь на электроэнергетические системы // Физика Земли. 2018. № 1. С. 56–68.
2. Belakhovsky V., Pilipenko V., Engebretson M., Sakharov Ya. and Selivanov V. Impulsive disturbances of the geomagnetic field as a cause of induced currents of electric power lines // Journal of Space Weather and Space Climate. 9. A18. 2019.

Поток сверхтепловых электронов, ускоряемых в ионосферу кинетическими альфвеновскими волнами и возможность формирования SAR arcs

А.А. Власов, А.С. Леонович, Д.А. Козлов

Институт солнечно-земной физики СО РАН

Показано, что вблизи плазмопаузы при определённых условиях может сформироваться диссипативный слой, в котором кинетические альфвеновские волны (KAWs) передают всю свою энергию электронам фоновой плазмы. В этом слое у электронов фоновой плазмы, соответствующих основной части функции распределения, их продольная (вдоль силовых линий геомагнитного поля) скорость близка к скорости распространения альфвеновских волн. Это создаёт условия для черенковского резонанса между электронами и KAWs, в результате чего часть электронов попадает в конус потерь и высыпается в ионосферу. Энергия таких электронов вблизи плазмопаузы близка к 2-5 eV, что соответствует энергии возбуждения/излучения красной линии атомов кислорода, т.е. эти электроны могут быть источником SAR arcs. Этот механизм был ранее открыт в работе *Hasegawa and Mima* (1978), где была предложена простая формула для оценки потока высыпающихся в ионосферу электронов и переносимой ими энергии. Однако предложенная в указанной выше работе формула не учитывала некоторые существенные особенности KAWs, обусловленные их поперечной дисперсией. В нашей работе мы предлагаем новую формулу для оценки плотности потока высыпающихся в ионосферу электронов, учитывающую такие важные особенности, как медленное движение KAWs поперек магнитных оболочек и возможность их генерации широкополосными источниками. В результате проведенных оценок было показано, что широкополосные KAWs могут формировать потоки высыпающихся в ионосферу сверхтепловых электронов на порядок более мощные, чем те, что предсказываются формулой *Hasegawa and Mima* (1978). Этой энергии оказывается достаточно для формирования SAR arcs средней интенсивности (~1-10 kR).

Моделирование пространственной структуры волнового поля аврорального хисса и сравнение с результатами наземных наблюдений

А.С. Никитенко, Ю.В. Федоренко

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия; e-mail: alex.nikitenko91@gmail.com

Авроральный хисс генерируется на высоте 10-20 тыс. км в виде электростатической волны. Такая волна не может быть зарегистрирована у земной поверхности, поскольку ее волновая нормаль лежит вне определяемого из закона Снеллиуса конуса выхода. Только волны, рассеянные на мелкомасштабных неоднородностях электронной концентрации выше ~ 600 км, способны достичь земной поверхности. Предыдущие исследования показывают, что область в ионосфере, занятая мелкомасштабными неоднородностями, пространственно ограничена. Поскольку наличие неоднородностей в ионосфере может быть результатом развития крупномасштабных геофизических процессов, форма и положение этой области представляют особый интерес для исследователей.

В данной работе представлены результаты моделирования распространения аврорального хисса из ионосферы к наземному наблюдателю. При задании области в ионосфере, занятой мелкомасштабными неоднородностями, использованы результаты наземных наблюдений аврорального хисса на станциях Каннуслахто (Финляндия) и Ловозеро (Россия), расположенных на близких геомагнитных широтах и разнесенных по долготе на ~ 400 км. Рассмотрено три типа области — 1) ее размеры малы относительно расстояния между станциями; 2) область вытянута по широте; 3) область перемещается по долготе. Показано, что форма и размеры области выхода аврорального хисса, наблюдаемого у земной поверхности, определяются формой и размерами области в ионосфере с мелкомасштабными неоднородностями. Существование области того или иного типа обуславливает наблюдение на земной поверхности характерные этому типу вариации отношения вертикальной компоненты электрического поля к горизонтальной компоненте магнитного, индекса круговой поляризации и распределения плотности потока энергии по кажущимся углам прихода.

Взаимодействие метровых и декаметровых радиоволн с ионосферными неоднородностями

З.В. Суворова¹, И.В. Мингалев¹, О.В. Мингалев¹, О.И. Ахметов¹, А.М. Мёрзлый^{2,3}, В.Ю. Попов²

¹*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия; e-mail: suvorova@pgia.ru;*

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

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

В данной работе представлены результаты численного моделирования взаимодействия плоской электромагнитной волны с длиной волны 2, 10 и 20 м, распространяющейся в ионосферной плазме на высоте E и F-слоев, с плазменной неоднородностью с повышенной электронной концентрацией. Эта неоднородность представляет собой цилиндрическую область, вытянутую вдоль местного геомагнитного поля. Радиус области сопоставим с длиной волны. Волна распространяется под углами 30 и 90 градусов к оси цилиндра. Область моделирования имеет размеры порядка нескольких десятков длин волны. На длину волны приходится от 20 до 30 узлов сетки. Сетка равномерна по всем направлениям, цилиндрическая область расположена в центре области моделирования.

Для моделирования использовалась численная модель, основанная на численном интегрировании системы уравнений Максвелла и линеаризованного уравнения потока импульса для электронов с учетом внешнего геомагнитного поля. Для численного интегрирования применяется явная схема, в которой электрическое и магнитное поля вычисляются в одни и те же моменты времени в одинаковых узлах пространственной сетки, а также используется расщепление по пространственным направлениям и физическим процессам. Кроме того, используется противопотоковая аппроксимация пространственных производных (метод Годунова с коррекцией потоков). Схема является консервативной, монотонной, имеет 2-й порядок точности по времени и 3-й по пространственным переменным.

Вне цилиндрической области плазма однородна, а внутри нее однородна вдоль оси цилиндра, при этом концентрация электронов внутри области в 25, 100 или в 256 раз выше, чем в фоновой плазме. Рассматриваются несколько вариантов, когда концентрация электронов и частота их столкновений соответствуют E, F1 и F2-слоям ионосферы. Обсуждается форма сигнала, отраженного от плазменной неоднородности, и плазменные колебания, индуцированные в ней проходящей электромагнитной волной.

Волновая турбулентность как физический процесс, порождающий красные дуги с экстремальными значениями интенсивности свечения 20-150 кР

В.Л. Халипов¹, А.С. Леонович², Д. Сайбек³

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

²ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

³NASA/GSFC, Greenbelt, MD, USA

На би-статическом радаре некогерентного рассеяния STARE выполнены измерения картины распределения электрических полей альвеновских волн PC-5 (Walker, Nature, 1978, vol. 273, 22 June). Структура имеет долготную протяженность несколько тысяч километров и широтную протяженность - 250 км. Электрическое поле волны имеет очень большую величину 50 мВ/метр, а сопутствующая магнитная вариация равна 70 нТ. Периоды волны меняются и охватывают диапазон 5-14 минут. На Рис. 1 приведена магнитограмма обсерватории Иркутск за 8 июля 1958 года, когда визуально наблюдалась красная дуга очень высокой интенсивности. Наблюдаются пакеты волновых колебаний магнитного поля очень большой амплитуды. Если соотнести величину этих колебаний с измерениями радара STARE, то нижняя оценка дает величину электрического поля 370 мВ/м. Это вихревые электрические поля альвеновских или быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн. Выполненные расчеты (Rees, Droplermann, Megill, Planet. Space Sci., 1963, vol. 11, P. 45-56) показывают, что фрикционный разогрев электрическим полем 100 мВ/м генерирует красную дугу интенсивностью 5 кР. Сделаем предварительные оценки по имеющимся измерениям. В электрическом контуре вихревое электрическое поле Альвеновской волны (E_a) совершает работу E_a^2/R , где R омическое сопротивление в линии контура. Это электрическое поле создаст разогрев в 16 раз больший по сравнению с полем 100 мВ/м и, соответственно, свечение красной линии возрастает до 90 кР, что, видимо, и наблюдалось 8 июля 1958 года. Hasegawa and Mima (JGR, 1978), Leonovich, Kozlov and Vlasov (JGR, 2021) предложили механизм, связанный с возможностью полного поглощения энергии кинетических альвеновских волн в диссипативном слое, расположенном в окрестности плазмопаузы. Было показано, что широкополосные кинетические альвеновские волны с амплитудой 7 нТ способны генерировать направленные в ионосферу потоки над тепловых электронов (с энергиями ~ 2 эВ) с плотностью энергии ~ 0.4 эрг/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$). Оценки потоков электронов, соответствующие наблюдаемым амплитудам колебаний электромагнитного поля на магнитограмме, дают значения в диапазоне (5-50) эрг/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$).

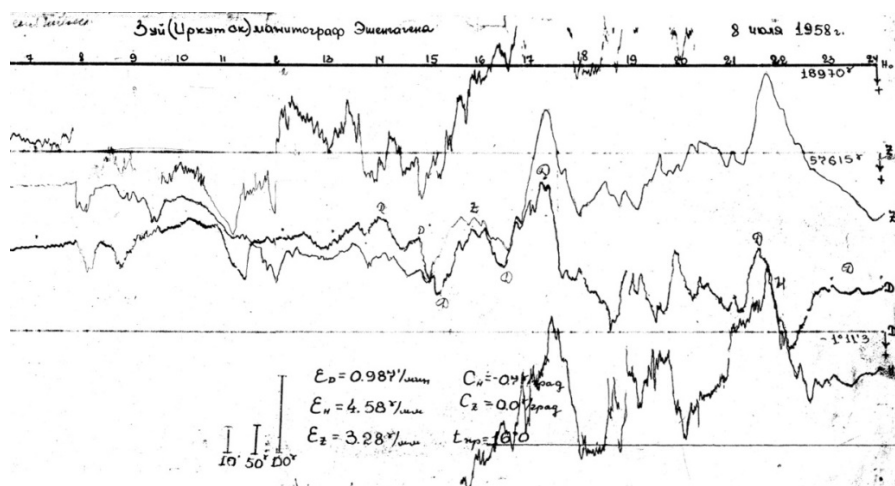


Рисунок 1. Магнитограмма обсерватории Иркутск за 8 июля 1958 года при наблюдении красной дуги очень высокой интенсивности.

Analysis of the anomalous solar cosmic ray event GLE66 (29.10.2003)

Yu.V. Balabin

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

In October-November 2003 a series of solar flares occurred, accompanied by an increase of solar cosmic rays (SCR) flux at the ground level (Ground Level Event, GLE). Two events GLE65 (28.10.2003) and GLE67 (02.11.2003) have been studied by several authors in order to determine the SCR spectrum and the anisotropy of the flux. But GLE66 has never been thoroughly investigated. The reason is that this event occurred at the time of the strongest magnetic storm and a deep Forbush decrease, which makes it difficult to apply the usual technique for solving the inverse problem and determining the SCR spectra. In this paper, we present the results of the first detailed study of the GLE66. We have calculated SCR spectra, and show their dynamics during the event.

Ground Level Event on October 28, 2021

Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

The first Ground Level Event (GLE) of the new 25th cycle of solar activity occurred on October 28, 2021. It was registered by many stations of the global network of neutron monitors. Its duration was 4 hours, the maximum amplitude was only 6%. Two neutron monitors of the Polar Geophysical Institute in Apatity and Barentsburg (Svalbard) showed an amplitude of 2-4%. The event (designated as GLE73) originated from Beta-Gamma active region A2887 with coordinates S26E04. The flare had class X1.0, the maximum X-ray emission was reached at 15:35 UT, flare type II/VI. The ground level event began at 16:20 UT. High-latitude neutron monitors showed an increase in the cosmic ray flux of 2-6%, while mid-latitude and equatorial stations did not demonstrate any increase. This clearly indicates that the solar cosmic ray (SCR) spectrum was rather soft. Using the data of the global network of neutron monitors we have calculated the SCR spectrum and the pitch-angle distribution.

Muon telescope in Barentsburg

Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, B.B. Gvozdevsky, L.I. Schur

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

A muon telescope was installed at the cosmic ray station in Barentsburg (Svalbard) in October 2021. The instrument designed to detect charged particles in the energy range 300 MeV to 100 GeV in narrow solid angle near zenith. Also, each of the plates is a detector of charged particles with energies from 5-10 MeV coming from hemisphere. The telescope is assembled according to the standard scheme: two scintillator plates separated by a 10 cm lead layer. The electronic circuit has an output channel that registers the coincidence of pulses from the upper and lower plates, i.e. registration of a particle passing through the telescope. There are also separate outputs for the upper and lower detectors. The telescope is included in the secondary cosmic ray monitoring system in Barentsburg. With the installation of the muon telescope in Barentsburg, a pair of identical instruments was formed (the first one was installed in Apatity), separated in latitude by ten degrees. In addition, these stations have neutron monitors. The analysis of data from these instruments makes it possible to determine variations in cosmic ray fluxes from directions close to the North Pole of the ecliptic, which are inaccessible to instruments installed at lower latitudes. Analysis of the data obtained over the period of operation showed the presence of variations in the fluxes of soft charged particles that are not synchronous in the lower and upper plates. An explanation has been found for this effect.

The study was supported by the grant from the Russian Science Foundation No. 18-77-10018, <https://rscf.ru/project/18-77-10018/>.

The method for converting the SEP transport modeling results through the Earth's atmosphere into the effective and the equivalent radiation doses

E.A. Mauricev, Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

E-mail: maurchev1987@gmail.com

The cosmic ray particles which mainly consist of the protons continuously penetrate the Earth's atmosphere. These particles can have of both galactic and solar origin. We are modeling the proton transport through the Earth's atmosphere obtaining in result the altitude profiles which are presented as the ionization rate the total fluxes depending on an altitude. The energy spectra of various types of radiation (neutrons, protons, electrons, muons, gamma) also are obtained. In the task of assessing radiation safety during an increase in the background radiation level it is important to obtain the values of the effective and equivalent doses. The presented work shows the method of recalculation to these values both from the experimental data and from the simulation results. The examples of calculating doses at the altitudes from 0 km to 10 km due to the impact on the test object with the secondary radiation induced in the atmosphere by both the galactic and solar cosmic rays are given.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 18-77-10018, <https://rscf.ru/project/18-77-10018/>.

A relation between the atmosphere layer mass fraction and the output results in the RUSCOSMICS model

E.A. Mauricev, E.A. Mikhalko, Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

E-mail: maurchev1987@gmail.com

To calculate the cosmic ray transport through the Earth's atmosphere, a numerical model based on the GEANT4 software toolkit is used, using the Monte Carlo method. The most common type of geometry is the so-called "flat geometry", when the selected area of the Earth's atmosphere is represented as an air column up to 100 km high and with a face length of 100 - 300 km, divided into the layers. The height dependent parameters in each layer (density and temperature) are determined with the NRLMSISE-00 model. In order to achieve the optimal ratio between the calculation speed and an acceptable result, one of the optimizations is used, which consists in reducing the number of layers in such a way that each of them contains a certain percentage of the total mass of the air column (1%, 2%, 3% and etc.). In the presented work, the scheme for implementing the model geometry is considered in detail. The results are presented in the form of ionization profiles and the secondary particle spectra obtained during the modeling of the proton transport through the Earth's atmosphere, depending on what percentage of the air is determined for each layer.

Entropy variation at long-lasting stochastic coupling of magnetosphere with solar wind

A.V. Moldavanov

Belkin International Inc., Los Angeles, USA

Research is based on the model for interaction of unlimited number of independent solar wind (*SW*) actors with magnetosphere (*MS*) when each single actor (energy exchange link $SW \leftrightarrow MS$) is chosen on the random basis at assumption of permanent energy exchange $SW \leftrightarrow MS$. Analytical simulation of entropy changes is based on the

physical model of the conserved link which presumes priority of the conservation laws. In part, it means that each single link ultimately is executed through the formalism of energy continuity equation. The spectrum for entropy comes in the bandpass quasi-continuous form. Mechanism of entropy confinement is related to dynamic ratio between probabilities for the evolutionary and the non-evolutionary scenarios of *MS* development as well as discretization of efficiency for the total energy exchange in *MS*.

Types of magnetic field configurations in which energy accumulation for flares is possible according to the results of MHD simulation above the active region in the real scale of time

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 primordial release of solar flare energy in the solar corona at an altitude of 15,000 - 70,000 km (1/40 - 1/10 of the radius of the Sun), which has been confirmed by numerous observations, means that there is a slow accumulation of energy in a stable magnetic field configuration, which then turns into unstable state. Studies have once again confirmed that such a sequence of events can only be explained by the mechanism according to which the flare energy is accumulated in the magnetic field of the current sheet, which is formed as a result of the accumulation of disturbances in the vicinity of a singular magnetic field line. In the course of quasi-stationary evolution, the current sheet passes into an unstable state, which leads to an explosive release of the accumulated energy. The MHD simulation of a flare situation in the solar corona above the real active region (AR) is continued in order to solve the problem of studying the physical mechanism of a solar flare and, in the future, improving the prediction of solar flares based on an understanding of their physical mechanism. When investigating other mechanisms, in particular the widespread mechanism of magnetic rope, the simplified MHD simulation starts with an unstable configuration, without explaining how such a configuration could arise.

To study the flare situation, MHD simulations were carried out above a real active region (AR), in which the magnetic field observed on the photosphere is used to set the boundary conditions. The results of recent studies lead to the conclusion that in order to study the flare mechanism, it is necessary that the calculation begin several days before the flare occurs, when the magnetic energy for the flare has not yet accumulated in the corona. As far as we know, at present MHD simulation in the corona in such a setting of the problem is carried out only by us.

An absolutely implicit upwind finite-difference scheme, conservative with respect to the magnetic flux, was developed, and it was implemented in the PERESVET program. Carrying out MHD simulation in real scale of time is impossible without parallelization of calculations. Parallel calculations were carried out by computational threads on graphics cards (GPU) using CUDA technology. MHD simulation in the real scale of time showed the appearance of numerical instability near the boundary of the region. Thanks to the application of the developed methods, including the introduction of artificial viscosity (magnetic and ordinary) near the boundary, the problem of stabilizing emerging numerical instabilities was partially solved, which made it possible to carry out MHD simulations in the real scale of time. The configuration of the magnetic field is often so complex that it is impossible to determine the position of the current sheet from it. Current sheets are determined using a specially developed graphical search system which is based on finding of current density maximums. MHD simulation showed the appearance of current density maxima located on singular lines of the X-type magnetic field, in the vicinity of which current sheets are formed. In addition, in the vicinity of a significant number of current density maxima, the magnetic field is a superposition of the X-type configuration and a divergent magnetic field (magnetic trap field). In such an overlay of configurations, even if the diverging field dominates, the formation of a sufficiently powerful current sheet is possible due to the presence of an X-type field. The resulting current sheet can explain the appearance of the flare of low and medium power. Perhaps for this reason, the solar flares over AR 10365 on May 26 and 27, 2003 were not very large. The coincidence of the position of the source of flare thermal X-ray radiation with the places on singular lines in which the current sheet was formed or could be formed confirms the solar flare mechanism based on the accumulation of energy in the magnetic field of the current sheet.

Spectral analysis of solar activity and ground temperature

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

The Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Moscow, Troitsk

The report investigates the possibility of determining solar-terrestrial relations based on the use of spectral characteristics of processes occurring both on the Sun and on the Earth. In order to carry out spectral analysis, we have developed software, which includes modules that allow digital filtering followed by the operation of spectral composition calculation. Filtration is required to identify related processes as cause and effect objects, e.g., solar activity and ground temperature for the period 1854 - 1970.

To calculate the spectrum, we have developed an algorithm for the contribution of a single reference to the spectrum of the process. The digital filtering module is based on digital Chebyshev filters, chosen due to the high quality of their frequency response. The frequency response of Chebyshev filter is close to the response of sequential application of continuous sliding averaging and ideal lowpass filter. The developed recurrence scheme of the calculation of the Chebyshev filter coefficients allows to reach the degree of suppression in the cut-off bandwidth up to 400 dB.

The software module of the processing and analysis system consists of a block of digital filters and a block of spectra calculation. With the help of the digital filter block the series with different spectral compositions are formed.

Meteorological parameters are among the most significant parameters of the Earth, which need to be predicted. At present, a reliable forecast is limited to two, three days. In order to obtain a long-term forecast, it is necessary to study the long-period components, which can be obtained by low-frequency filtering, removing frequencies above the annual component.

Visual assessment of the spectral composition of the long-period components allows us to conclude that the desired composition includes temperature variations with periods of two years or more. Fourier analysis of the long-period components, allows us to obtain a more accurate spectral composition.

Analyzing the surface temperature spectrum, we can hypothesize that a periodic process of relatively complex form is observed, since in addition to the main harmonic the spectrum includes three to four multiple harmonics. The main harmonic is approximately 10 years, the second is 4.75; the third is 3.0; the fourth is 2.25 years.

On the other hand, the basic harmonic of the discrete series of Wolf numbers is equal to approximately 9.53 years, the second is 4.9, the third is 3.17, and the fourth is 2.19 years.

Thus, the character of the terrestrial temperature spectrum is similar to the components of the spectrum of the long series of solar activity measurements.

Based on the analysis of the spectral composition of solar activity and ground temperature data, we can hypothesize that the low-frequency component of the ground temperature is due to the influence of the eleven-year component of solar activity.

Prediction of solar data so far does not give confident results because of their stochastic nature and the lack of reliable forecasting methods.

Literature:

1. Akasofu S.-I., Chapman S., Solar-Terrestrial physics. Oxford 1972
2. Solar-Terrestrial Influences on Weather and Climate / Proceedings of a Symposium/Workshop held at the Fawcett Center for Tomorrow 24-28 August 1978 by Ed. McCormac B.M., Seliga T.A.
3. Solar-Terrestrial physics / Illustrated glossary for solar and solar-terrestrial physics /by Ed. Bruzek A., Durrant C.J. / Dordrecht-Holland/Boston-USA 1977
4. Svalgaard L. and Hansen W.W., Solar activity - past, present, future // J. Space Weather Space Clim., V.3, No.A24, 2013, doi: 10.1051/swsc/2013046
5. Deminov M.G., Nepomnyathshaya E.V., Obridko V.N., Solar and ionospheric properties for cycle 25 // Geomagnetism and aeronomy, V.56, №6, P.781-788, 2016
6. Rozhdestvensky D.B., Methodological foundations for digital control // Devices and Systems. Control, monitoring, diagnostics, No.7, P.9-16, 2011.
7. Alpatov V.V., Ordanovich V.E., Rozhdestvensky D.B., Long-period variations of ionospheric parameters // Heliogeophysical Research, No.26, P.19-30, 2020.

8. Hathaway D.H., The Solar Cycle // *Liv. Rev. Solar Physic*, V.12, 2015, doi: 10.1007/lrsp-2015-4
9. Rozhdestvensky D.B., Rozhdestvenskaya V.I., Telegin V.A., Spectral analysis and forecasting of the 25th solar cycles / *Physics of Auroral Phenomena*”, Proc. XLIV Annual Seminar, Apatity, pp. 96-99, 2021 © Polar Geophysical Institute, 2021 96 Polar Geophysical Institute DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.022

Observational properties of Coronal Mass Ejections (CMEs) associated with the soft X-rays and geo-effectiveness during solar cycles 23 and 24

Priyank Srivastava, A.K. Singh

Physics Department, University of Lucknow, Lucknow-226 007

The principal agents responsible for spatial weather changes and associated phenomena are coronal mass ejections (CMEs). The geo-effectiveness of CMEs has a large impact on terrestrial climate. CME detection and computation remain tough because to the variety of forms and the complexity of the progression of time. As a result, in order to assess the variable's viability, we examined the regular changes of the total, northern, and southern components of sunspot counts recorded between 1996 and 2020, as well as the solar activity trend for solar cycles 23 and 24. We discovered that solar activity was lower in solar cycle 24 than it was in cycle 23. Based on these results, we concluded that, while the number of CMEs detected in the 24th solar cycle (16680) was more than in the 23rd solar cycle (13640), solar activity fell in cycle 24, which might be connected with the lower geo-effectiveness of CMEs seen during cycle 24. The strength of the flare in optical or X-rays does not indicate the intensity of the ensuing geomagnetic activity. C and M class flares have been linked to severe storms ($Dst < -100$ nT). The Pearson's correlation coefficient between the initial speed of CMEs and geomagnetic activity was determined to be 0.66, which is moderate and negative. This link shows that the initial speed of halo CMEs is related to geo-effectiveness prediction. Thus, we determined that the solar cycle 24 was weakly active in comparison to the solar cycle 23, and that there was a declining pattern in solar activity based on the number of sunspots and the examination of the observational characteristics of CMEs and their occurrence, as well as geo-effectiveness.

Key Words: Solar cycles; Solar activity; Sunspot numbers; Coronal mass ejections; Geomagnetic Storms

Kinetic-scale current sheets in the solar wind at 1 au

I.Y. Vasko^{1,2}

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

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

We present analysis of 18,785 proton kinetic-scale current sheets collected over 124 days of Wind spacecraft measurements in the solar wind at 11 Samples/s magnetic field resolution. The current sheets have thickness λ from a few tens to one thousand kilometers with typical value around 100 km or from about 0.1 to $10 \lambda_p$ in terms of local proton inertial length λ_p . We found that the current density is larger for smaller scale current sheets, $J_0 = 6 \text{ nA/m}^2 \cdot (\lambda/100 \text{ km})^{-0.56}$, but does not statistically exceed critical value J_A corresponding to the drift between ions and electrons of local Alfvén speed. The observed trend holds in normalized units, $J_0/J_A = 0.17 \cdot (\lambda/\lambda_p)^{-0.51}$. The current sheets are statistically force-free with magnetic shear angle correlated with current sheet spatial scale, $\Delta\theta = 19^\circ \cdot (\lambda/\lambda_p)^{0.51}$. The observed correlations are consistent with local turbulence being the source of proton kinetic-scale current sheets in the solar wind, while mechanisms limiting the current density remain to be understood. The current sheets are shown to be elongated along the background magnetic field and dependence of the current sheet geometry on local plasma beta is revealed. We show that all of the current sheets are in the parameter range where reconnection is not suppressed by diamagnetic drift of the X-line. We argue this necessary condition for magnetic

reconnection is automatically satisfied due to the geometry of current sheets dictated by their source, which is the local plasma turbulence. We conclude that reconnection in the solar wind is not likely to be suppressed or controlled by the diamagnetic suppression condition.

Исследование возрастных потоков электронов магнитосферного происхождения с энергией >2 МэВ в 2009 году

М.А. Абунина, Н.С. Шлык, А.В. Белов, А.А. Абунин, О.Н. Крякунова, Б.Б. Сейфуллина, И.Л. Цепаккина

В работе исследуются возрастные потоки магнитосферных электронов и сопутствующих явлений в 2009 году, который был очень спокойным, но несколько значительных возрастных были зарегистрированы. Все возрастные были разделены на три группы: (1) с максимальным потоком >500 ч/см²*с*ср, (2) с максимальным потоком от 100 до 500 ч/см²*с*ср, (3) с максимальным потоком до 100 ч/см²*с*ср. В работе анализируется связь выделенных возрастных с особенностями межпланетных и геомагнитных возмущений, а также с их солнечными источниками. Отдельно рассматриваются потоки солнечного ветра из корональных дыр, которые не повлекли за собой возрастание потоков электронов. Показано, что максимальный поток высокоэнергичных магнитосферных электронов имеет слабую корреляцию как с площадью корональных дыр, так и с их магнитным потоком. Наилучшие связи обнаружены со скоростью высокоскоростного потока и сопутствующей геомагнитной активностью.

Сопоставление низкочастотных характеристик модельного спирального магнитного облака солнечного ветра с наблюдаемыми возмущениями

Н.А. Бархатов¹, Е.А. Ревунова², А.Е. Барсукова¹

¹Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

²Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

В работе представлены результаты сопоставления особенностей радиального распределения МГД возмущений компонент магнитного поля в модельном теле магнитного облака солнечного ветра с возмущениями, регистрируемыми *in situ*. Модельное тело облака представлено бессиловой цилиндрической трубкой со спиральным магнитным полем.

Аналитическое исследование возмущений проводилось в цилиндрической системе координат. Линеаризация полученных уравнений позволила записать для смещения среды уравнение второго порядка. Решение этого уравнения искалось в виде радиальной зависимости малых гармонических азимутальных и продольных возмущений. В результате получена система дифференциальных уравнений для компонент смещения среды и далее радиальных зависимостей компонент возмущения магнитного поля в модельном облаке.

Решение полученной системы уравнений с целью поиска радиального распределения компонент смещения для возмущений на разных частотах выполнялось итерационным алгоритмом Эйлера. В качестве граничного условия было выбрано отсутствие смещения на поверхности магнитной трубки. Расчет прекращался при выполнении одного из условий: достигнуто предельное число итераций или граница расчетной области. Как показал численный счет, метод Эйлера продемонстрировал устойчивое решение системы уравнений для расчетной области согласующейся с областями реально наблюдаемых тел облаков.

Выполненное аналитико-численное решение дало общее представление о радиальном распределении компонент смещения магнитного поля в теле МО для НЧ возмущений, согласующееся с зарегистрированной динамикой параметров МО на патрульном КА. Совместная постобработка результатов счета и сопоставляемых с ними реальных данных усиливает согласованность до коэффициента корреляции порядка 0.8, что подтверждает адекватность примененного МГД подхода к анализу колебаний в модельном теле магнитного облака.

Характеристики Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений, зарегистрированных на космических аппаратах Helios

А.В. Белов, Н.С. Шлык, М.А. Абунина, А.А. Абунин

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия; e-mail: nshlyk@izmiran.ru

Выделены и исследованы Форбуш-эффекты (ФЭ), а также вызвавшие их межпланетные возмущения, по данным космических аппаратов Helios A и B, функционировавших в период с декабря 1974 по февраль 1986 гг. Составлен подробный каталог Форбуш-эффектов – Helios FD – включающий в себя характеристики космических лучей, солнечного ветра (СВ), межпланетного магнитного поля (ММП) для 1166 событий. Исследовано изменение амплитуды ФЭ, скорости СВ, величины ММП по мере удаления от Солнца (для расстояний 0.3 – 1 а.е.). Произведено сравнение аналогичных событий, зарегистрированных на аппаратах Helios и на нейтронных мониторах на Земле. Установлено, что величина ФЭ определяется характеристиками межпланетных возмущений и почти не зависит от радиального расстояния.

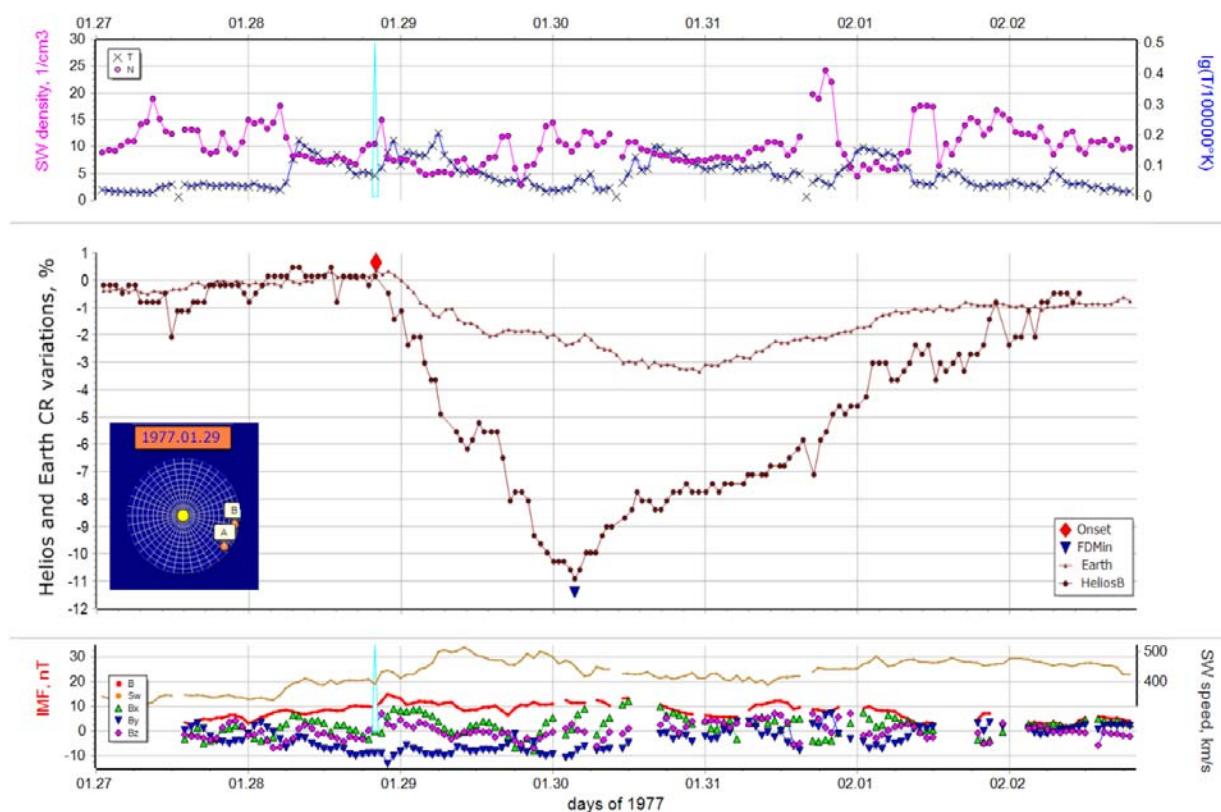


Рисунок. Пример Форбуш-эффекта, зарегистрированного по данным космического аппарата Helios B и данным нейтронных мониторов на Земле 28 января 1977 г (средняя панель). На верхней и нижней панелях рисунка приведено изменение основных параметров СВ и ММП в этом событии по данным Helios B.

Оценка времени распространения скачка давления солнечного ветра между ударной волной и магнитопаузой по одновременным спутниковым и наземным наблюдениям

В.В. Сафаргалеев^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский филиал института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Санкт-Петербург, Россия*

²*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия*

Время распространения возмущения солнечного ветра через переходную область между фронтом ударной волны и дневной магнитопаузой является важным параметром для исследований солнечно-земных связей. Традиционно это время оценивается путем численного моделирования, поскольку ситуация с удачным расположением спутников (один - у подсолнечной точки на ударной волне, другой – у подсолнечной точки на магнитопаузе) практически нереализуемая, если речь идет о конкретном возмущении солнечного ветра. Пересчет возмущения со спутника, находящегося в точке Лагранжа, на фронт ударной волны (например, с использованием он-лайн сервиса OMNI) дает неопределенность 8-25 минут (*Ridley, 2000*). При просмотре данных за более чем десятилетний интервал, нами был обнаружен уникальный случай, когда во время скачка давления солнечного ветра у подсолнечной точки ударной волны находились два спутника миссии THEMIS, а удачное расположение магнитометров сети IMAGE и индукционных магнитометров ПГИ на Кольском п-ве и на Шпицбергене, позволило определить момент удара фронта неоднородности по методике, ранее предложенной *Safargaleev et al. (2010)*. Положение THEMIS позволило также оценить среднюю скорость распространения возмущения в переходной области и скорость смещения фронта ударной волны под действием скачка давления.

Numerical modeling of the lower ionosphere response to the X-ray flares of different classes

S.Z. Bekker

Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The problem of modeling the Earth's lower ionosphere in calm and disturbed conditions is still one of the most urgent in atmospheric research. The difficulty of obtaining experimental data at the heights of the D-region prevents the construction of empirical models of ionospheric parameters, therefore, the dynamics of the components' concentrations during disturbances (for example, X-ray flares) can only be estimated by theoretical or semi-empirical models of varying complexity. In this case, considering a large number of charged components leads to a significant increase in the number of unknown parameters: reaction rate constants and concentrations of small neutral components. Therefore, within the framework of this work, we obtained, analyzed, and verified the results of several rather simple plasma-chemical models of the lower ionosphere, which describe the daily dynamics of a different number of charged components during C-, M-, and X-class X-ray flares. Constructed plasma-chemical models demonstrated significant differences of the vertical profiles of electron density during natural disturbances. The best agreement with the experimental data of ground-based radiophysical measurements on six mid-latitude VLF-paths was obtained using an eight-component model of the ionospheric D-region.

Upgraded optical complex in “Verkhnetulomsky” observatory: equipment and first results

A.A. Belov^{1,2}, P.A. Klimov¹, B.V. Kozelov³, A.S. Murashov¹, A.V. Roldugin³, S.A. Sharakin¹, D.A. Trofimov^{1,2}

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

²*Faculty of Physics Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, Moscow, 119234, Russia*

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

A new telescope-spectrometer was installed at “Verkhnetulomsky” observatory (68°36'N, 31°47'E) of the Polar Geophysical Institute to supplement the data from all-sky cameras with measurements of the fine space-time structure of the auroral luminescence. The telescope uses 5 cm UV transparent lens as an optical system and a matrix of multi-anode photomultiplier tubes as a photo detector. The angular resolution of the telescope is 1.2°. The detector allows to record waveforms with 2.5 μs time resolution (4 events during 5 s interval with a record length of 128 samples), 0.32 ms resolution (4 events during 5 s interval with a record length of 128 samples) and conduct monitoring measurements continuously with 40.96 ms resolution. The telescope observes a central part (20°×20°) of the all-sky camera field of view (FOV). An additional color narrow field of view camera located in “Lovozero” observatory gives us the possibility to deduce the altitude of the observed auroral structures.

Data from the first days of joint observations are presented in the talk. The active intervals of aurora pulsations were measured and partially analysed. The measured frequencies of pulsations are in the range of 1-4 Hz which modulate the slower glow variations. An estimated altitude for the auroral patches is ~110 km.

Model estimation of total electron content calculation by the method of spaced reception of satellite signals

S. M. Cherniakov

Polar Geophysical Institute, Murmansk, Russia

The method of model estimation of total electron content calculation errors in the ionosphere based on data of spaced reception of low-orbital satellite signals was proposed and the errors of total electron content calculation by the spaced method under quite conditions and the plasma ring were evaluated. To estimate errors, a dynamic model of the electron density of the Earth's ionosphere is used. For the selected input parameters (day etc.), a two-dimensional model distribution of electron density is calculated and, using the obtained distribution, experimental situations are created (ionosphere condition with required correction of the distribution, receiving point positions etc.). It gives possibility to calculate the model phase distance from a satellite to a receiving point. According to the standard procedure, initial phase constants are calculated by the method of spaced reception of satellite signals from the obtained model (“experimental”) phase curves and the results are compared with the “true” model calculations. Thus, it is possible to estimate potential errors when calculating initial phase constants during proposed ionospheric situation as well as by changing the positions of satellite signal receiving points it is possible to estimate their best location for planned experimental conditions.

A Mathematical Model of the Global Ionospheric Electric Field Generated by Thunderstorms

V.V. Denisenko^{1,2}, M. Rycroft³ and R.G. Harrison⁴

¹*Institute of Computational Modelling RAS, Krasnoyarsk, Russia*

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

³*CAESAR Consultancy, Cambridge, UK*

⁴*Department of Meteorology, University of Reading, Reading, UK*

Electric currents flowing in the global electric circuit (GEC) are closed by ionospheric currents. A model for the distribution of the ionospheric potential which drives these currents is constructed. Only the internal electric fields and currents generated by thunderstorms are studied, and without any magnetospheric current sources or generators. The atmospheric conductivity profiles with altitude are empirically determined, and the topography of the Earth's surface is taken into account. A two-dimensional approximation of the ionospheric conductor is based on high conductivity along the geomagnetic field; the Pedersen and Hall conductivities space distributions are calculated using empirical models. The values of the potential in the E- and F-layers of the ionosphere are not varied along a magnetic field line in such a model and so the conductances are obtained by integration along magnetic field lines.

The main progress in comparison with previous versions of the model (*Denisenko et al.*, 2019, *Denisenko and Rycroft*, 2021) is due to the usage of the model of the global distribution of thunderstorms obtained from the ground-based World Wide Lightning Location Network (*Denisenko and Lyakhov*, 2021). Under typical conditions for July, under low solar activity, at the considered point in time, 18:00 UT, the calculated maximum potential difference in the ionosphere is 54 V. The designed model contains the equatorial electrojets. There are day-time electrojets, the strength of which are up to 65 A, and night-time ones (of up to 40 A), while the total current of the GEC is taken equal to 1.43 kA in our model to satisfy the Carnegie curve. The equatorial electrojets of the GEC produce magnetic perturbations on the ground, which are in the 0.1 nT range. In principle, these magnetic perturbations could be measured, especially at the night-time geomagnetic equator where they are not so disguised by other ionospheric electrojets, which are concentrated mainly in the day-time.

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

Ionosphere and upper atmosphere

- Denisenko V.V., Rycroft M.J., Harrison R.G. Mathematical Simulation of the Ionospheric Electric Field as a Part of the Global Electric Circuit. *Surveys in Geophysics*, 2019. 40(1), 1-35. DOI: 10.1007/s10712-018-9499-6
- Denisenko V.V., Rycroft M.J. The Equatorial Electrojets in the Global Electric Circuit. 2021. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 221(3):105704. Doi: 10.1016/j.jastp.2021.105704
- Denisenko V.V., Lyakhov A.N. Comparison of ground-based and satellite data on spatiotemporal distribution of lightning discharges under solar minimum. *Solar-Terr. Phys.* 2021. 7(4), 104-112. DOI: 10.12737/stp-74202112

The effect of solar proton events on the airglows and ozone and atomic oxygen concentrations

H. Gao*, J.Y. Xu, G.M. Chen, Y.J. Zhu

*NO.1 Nanertiao, Zhongguancun, Haidian district, Beijing, China

The effect of solar proton events on the daytime O₂ and OH airglows and ozone and atomic oxygen concentrations in the mesosphere is studied using data from the Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry (SABER). Five events occurred in September 2005, December 2006, March 2012, May 2013, and June 2015 that satisfy two criteria: the maximum proton fluxes are larger than 1000 pfu, and daytime data in the high latitude region are available from SABER. The event in December 2006 is studied in detail, and the effects of all five events are compared in brief. The results indicate that all four parameters in the mesosphere decrease during the events. During the event in 2006, the maximum depletions of O₂ and OH dayglow emission rates and ozone and atomic oxygen volume mixing ratios at 70 km are respectively 31.6%, 37.0%, 42.4%, and 38.9%. The effect of the solar proton event changes with latitude, longitude, and altitude. The depletions due to the stronger events are larger on average than those due to the weaker events. The depletions of both dayglow emission rates are weaker than those of ozone and atomic oxygen. The responses of O₂ and OH nightglow emissions around their peak altitudes to the SPEs are not as strong and regular as those for dayglow in the mesosphere.

Efficiencies of emission excitation and formation of electron concentration in auroras

V.E. Ivanov and Zh.V. Dashkevich

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

The effect of the parameters of the precipitating electron flux on the emission intensity of 391.4, 557.7, 630.0 nm and the value of the electron concentration in the vertical column of the aurora has studied. The following parameters of the auroral electron flux were considered: the form of the energy spectrum, the energy flux, and the average energy of precipitating electrons. The concepts of the efficiency of excitation of optical emission $\Phi\lambda$ and the efficiency of the formation of the electron concentration in the auroral column Φ_e have introduced. The efficiency $\Phi\lambda$ is the ratio of the integral intensity of emission with a wavelength λ to the value of the energy flux of precipitating electrons and the efficiency Φ_e is the ratio of the electron concentration in the auroral column to the value of the energy flux. The calculations of $\Phi\lambda$ and Φ_e have carried out for three types of the auroral electrons energy spectrum: monoenergetic, exponential and Maxwellian. The average energy varied in the range 0.1-20 keV, which is typical for auroral electrons. It has shown that the efficiencies $\Phi\lambda$ and Φ_e weakly depend on the form of the energy spectrum and is mainly determined by the values of the average energies of the electron flux. The calculated dependences of $\Phi\lambda$ and Φ_e on average energies make it possible to construct effective algorithm for calculating the planetary distribution of emission intensities and total electron concentration in auroras using the data of empirical models of electron precipitation, without a priori assumptions about the form of the energy spectrum of the precipitating electron flux.

Modeling of magnetosphere-ionosphere coupling using GSM TIP and GAMERA

M.V. Klimenko^{1,2}, V.V. Klimenko^{1,2}, A.V. Divin¹, and E.I. Gordeev¹

¹*St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia*

²*West Department of Pushkov IZMIRAN, Kaliningrad, Russia*

The high-latitude ionosphere is being a very strongly structured medium due to the presence of a large number of irregularities from several to hundreds of kilometers, The inhomogeneities are structured in latitude in accordance with the subdivision of the high-latitude ionosphere into the subauroral and auroral ionosphere, the polar cap, and the cusp. The inhomogeneities are the result of magnetospheric-ionospheric and thermospheric-ionospheric interactions associated with auroral activity, in particular, with the high-energy particle precipitation and the processes of the plasma transport and heating due to magnetospheric electric fields and field-aligned currents. One of the main methods for studying and interpreting the high-latitude ionospheric structure is the usage of numerical models of the ionosphere. Usage of such models allowed understanding the different features of magnetosphere-ionosphere coupling processes. The Global Self-Consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonosphere (GSM TIP) was previously used for the representation of ionospheric effects during different geomagnetic storms. Some model/data disagreements were revealed that may be associated with different kinds of reasons. One possible reason is using an empirical climatological setting of cross-polar cap electric potential and Region 2 field-aligned currents as GSM TIP model input parameters. Here we will discuss the usage of simulated FACs and auroral precipitation from GAMERA model as input parameters for GSM TIP model. Also we will discuss the reverse effects: the influence of ionospheric potential and conductivity on the FACs and auroral precipitation calculated in GAMERA model.

This study was performed in the SPbSU Ozone Layer and Upper Atmosphere Research Laboratory, which is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075- 15-2021-583).

Sources and modeling of ionospheric electric field using the new version of Global Self-Consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonosphere

V.V. Klimenko¹, V.V. Denisenko^{1,2}, M.V. Klimenko¹, M.N. Melnik^{1,3}

¹*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation RAS, Kaliningrad*

²*Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk*

³*Polar Geophysical Institute, Apatity*

The ionospheric electric field has two primary sources: the neutral wind dynamo and the convection electric field mapped from the magnetosphere. In addition, the vertical electric fields recorded in the atmosphere can affect the ionospheric potential through global electric circuit (GEC). Combining the upper atmosphere model and the GEC model will allow to investigate the issue of global electric circuit with coupled atmospheric and ionospheric electric fields. The currently known models of the ionospheric part of the GEC are constructed with excessive simplifications. In GEC models the ionosphere is usually presented in the form of an ideal conductor. We combined the upper atmosphere model (GSM TIP) and the GEC model. Using such a new model we allow to fundamentally clarify the description of the ionospheric part of the GEC. We performed different model runs both for quiet and storm-time geomagnetic conditions. In this report, the influence of the ionospheric conductivity variability on the GEC ionospheric potential distribution will be presented. The recent and future modifications of electric field computation block in GSM TIP model will be discussed.

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

Experimental study of the state of the lower night ionosphere according to the amplitude characteristics of electromagnetic radiation in the VLF range

E.N. Kozakova^{1,2}, I.A. Ryakhovskiy², Yu.V. Poklad², B.G. Gavrilov²

¹*Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Russia*

²*Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Any processes that cause a change in the electron concentration profile in the lower ionosphere lead to significant variations in the amplitude-phase characteristics of electromagnetic signals propagating in the Earth-ionosphere waveguide. Thus, electromagnetic radiation of the VLF range (3-30 kHz) is an effective tool for studying the state and dynamics of the lower ionosphere. Experimental data were used in this work such as the amplitudes of electromagnetic signals from the stations NAA (24 kHz, 44.6° N, 67.3° W) and GBZ (19.6 kHz, 54.9° N, 3.37° W) which have been registered at the Mikhnevo Geophysical Observatory (IDG RAS, 54.95° N, 37.7° E) and the Ladushkin Observatory (IZMIRAN coordinates) in the period from 2014 to 2022 (Fig. 1).

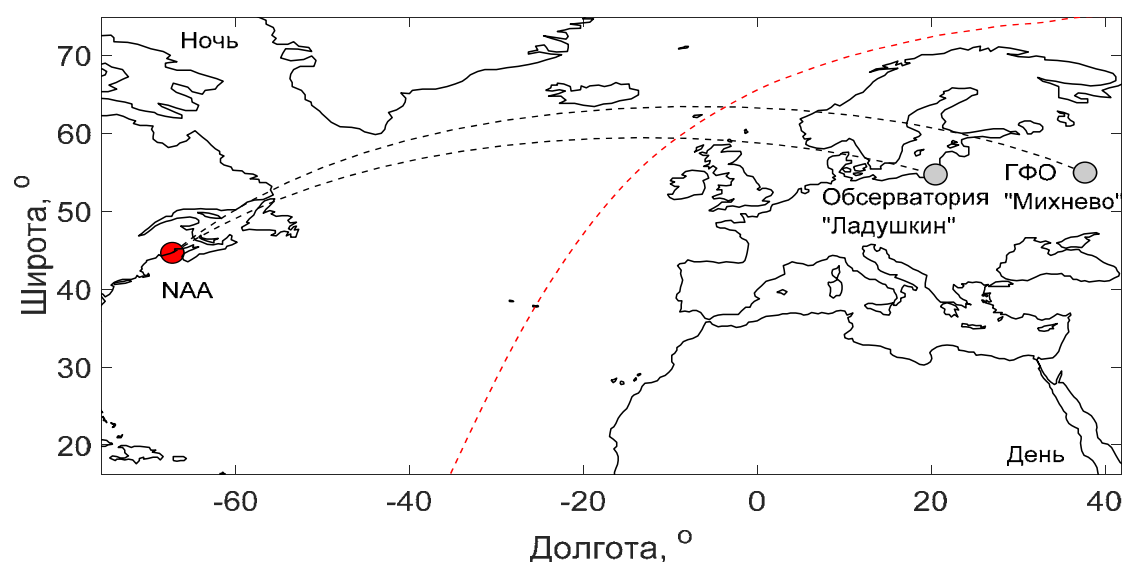


Figure 1. Locations of the receivers in the Geophysical Observatory «Mikhnevo» and observatory «Ladushkin» are indicated by gray circles, the location of the transmitter NAA is indicated by a red circle; the black dotted line shows the signal propagation paths (along the great circle arc); the red dotted line indicates the position of the morning terminator (January 2014).

A comprehensive analysis of these data made it possible to assess the influence of the propagation path illumination on the VLF signals (3-30 kHz) amplitude characteristics and to identify seasonal and annual variations in the height of the ionosphere D layer at night. As a result of the experimental data analysis, it was also possible to reveal the relationship between the 11-year solar activity cycle and the change in the height of the waveguide unilluminated part.

The work was performed under the State assignment No 1021052706243-1-1.5.9;1.5.1.

Altitudinal dynamics of auroral structures at the pole boundary of the auroral oval

B.V. Kozelov, A.V. Roldugin

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

E-mail: *boris.kozelov@gmail.com*

Typical auroral structures observed at the polar boundary of the auroral oval at the zenith of the PGI observatory in Barentsburg are considered. The use of triangulation based on data from two pairs of cameras with a small (~4 km) spatial separation allowed us to track the height of structures in dynamics and estimate the energy of precipitating electrons in typical events. The influence of these precipitations on the state of the high-latitude ionosphere is discussed.

Features of the propagation of acoustic-gravity waves generated by tropospheric heat sources

Yu.A. Kurdyeva¹, S.P. Kshevetskii^{2,3}

¹*Kaliningrad Branch of the Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, 61 Pionerskaya st., Kaliningrad, 236010, Russia*

²*I. Kant Baltic Federal University, 14 Al. Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russia*

³*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, 3 Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russia*

The propagation of atmospheric waves from tropospheric heat meteorological sources is studied. Equations are derived that describe the generation and propagation of acoustic and internal gravity waves separately. It is shown that in the case of heat sources of waves, the generation of acoustic waves cannot occur without the generation of internal gravity waves, and vice versa. Numerical modeling out using the obtained coefficients for separating acoustic was carried and internal gravity waves and the contribution of each of the waves was estimated.

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

Temporal and longitudinal climatological studies of the equatorial ionization anomaly observed by ground-based GNSS receiver networks over South America

Solomon Otoo Lomotey^{1*}, Jonas Rodrigues de Souza¹, Cristiano Max Wrasse¹, Hisao Takahashi¹, Diego Barros¹, Cosme Alexandre Oliveira Barros Figueiredo¹, Patrick Essien^{1,2}, Toyese Tunde Ayorinde¹, Fábio do Egito, Nana Ama Brown Klutse^{2,3}, Anderson Vestena Bilibio¹

¹*Aeronomy Division - National Institute for Space Research (DIDAE / CGCEA - INPE), Av. Dos Astronautas, 1758, Jd. da Granja, São José dos Campos - SP - CEP: 12227-010*

²*African Institute for Mathematical Sciences (AIMS) Ghana, Accra, LG DTD 20046, GPS: GK- 0647-1372 Ghana*

³*African Institute for Mathematical Sciences (AIMS) Rwanda, Kigali, Rue KG590 ST No 1, Rwanda*

The temporal and longitudinal climatological studies of the variability of the equatorial ionization anomaly (EIA) were investigated using total electron content (TEC) data calculated from various ground-based global navigation satellite systems (GNSS) receivers over the southern American continent. The EIA structures and evolutions were mapped in 10 min time resolution using TEC and their characteristics were investigated along two different geomagnetic longitudes sectors (i.e., 3.36°E and 7.58°E) which are approximately separated by 555 km, at an altitude of 300 km from 2014 to 2017. This present study aimed at studying the day-to-day variation of the crests

Ionosphere and upper atmosphere

positions and this was done by picking the TEC long these meridians sectors. The morphologies of the northern and southern crests between the two sectors exhibited strong semiannual variations along the entire years: the intensities of the interhemispheric asymmetry of EIA crests were enhanced in Summer (i.e., December, January, and February), Autumn (i.e., March, April and May) and Spring (i.e., September, October and November) months while a suppression was observed in winter (i.e., June, July and August) months. It is worth mentioning that occurrence time of the EIA also showed semimonthly variation between these sectors. On the other hand, the latitudinal location of the daytime southern crests of the EIA were estimated and analyzed using cross wavelets transforms, and it presented planetary scale waves (PWs). Our results revealed that the day-to-day variations of the crest location of the EIA in the southern hemisphere might be modulated by PW.

Ultra-short-period pulses in ULF oscillations of the geomagnetic field and their relationship with thunderstorm activity

R.A. Marchuk, A.S. Potapov, V.V. Mishin

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

The work is devoted to an experimental study of the properties of ultra-short-period pulses (USPs) in geomagnetic field oscillations that occur synchronously at the magnetic stations of the ISTP SB RAS and the Canadian CARISMA networks. A feature of the detected USPs is their frequency range ($f = 5\text{--}30$ Hz) lies at the junction of the ranges of geomagnetic pulsations ($f < 30$ Hz) and ultra-low frequency (ULF) oscillations ($f = 30\text{--}300$ Hz) and, therefore, was previously poorly studied. As a result of the morphological analysis of the detected USPs, based on the data of ISTP stations, their statistical characteristics and dynamic spectra were obtained, and a number of unusual features were revealed that distinguish them, on the one hand, from geomagnetic pulsations of this range (irregular pulsations of the Pi1B type), and, on the other hand, from higher-frequency VLF signals (atmospherics, whistler, etc.). We assume that the red sprites, i.e., electrical discharges in the upper atmosphere, induced by powerful thunderstorms at middle and low latitudes, can serve as the source of USPs. The fact is that, using the results of observations [1] of sprites in Northern China, we found that the appearance of USPs follows the appearance of sprites. Since thunderstorm activity is considered to be one of the main sources of excitation of the ionospheric Alfvén resonator (IAR), it can be assumed that USPs make a significant contribution to the implementation of the atmospheric-ionosphere-magnetospheric interaction, feeding the oscillations of this resonator due to the energy of thunderstorms in the upper atmosphere. In turn, the IAR is a link between the ionosphere and the magnetosphere in the ULF range [2].

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-27-00280.

1. Wang Y., Lu G., Ma M., et al. (2019), Triangulation of red sprites observed above a mesoscale convective system in North China. *Earth and Planetary Physics*, 3: 111–125. <https://doi.org/10.26464/epp2019015>
2. Potapov A.S., Polyushkina T.N., Tsegmed B. (2021), Morphology and diagnostic potential of the ionospheric Alfvén resonator. *Solar-Terrestrial Physics*, 7(3): 36–52. <https://doi.org/10.12737/stp-73202104>

The earthquakes and ionosphere physics coupling

A.A. Namgaladze¹, M.V. Rybakov²

¹*Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia*

²*Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of N.V. Pushkov, St-Petersburg Branch, St-Petersburg, Russia*

Earthquakes (EQs) are the most dangerous and least predictable natural disasters associated with eruptions from the lithosphere during collisions of tectonic plates. Their consequences are well traced in all layers of the Earth's atmosphere, but on a global scale, their localization can be found with a sufficiently high spatial and temporal resolution only using a network of geostationary satellites that post their data on the Internet.

These data are the values of the total electron content (TEC) along the vertical above the EQ epicenter, determined mainly by the electron density in the main ionospheric maximum (NmF2). The latter is the most important ionospheric parameter that affects the characteristics of radio wave propagation. To predict EQs, it is necessary to know the prehistory of their preparation, accumulation of energy for a subsequent explosion.

The properties of TECs manifested during this period over the epicenters of the EQ are usually called the precursors of the EQs. Physically and mathematically, these properties are described by modern three-dimensional time dependent computer models based on current knowledge of the physics of the ionosphere and its variations of solar and lithospheric origin.

Until now, this knowledge has been most fully described in the classic monograph [1], published in 1988 by the Nauka publishing house in Russian. Updating this monograph and publishing it in English has long been an urgent and very difficult task, which is close to completion [2] thanks to the efforts of the first author of this article and the technical assistance of the second one.

In the latest work, this knowledge was supplemented not only by an increase in the number of references, but also by the appearance of whole new sections concerning the EQ itself and their precursors, seismogenic electric fields and currents, active methods of influencing the environment, modeling geomagnetic pole movements, etc. This monograph will be useful for students, graduate students and teachers of both geophysical and related specialties - radiophysics, meteorology, plasma physics, etc.

1. Brunelli B.E., Namgaladze A.A. Physics of the ionosphere. 1988. Moscow, Nauka, 526 p.

2. Namgaladze A.A. Earthquakes and the upper atmosphere. 2022. Cambridge Scholars Publishing (in press).

Auroral Ionosphere Model with PC index as an input parameter

Vera Nikolaeva¹, Evgeny Gordeev², Alexander Nikolaev¹, Denis Rogov¹ and Oleg Troshichev¹

¹*Geophysical Department, Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

²*Earth's Physics Department, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

Auroral Ionosphere Model (AIM-E) is designed to calculate chemical content in the high-latitude E region ionosphere and takes into account both the solar EUV radiation and the electron precipitation of magnetospheric origin. The latter is extremely important for auroral ionosphere chemistry especially in disturbed conditions. In order to maximize the AIM-E timing accuracy when simulating highly variable periods in course of geomagnetic storms and substorms, we suggest to parameterize the OVATION-Prime empirical precipitation model with the ground-based Polar Cap (PC) index. This gives an advantage to: (1) perform ionospheric simulation with actual input, since PC index reflects the geoeffective solar wind conditions; (2) promptly assess the current geomagnetic situation, since PC index is available in real time with 1 minute resolution. The simulation results of AIM-E with OVATION-Prime (PC) demonstrate a good agreement with the ground-based incoherent scatter radar data (EISCAT UHF, Tromso) during events of intense particle precipitation. The model reproduces well the electron content calculated in vertical column (90—140 km) formed by precipitating electrons.

Ionosphere and upper atmosphere

The E Region Auroral Ionosphere Model (AIM-E) is a useful scientific and operational numerical tool for various geophysical applications. It can be used to reconstruct the large-scale dynamics of the auroral ionosphere with sufficient accuracy during disturbed periods such as geomagnetic storms and substorms. The modified AIM-E model applying the Polar Cap index as an input parameter, becomes the high-latitude ionosphere model which operates only with the ground-based data.

Diurnal and Seasonal GPS-TEC Morphology in the African Equatorial Ionization Anomaly (EIA) region during High Solar Activity

O.M. Odeyemi*, S.O. Ikubanni, J.O. Adeniyi, B.O. Adebesein, S.J. Adebisi, O.O. Ogunlesi, O.E. Odeyemi

**Joseph Ayo Babalola University, Ikeji Arakeji, Osun State, Nigeria*

The total electron content (TEC) was studied for diurnal and seasonal variations. The eight (8) stations chosen are located in the African sector's equatorial ionization anomaly (EIA), which spans the southern and northern hemispheres. Data for the year 2014, high solar activity was used. The diurnal variation shows a minimum TEC value at pre-sunrise for a short period with a steady increase during the early hour of the day and the maximum is reached between 1200 LT and 1700 LT. Generally, after sunset, the TEC values fall back to minimum showing post-sunset enhancement in some seasons and stations. TEC was at a maximum at equinoctial months and minimum during solstices for all stations at the EIA trough but the TEC value at EIA crest is at maximum at March equinox and minimum at June Solstice for seasonal variation.

Study of ionospheric irregularities using HF radars

A.V. Oinats, M.V. Tolstikov

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126a Lermontov Str., Irkutsk 664033, Russia

We present the results of ionospheric irregularities study using HF radar data (SuperDARN type) in the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS. We focus on two topics. The first topic is related to the study of ionospheric irregularities that occur during geomagnetic disturbances and their influence on the HF waves propagation in the ionosphere. The data obtained by Russian and foreign HF radars during the periods of geomagnetic storms in 2017-2021 are presented. The second topic is devoted to the study of medium scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) and their relationship with internal gravity waves propagating in the Earth's upper atmosphere. The results of statistical analysis of MSTID parameters obtained from HF radar data are presented, and the possibilities of their use for estimating the neutral wind velocity at ionospheric heights are discussed.

The authors are grateful to the SuperDARN community for using the HF radar data. SuperDARN is a radar network funded by the national science agencies of Australia, Canada, China, France, Italy, Japan, Norway, South Africa, the United Kingdom and the United States of America. The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. The results were obtained using the equipment of Center for Common Use «Angara» <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

Revisiting phase-difference approach for GNSS global ionospheric mapping

A.M. Padokhin^{1,2}, E.S. Andreeva¹, M.O. Nazrenko¹

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

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

We present the method for constructing global ionospheric maps of TEC which relies only on dual-frequency GNSS carrier phase data, in which the ionosphere is modeled in Sun-fixed (modified dip latitude, local time) coordinate system as a spherical harmonics expansion in thin-shell layer. Inequality constraint least squares approach based on the solution of linear complementarity problem was adopted to deal with possible non-physical negative values of vertical TEC arising in reconstructions typically for nighttime periods of low Solar activity. Suggested approach was tested on synthetic observations generated for real geometry of GNSS constellation and IGS receiving stations using NeQuick2 model for cases of high and low solar activity. Reconstruction errors proved to be below 5 TECU for high TEC values in both cases. Considered approach was also applied for the real GNSS data for several test periods and validated against different IGS GIMs, including gAGE/UPC TEC map product, which utilizes the same phase-difference approach for input data. Obtained results showed maximum inter-method deviations up to 10TECU in the regions lacking observational data.

Dependence of ionospheric variability on local time, season and geomagnetic activity level

K.G. Ratovsky, I.V. Medvedeva

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126a Lermontov Str., Irkutsk 664033, Russia

The initial data are 2003-2020 dataset of peak electron densities NmF2 from the Irkutsk DPS-4 Digisonde (52.3°N, 104.3°E). This dataset was converted to the 27-day running medians of NmF2 (NmF2med) and the NmF2 disturbances, which were the relative (percentage) deviations of the NmF2 from NmF2med. As a measure of ionospheric variability we considered root mean square values of NmF2 disturbances (σ NmF2) calculated by 27-day running averaging. For the given local time and month we performed linear regression of the σ NmF2 on the Ap index of geomagnetic activity averaged over 27 days. The regression intercept gives the ionospheric variability under quiet geomagnetic conditions (Ap=4), while the regression slope shows the rate of increase in the ionospheric variability with increasing geomagnetic activity. The paper analyzed and discussed diurnal and seasonal variations in the ionospheric variability under quiet geomagnetic conditions, as well as the rate of increase in the ionospheric variability with increasing geomagnetic activity.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and by RFBR, project number 20-05-00212.

TEC changes caused by X-class solar flares 6 and 10 September 2017

I.A. Ryakhovskiy, Y.V. Poklad, B.G. Gavrilov

Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

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

The increase in the intensity of X-ray and ultraviolet radiation, observed during solar flares, causes an increase in the electron density in the entire ionosphere. The paper presents the results of a study of the dynamics of the total electron content (TEC) of the ionosphere caused by the impact of X-class solar flares that occurred on September 6 and 10, 2017. To estimate the change in TEC, data from more than 1000 receivers located around the world were used. A comprehensive analysis of the experimental data made it possible to obtain a general empirical dependence of the TEC increment on the ultraviolet radiation flux for both flares.

A multi-instrumental approach to the study of the small-scale structure of a polarization jet

A.A. Sinevich^{1,2}, A.A. Chernyshov^{1,2}, D.V. Chugunin¹, A.V. Oinats³, W.J. Miloch⁴, M.M. Mogilevsky¹

¹*Space Research Institute of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

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

³*Institute of Solar Terrestrial Physics, SB RAS, Irkutsk, Russia*

⁴*Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway*

As is known, a polarization jet (PJ) or Subauroral Ion Drift (SAID) is a narrow jet of fast ion westward drifts near the projection of the plasmapause at the heights of the upper region of the F-layer ionosphere, which appears during increased geomagnetic activity. The mechanism of the formation of a polarization jet, as well as the structure of small-scale irregularities within PJ, are open questions. In this paper, we study the spatial structure of PJ in the subauroral ionosphere using a multi-instrumental approach: NorSat-1, DMSP, and Swarm satellite observations, as well as SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network) radar data during a geomagnetic storm. A comparative analysis of the plasma parameters and electron density spectra inside the PD is given according to the data of both satellites. Our results show that the fluctuations of plasma parameters inside the PD increase on all scales with the development of geomagnetic activity. Small-scale irregularities in PJ with spatial dimensions up to hundreds of meters are found. The role of large-scale effects in PJ increases in comparison with small-scale effects during geomagnetic activity. The PJ consists of structures ~ 0.2 latitude in size, within which there are small-scale irregularities.

Correlation of TEC variations at magnetically conjugated points

A.V. Timchenko^{1,2}, F.S. Bessarab¹, V.V. Denisenko³

¹*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (IZMIRAN) Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia*

²*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

³*Institute of Computational Modelling RAS SB, Krasnoyarsk, Russia*

In work presented correlation analysis of Total Electron Content (TEC) variations at magnetically conjugated points during a geomagnetic storm 17 March 2015 — St. Patrick Storm. Maps of TEC used in this article is CODE data (Center for Orbit Determination in Europe) [Schaer, 1999] and defined on the grid from -87.5° to 87.5° on latitude with step 2.5° and from -175° to 180° on longitude with step 5° , in hour resolution. The search for magnetically conjugated points was carried out in the first case in an approximation of a dipole geomagnetic field, in the second — with the application of the IGRF model. In work considered significant (0.75–0.9) and high (>0.9) quantities of correlation coefficient. During the storm a regions with high quantities of correlation coefficient concentrated in high latitudes, in the post-storm period on all latitudes appear regions with significant anticorrelation coefficient. In work discussed the influence of a more accurate model of the geomagnetic field on the results obtained.

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

Распространение электромагнитных волн ОНЧ диапазона в области высоких широт во время событий GLE

О.И. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, В.Б. Белаховский,
З.В. Суворова, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.С. Кириллов

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

В области высоких широт возможно спорадическое появление дополнительного высоко проводящего слоя на высотах, значительно меньших, чем высоты D-слоя ионосферы [1]. Изучение распространения ОНЧ-волн в таких необычных условиях является важной научной задачей, поскольку ОНЧ-волны используются для задач связи и навигации. В то же время ОНЧ-волны, распространяющиеся в волноводе Земля-ионосфера, являются одним из важных инструментов для ионосферы, поскольку ОНЧ-волны очень чувствительны к изменению электропроводности верхней границы волновода. Метод численного моделирования позволяет связать конкретные фазовые и амплитудные аномалии с конкретным видом профилей концентрации электронов в волноводе Земля-ионосфера. Что позволяет решать как прикладные задачи связи и навигации, так и исследовательские задачи диагностики состояния ионосферы по данным наземных станций регистрации ОНЧ сигналов.

В работе представлено исследование влияния событий GLE (ground-level enhancement) на распространение радиосигналов ОНЧ диапазона в высоких широтах. Методами вычислительного эксперимента на основе численной модели распространения электромагнитных волн, разработанной в Полярном геофизическом институте [2] исследованы амплитудные и фазовые аномалии сигналов системы RSDN-20 в условиях GLE. Профили концентрации электронов для соответствующих событий получены с использованием модели RUSCOSMICS [3], созданной в ПГИ. Затем из рассчитанных профилей ионизации определялся вклад GLE события в увеличение электронной концентрации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-77-10018), <https://rscf.ru/project/18-77-10018/>.

1. Remenets G.F. and Shishaev V.A. // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2019. 196. 105145. 10.1016/j.jastp.2019.105145.

2. Мингалев И.В., Мингалев О.В., Ахметов О.И., Суворова З.В. // *Математическое моделирование*. 2018. Т. 30. № 12. С. 17.

3. Маурчев Е.А., Балабин Ю.В., Германенко А.В., Михалко Е.А., Гвоздевский Б.Б. // *Солнечно-земная физика*. 2019. Т. 5. № 3. С. 81. DOI: 10.12737/szf-53201908.

Возмущения ГНСС сигналов во время магнитной бури 3-5 ноября 2021 года по данным наблюдений на Кольском полуострове

В.Б. Белаховский¹, П.А. Будников², А.Д. Гомонов¹, С.В. Пильгаев¹, А.А. Мочалов¹, В.А. Билин¹

¹*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты*

²*Институт прикладной геофизики, г. Москва*

E-mail: belakhov@mail.ru

В работе исследована степень воздействия ионосферных возмущений на сигналы глобальных навигационных спутниковых систем GPS, ГЛОНАСС во время наиболее сильной за последние три с половиной года магнитной бури 3-5 ноября 2021 года (SYM-H \approx -120 нТл). Используются данные ГНСС приемника Septentrio PolaRx5 в городе Апатиты. ГНСС приемник Septentrio автоматически определяет фазовый и амплитудный индексы сцинтилляций, полное электронное содержание (ПЭС) ионосферы для различных спутниковых систем. Для идентификации ионосферных возмущений в период роста

сцинтилляций ГНСС сигналов использованы данные ЛЧМ ионозонда ПГИ, работающего в квазивертикальном режиме. По данным магнитометров на станциях Ловозеро, Лопарская амплитуда одной из суббурь превосходила 1200 нТл (X-компонента).

Ионосферные возмущения приводят к заметному росту фазового индекса сцинтилляций ($\sigma_f > 1$ радиана), определенного по данным GPS и ГЛОНАСС спутников, не только в ночном, но и в дневном секторе. Рост фазовых сцинтилляций коррелирует с резким ростом концентрации в F-области ионосферы, определенной по данным ионозонда. Различия в значениях фазового индекса сцинтилляций для GPS и ГЛОНАСС спутников могут быть связаны с различным наклоном орбит спутников и прохождением сигналов через различные ионосферные возмущения. Не наблюдается возмущений амплитудного индекса сцинтилляций, определенного по данным GPS и ГЛОНАСС спутников, во время данных возмущений. Рост GPS и ГЛОНАСС фазовых сцинтилляций тесно связан с развитием P1 (P1C) геомагнитных пульсаций, регистрируемых по данным индукционного магнитометра ПГИ в Ловозеро.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-77-10018, <https://rscf.ru/project/18-77-10018/> (Белаховский В.Б.).

Связь модельных возмущений параметров термосферы и ионосферы с вариациями AE индекса во время геомагнитной бури в марте 2015 года

К.В. Белюченко^{1,2}, М.В. Клименко^{2,3}, В.В. Клименко^{2,3}, К.Г. Ратовский⁴

¹*Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

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

⁴*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

Ионосферным эффектам геомагнитной бури 17 марта 2015 года посвящено довольно много научных работ, в том числе основанных на результатах расчетов Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП). Для исследования эффектов геомагнитных бурь с помощью ГСМ ТИП в качестве входного параметра используется разность потенциалов через полярные шапки, полученная на основе эмпирической зависимости от AE индекса с 1-минутным временным разрешением. Для учета в модели ГСМ ТИП изменений высыпаний авроральных электронов используется модель, разработанная в Полярном Геофизическом Институте, входным параметром которой является AL индекс (имеющий высокую степень антикорреляции с AE индексом). В данной работе были рассмотрены возмущения полного электронного содержания на разных долготах и зонально усредненные в период с 17 по 23 марта 2015 года. Для всех долгот можно отметить наличие полосы положительных возмущений ПЭС вблизи геомагнитного экватора и эффекта последствия геомагнитной бури, который проявляется в виде положительных возмущений ПЭС на средних широтах на 3-5 сутки после главной фазы геомагнитной бури. Нами был осуществлен анализ зависимости возмущений параметров системы термосферы и ионосферы (полное электронное содержание, $n(N_2)$, $n(O)$, зонального электрического поля и меридиональной компоненты термосферного ветра на высоте 250 км), рассчитанных в модели ГСМ ТИП, от вариаций AE индекса геомагнитной активности, усредненного за каждый час. Анализ был основан на найденных коэффициентах корреляции по формуле Пирсона, которые были представлены в виде карт зависимостей коэффициента корреляции от момента времени UT и широты для выбранных долгот и для зонально усредненных значений. Из полученных результатов можно выделить то, что на высоких широтах северного и южного полушарий, коэффициент корреляции возмущений ПЭС и изменений AE близок к 1 на всех исследуемых долготах в период с 12 UT до 23 UT. При этом можно сказать, что в южном полушарии коэффициент корреляции более приближен к 1 по сравнению с северным. В период с 9 UT до 12 UT наблюдается минимальное значение коэффициента корреляции на всех исследуемых широтах и долготах. Обсуждаются возможные механизмы формирования такой связи модельных возмущений ПЭС и AE индекса.

Работа выполнена в Лаборатории исследований озонового слоя и верхних слоев атмосферы СПбГУ при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2021-583).

Моделирование распространения коротких радиоволн в ионосфере Земли в приближении геометрической оптики: методы и подходы

В.Н. Боков^{1,2,3}, И.А. Носиков^{2,3}, М.В. Клименко^{2,3}, А.М. Падохин^{4,5}, Ф.С. Бессараб^{2,3}

¹*Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

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

⁴*Московский государственный университет им М.В.Ломоносова, Москва, Россия.*

⁵*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк, Россия*

В работе представлен обзор существующих и перспективных методов моделирования распространения коротких радиоволн в ионосфере Земли. Обсуждаются особенности реализации существующих подходов и аспекты их прикладного применения. Представлены результаты модельных расчетов распространения радиоволн КВ диапазона в изотропной ионосфере при заданных положениях передатчика и начального угла излучения. Рассматриваются примеры односкачкового и многоскачкового распространения.

Работа выполнена в Лаборатории исследований озонового слоя и верхних слоев атмосферы СПбГУ при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2021-583).

Особенности характеристик зон засветки односкачковыми лучевыми траекториями в высоких широтах в 24-м цикле солнечной активности в период магнитных возмущений

А.Д. Гомонов¹, А.С. Калишин⁵, А.М. Мёрзлый^{2,4}, И.В. Мингалев¹, И.А. Моисеев², О.В. Никифоров², Я.А. Сахаров^{1,6}, З.В. Суворова¹, С.М. Черняков¹, В.Н. Шубин³, А.Т. Янаков²

¹*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия*

²*ФГБУН Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия; e-mail: pinega142@yandex.ru*

³*ФГБУН ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия*

⁴*Совет по космосу РАН, г. Москва, Россия*

⁵*ФГБУ АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия*

⁶*ФГБУН Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия*

В докладе представлены результаты численного моделирования области на поверхности Земли, в которую попадают выходящие из одного передатчика односкачковые лучевые траектории радиоволн КВ диапазона. Исследуются изменения этой зоны в течение суток через каждые три часа для разных сезонов за период с 2009 по 2020 годы для разных частот КВ диапазона, близких к максимальной применимой частоте для данных условий.

Анализируются изменения возможностей односкачковой КВ радиосвязи между районом Баренцева моря и районами, расположенными на средних широтах, во время авроральных высыпаний и во время спокойных условий.

Определение условий для уверенного приема искусственных УНЧ сигналов в различных геофизических условиях

Е.Н. Ермакова, Д.С. Котик, А.В. Рябов

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

Выполнены исследования возможности регистрации УНЧ сигналов от источника типа горизонтальный магнитный диполь в разных геофизических условиях при разных состояниях ионосферной плазмы и разной интенсивности всемирных грозových очагов. Для оценки амплитуды искусственного сигнала использовались численные расчеты по модели горизонтально неоднородного волновода земля – ионосфера. Для оценки уровня шумовых помех использовались данные мониторинга фонового шума на среднеширотной (560 с.ш., 460 в.д.) обсерватории НИРФИ ННГУ. Проанализированы зависимости отношения сигнал/шум от времени суток и сезона для различных магнитных компонент на разных частотах и расстояниях до источника. По значениям амплитуды магнитного поля от такого источника, и задавая отношение сигнал/шум ≥ 3 , определялись величины его магнитного момента, при которых возможна регистрация искусственных э/м полей на заданных частотах и расстояниях от источника. Это является актуальным для ионосферного источника, поскольку значение величины его магнитного момента зависит от ряда ионосферных параметров и достаточно трудно определяется заранее. Также выполнен сравнительный анализ амплитудных спектров УНЧ магнитных полей для источников типа горизонтальный магнитный и вертикальный электрический диполи. Последним типом диполя могут быть аппроксимированы наземные грозových источники. Показано, что в темное время суток влияние ионосферных резонаторов может приводить к подъёму интенсивности от этих источников на разных частотах для модели неоднородного волновода земля-ионосфера, что может быть важным при выборе оптимальных частот генерации искусственных УНЧ сигналов.

Работа выполнена по проекту № 0729-2020-0057 в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ. Модельные расчеты выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-17-00050.

pyFIRI - свободная Python-реализация модели FIRI-2018 для невозмущенной неавроральной D-области ионосферы Земли

О.В. Золотов¹, М.А. Князева², Ю.В. Романовская²

¹*Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия*

²*Мурманский государственный технический университет, Мурманск, Россия*

В работе обсуждаются возможности пакета pyFIRI - свободной Python-реализации с открытым исходным кодом модели FIRI-2018 [Friedrich et al., 2018, <https://doi.org/10.1029/2018JA025437>]. Модель FIRI-2018 описывает распределения электронной концентрации для невозмущенной неавроральной D-области ионосферы Земли и является развитием модели FT-2001, включенной в *de-facto* стандарт для описания ионосферы Земли - международную справочную модель ионосферы Земли IRI-2016. Впервые модель FT-2001 была включена в IRI-2001.

Следуя имеющейся тенденции по организации и проведению научных вычислений в экосистеме языка Python, авторы оформили модель FIRI-2018 в виде пакета pyFIRI на языке Python [Zolotov et al., 2021, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2021.100885>]. Для исследователя, использующего Python, в стандартном репозитории (PyPI, <https://pypi.org/>) уже доступны ряд “ионосферных” пакетов, включая ruamps (эмпирическая модель ионосферной токовой системы и соответствующего магнитного поля), Python-интерфейс к IRI-2016 (требует для установки наличия компилятора fortran) и некоторые другие. Тем не

менее, имеющегося набора ионосферных моделей в репозитории пакетов PyPI недостаточно, поэтому авторы разместили в нем разработанный ими пакет ruFIRI. В отличие от ряда иных пакетов, ruFIRI не требует для своей установки предварительно сконфигурированного компилятора Fortran. В настоящий момент ruFIRI зависит от SciPy и NumPy, которые в случае их отсутствия устанавливаются автоматически в процессе установки ruFIRI. Следующим шагом представляется экстраполяция модели FIRI-2018 в Южное полушарие (оригинальная модель FIRI-2018 поставляется в виде набора профилей только для Северного полушария) и публикация этой модификации в виде новой версии пакета ruFIRI.

Основной задачей настоящей работы является популяризация Python-реализации модели D-области ионосферы Земли FIRI-2018, формирование сообщества пользователей и приглашение всех заинтересованных сторон к использованию и тестированию ruFIRI.

Благодарности. Авторы благодарят д-ра Мартина Фридриха (Dr. Martin Friedrich) за неоценимую помощь и консультирование по модели FIRI-2018. Авторы признательны д-ру Мартину Фридриху (Dr. Martin Friedrich), д-ру Клаусу Торкару (Dr. Klaus Torkar) и Кристофу Поку (Christoph Pock) за публикацию в свободном доступе модели FIRI-2018 в виде опорных профилей и за любезное разрешение адаптировать эти данные для создания Python-пакета ruFIRI.

Определение особенностей мелкомасштабных авроральных структур по данным спутниковых наблюдений SWARM

Д.В. Кудин¹, Н.В. Ягова^{1,2}, В.А. Пилипенко^{1,2}

¹*Геофизический центр РАН*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

В работе рассматриваются магнитосферно-ионосферные возмущения, наблюдаемые парой спутников SWARM на авроральных широтах. Предварительный анализ частотно-пространственного распределения естественных УНЧ-КНЧ вариаций магнитного поля на высотах F-слоя по данным спутников SWARM показал, что создание системы диагностики мелкомасштабных авроральных структур требует учета фона, связанного с волновыми и импульсными возмущениями магнитосферно-ионосферного происхождения. Спутники проекта SWARM с частотой оцифровки 50 Гц дают принципиальную возможность проводить такую диагностику, так как они представляют фактически космическую градиентную установку с двумя спутниками, расположенными на расстоянии меньшем 100 км, и третьем – на расстоянии в несколько тысяч км, что позволяет надежно разделить локальные и глобальные возмущения. Таким образом, временное и пространственное разрешение этих измерений дают возможность разделить временные и пространственные вариации. Предлагается методика разделение пространственных и временных вариаций, основанная на учете не только спектральной мощности, но и кросс-спектральных параметров при варьированном времени задержки. Для валидации модели проводится прямое сравнение с данными оптических измерений при разных условиях космической погоды.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-77-30010.

Основные результаты применения мультиспандного приемника ГНСС для оценки параметров высокоширотной ионосферы на архипелаге Земля Франца Иосифа в марте 2021 года

А.О. Куприянов¹, Д.Ю. Алибин¹, Д. Замогильный¹, А.М. Мёрзлый^{2,3}, О.В. Никифоров², А.А. Петрукович², Я.А. Сахаров⁴, А.А. Чернышов², А.Т. Янаков²

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

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

³Совет РАН по космосу, г. Москва, Россия

⁴ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

Оперативный мониторинг параметров ионосферы в арктической зоне остаётся 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. Ухудшение точностных характеристик радиотехнических средств различного назначения требует достоверного знания параметров среды распространения для разработки мер компенсации или уменьшения влияния возмущений полярной ионосферы.

Для отработки методик оперативного мониторинга ионосферы в арктической зоне был проведен этап совместной комплексной арктической экспедиции (КЭ «Арктика-21»). Этап проведен в период с 18 по 24 марта 2021 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 Главного командования ВМФ РФ и Русского географического общества «Умка-21».

Цель первого этапа – отработка технологии экспериментальной оценки и оперативного прогноза параметров высокоширотной ионосферы на ЗФИ в интересах решения научных и прикладных задач.

В докладе представлены следующие результаты:

- оценка текущей гелиогеофизической обстановки в период с 19 по 24 марта 2021 года;
- оценка текущих характеристик высокоширотной ионосферы (границ овала) по различным моделям;
- оценка текущих характеристик высокоширотной ионосферы (границ овала) по данным ГНСС;
- оценка оперативного прогноза текущих характеристик высокоширотной ионосферы (границ овала) по данным ГНСС;
- оценка влияния полученных экспериментальных данных на распространение радиоволн коротковолнового диапазона по моделям DMNI и КП РВ;
- требования к приемнику ГНСС для решения задач оценки и прогноза характеристик высокоширотной ионосферы, выявлены особенности его применения в Арктической зоне.

Особенности возбуждения волновода Земля-ионосфера на частотах выше первого поперечного резонанса

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

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

Рассмотрены экспериментальные данные регистрации сигналов естественного и искусственного происхождения в диапазоне частот от частоты первого поперечного резонанса волновода (~1.8 кГц) до 14 кГц. В качестве примеров представлены твик-атмосферика, сигналы ионосферного источника возникающего в результате нагрева ионосферы мощным модулированным КВ радиоизлучением и авроральные шипения. Методами численного моделирования исследованы особенности возбуждения волновода Земля-ионосфера на данных частотах. Рассмотрены три типа источников электромагнитного

поля: молниевые разряды, представленные осциллирующим вертикальным токовым диполем, находящимся в волноводе; токи в D-области ионосферы, вызванные изменениями холловской и педерсоновской проводимостей при нагреве ионосферы; токи в неоднородностях верхней ионосферы, возбуждаемые электростатическими волнами аврорального шипения. Проведен анализ коэффициентов отражения ионосферы и возбуждаемых волноводных мод в условиях дневной и ночной нижней ионосферы. Показано, что вблизи частот поперечных резонансов наилучшим описанием электромагнитного поля в волноводе является его представление в виде суммы лево- и правополяризованных мод. Оценено влияние конечной проводимости земной поверхности на затухание этих мод.

Оценка применимости импедансного подхода в высоких широтах вблизи магнитосферных источников естественного электромагнитного поля

В.А. Любич, Ю.А. Шаповалова

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Мурманск, Россия

Импедансный подход нашел широкое применение в практике геофизических работ в Арктических районах, являясь основой метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) земной коры. Однако, проведение работ методом МТЗ в высоких широтах имеет ряд особенностей, связанных с распределением источников естественного электромагнитного поля. Основным источником поля в крайне низкочастотном (КНЧ) диапазоне принято считать очаги грозовой активности, расположенные в экваториальной области Земли. В арктической же зоне кроме грозовых источников излучения имеют влияние еще и магнитосферные источники, например, система горизонтальных полярных токов, текущих в высокоширотной ионосфере (электроджеты). Проведенные исследования были направлены на оценку применимости импедансного подхода для электромагнитных волн КНЧ-диапазона от магнитосферных источников в высоких широтах. Были проведены модельные расчеты горизонтальных компонент электромагнитного поля на земной поверхности от заданных источников в высокоширотной ионосфере, а именно, вертикального магнитного диполя, горизонтального электрического диполя и горизонтальной токовой длинной линии, моделировавшей фрагмент электроджета. Вследствие предполагаемой близости источника поля от точки наблюдения использовалась горизонтально-слоистая модель электропроводности ионосферы. Результаты моделирования показали, что частотный диапазон применимости импедансного подхода зависит от электропроводности земной коры. Так в геологических условиях низкоомного осадочного чехла этот диапазон практически совпадает с полосой пропускания измерительной аппаратуры, используемой при проведении экспериментальных работ.

Термосферно-ионосферные возмущения, опережающие магнитные, как краткосрочные предвестники прогноза магнитных бурь

Э.Г. Мирмович, *к.ф.-м.н., доцент*

ООО «Интеграл», г. Москва; e-mail: mirmovich1940@mail.ru

Термин «термосферно-ионосферные возмущения» (ТИВ), порождаемые воздействием источников ионизации на нейтральный буст-возмущение состава, введен автором как альтернатива ионосферно-магнитным возмущениям (например, в [1, 2]), хотя следовало бы и их называть магнитно-ионосферными (МИВ), а не ионосферно-магнитными [3]. Такие ТИВ обладают одной фундаментальной особенностью: отдельный тип положительных ТИВ в области F ионосферы может наблюдаться за часы, а то и сутки до начала магнитной бури. Это абсолютно новое в гелиогеофизических исследованиях явление было открыто и опубликовано автором [4, 5] при исследовании известного уникального по интенсивности периода

солнечной деятельности 2–11 августа 1972 года, сопровождавшегося целой цепочкой солнечных вспышек класса X, вызвавших в дневной ионосфере, как и полагается, соответствующие эффекты в области E и D [5].

Актуальность и научная ценность этого открытия подтверждается более поздними работами многих отечественных и зарубежных авторов.

Вообще-то такое «термосферное цунами», наплываемое на невозмущенное состояние верхней атмосферы, её нейтросферы, может создаваться разными источниками, включая акустические, акустико-гравитационные и внутренние волны, появляющиеся на границе двух сред, которой могут быть перепады плотности, градиенты, различные джеты – струйные течения [6]. Но в качестве краткосрочного предвестника магнитной бури может служить лишь один тип положительных ТИВ, первичным источником которых является дневной касп магнитосферы. Автором этот эффект был связан с работой дневного каспа и с событиями в полярной шапке [2], что было подтверждено Ю.И. Гальпериным измерениями высыпаний мягких электронов в эту магнитосферную «воронку», что указывает на отсутствие строгой привязки таких ТИВ к магнитной буре.

Кроме того, следует также отметить, что ультра-фиолетовое и рентгеновское излучения отдельных солнечных вспышек ионизируют нейтральную составляющую верхней атмосферы вплоть до $h \geq 600$ км, что предсказывалось теоретически [1] и обнаружено в измерениях выше NmF2. Так, в работе [7] представлены результаты исследования динамики полного электронного содержания ионосферы (TEC), вызванного воздействием солнечных вспышек X-класса на примере событий 6 и 10 сентября 2017 года.

1. Мирмович Э.Г. Исследование и прогноз термосферно-ионосферных возмущений / Автореф. дисс... канд. физ.-мат. наук. Иркутск. 1981. 23 с.

2. Мирмович Э.Г. Полярный разогрев и детерминированный прогноз среднеширотных термосферно-ионосферных возмущений. Всесоюз. совещание "Крупномасштабная структура субавроральной ионосферы", Якутск, 1981. С. 15–17.

3. Мирмович Э.Г. Термосферно-ионосферные возмущения как отдельный класс возмущений ионосферы / 16-я Всер. конф. «Физика плазмы в солнечной системе», М.: ИКИ. С. 193. <https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf>.

4. Мирмович Э.Г. Фундаментальность явления опережения начала магнитной бури одним из типов положительных возмущений среднеширотной ионосферы / 16-я Всер. конф. «Физика плазмы в солнечной системе», М.: ИКИ. С. 192. <https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf>.

5. Mirmovich E.G. Ionospheric Behavior during August 2-11, 1972 over Khabarovsk. Report UAG, ЯО.28, WDCenter A, Boulder, Colorado, USA, 1973, part II. PP. 557–561.

6. Мирмович Э.Г. Три источника – три составные части» генерации термосферно-ионосферных возмущений (статья) / «Physics of auroral phenomena». 44th Annual Seminar, 15–19 марта 2021 г. Апатиты. ПГИ РАН. стр. 137–141. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

7. Ryakhovskiy I.A., Poklad Y.V., Gavrilov B.G. TEC changes caused by X-class solar flares 6 and 10 September 2017 // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 45th Annual Seminar (14-18 March). 2022. P. 53.

Низкоорбитальная томография ионосферы по разнородным данным дистанционного зондирования

И.А. Павлов¹, А.М. Падохин^{1,2}, Е.С. Андреева¹, С.А. Калашникова¹

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

²ИЗМИРАН, Троицк, Россия

В докладе представлены результаты численного моделирования задачи томографической реконструкции двумерного высотно-широтного распределения электронной концентрации в ионосфере в плоскости пролета низкоорбитального спутника по данным радиопросвечивания на паре когерентных частот VHF/UHF диапазонов и данным сканирующей спектрометрии собственного УФ излучения верхней атмосферы на длине волны 135.6 нм. Для задания среды при синтезировании наблюдений использовались модели

NeQuick2 и NRLMSISE00, также использовались реальные орбиты спутников серии DMSP и параметры работы размещенных на них спутниковых радиомаяков CERTO и УФ спектрометров SSULI. Результаты моделирования показали, что использования данных УФ спектрометрии на квазикасательных лучах позволяет решить проблему необходимости задания корректного начального приближения, характерную для исключительно радиотомографической постановки. В тоже время, использование данных радиопросвечивания позволяет получать хорошее (~20км) пространственное разрешение реконструкций. В докладе также обсуждается итерационный алгоритм позволяющий на каждом шаге производить коррекцию решения последовательно по оптическим данным и по данным радиопросвечивания.

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

Результаты измерений компонент электромагнитного поля СНЧ/ОНЧ диапазона на острове Александры архипелага Земля Франца-Иосифа

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

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

Исследования геофизических процессов по данным наземных наблюдений электромагнитных полей в диапазоне частот от долей Гц до десятков килогерц (СНЧ/ОНЧ диапазоны) в приполюсных широтах Арктики представляют большой интерес для понимания физических процессов в дневном полярном каспе и полярной шапке, где имеется прямой доступ плазмы солнечного ветра к ионосфере. Это необходимо как для улучшения прогноза космической погоды, так и для изучения влияния гелиогеофизических возмущений на качество КВ и сверхнизкочастотной радиосвязи в этом районе Арктики.

В настоящее время патрульные наблюдения компонент электромагнитного (ЭМ) поля в СНЧ/ОНЧ диапазоне ведутся в обсерваториях ПГИ Ловозеро и Баренцбург (арх. Шпицберген). При проведении совместных исследований в соответствии с договором о сотрудничестве с финской академией наук используются данные станции Каннуслехто, расположенной на практически одной геомагнитной широте с обс. Ловозеро. Таким образом обеспечиваются наблюдения как в авроральной зоне (Ловозеро, Каннуслехто), так и в зоне полярной шапки (Баренцбург). В целях расширения географии точек наблюдения установка приемника на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа, расположенном в зоне полярной шапки, позволит получить СНЧ/ОНЧ данные с двух пар точек наблюдений.

В период с 26 марта 2021 года по 10 апреля 2021 года, благодаря поддержке Русского географического общества, национального парка «Русская Арктика» и Военно-морского флота Российской Федерации, ПГИ, в рамках экспедиции «Умка-2021», провел сеанс геофизических наблюдений и одновременных измерений в двух разнесенных по долготе точках - на острове Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа (на территории круглогодичной стационарной базы «Омега») и в поселке Баренцбург. В работе приведены результаты рекогносцировочных работ по развертыванию оборудования и результаты тестовых измерений сигналов СНЧ/ОНЧ диапазона естественного и искусственного происхождения.

Изменения частот Шумановских резонансов во время рентгеновской вспышки X8.2 класса 10 сентября 2017 года

Ю.В. Поклад, Б.Г. Гаврилов, В.М. Ермак, 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

Солнечные рентгеновские вспышки приводят к увеличению электронной концентрации в нижней ионосфере, которая является верхней стенкой волновода в котором возбуждаются Шумановские резонансы. В работе использовались экспериментальные данные полученные в обсерватории «Михнево» ИДГ РАН. Представлены результаты исследования зависимости вариаций частот первых трех Шумановских

Ionosphere and upper atmosphere

резонансов от потока рентгеновского излучения в различных спектральных диапазонах. Показано, что изменение частоты Шумановских резонансов линейно зависит от логарифма потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.01-0.3 нм. Коэффициенты линейной регрессии зависят от ориентации регистрируемого магнитного поля.

Работа выполнена по госконтракту 1021052706243-1-1.5.9;1.5.1

Многолучевость распространения радиоволн ДКМ диапазона на авроральной радиотрассе в Арктической зоне РФ

Д.Д. Рогов

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

В работе представлены параметры многолучевости сигналов распространения радиоволн на трассе наклонного зондирования ионосферы Ловозеро (68.00° N 35.02° E) – Амдерма (69.60° N 60.20° E), протяженностью 1020 км (скорректированные геомагнитные координаты центральной точки отражения — 66.0° N 124.0° E).

Выявлены основные параметры многолучевости в спокойных, средневозмущенных и сильновозмущенных геофизических условиях. Показано влияние уровня солнечной активности, сезона, времени суток, высокоширотных спорадических Es слоев и аврорального поглощения на модовую структуру сигналов распространения радиоволн в данном регионе.

Работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета, п. 6.1. «Развитие и модернизация технологий мониторинга геофизической обстановки на территории Российской Федерации и Арктики».

Проявление эффекта полуденного восстановления в событии ППШ по данным ионосферных наблюдений в Арктической зоне РФ

Д.Д. Рогов, В.А. Ульев

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

Представлены примеры проявления эффекта полуденного восстановления (ПВ) поглощения в период события ППШ (11-14 апреля 2013 г.) в авральной зоне по данным риометра и ионозонда вертикального зондирования ионосферы ст. Амдерма (69.60° N 60.20° E), а также 2х трасс наклонного зондирования ионосферы (НЗИ): Ловозеро (68.00° N 35.02° E) – Амдерма и Амдерма – Диксон (73.52° N 80.68° E). Для риометрических наблюдений выполнено моделирование поглощения, получено хорошее согласие с экспериментальными данными. Рассмотрены эффекты увеличения диапазона частот на обеих трассах НЗИ в околополуденные часы местного времени из-за влияния эффекта ПВ. Показана практическая значимость учета данной морфологической особенности ППШ для всех радиосистем ДКМ диапазона, работающих в высокоширотных регионах.

Работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета, п. 6.1. «Развитие и модернизация технологий мониторинга геофизической обстановки на территории Российской Федерации и Арктики».

Ориентация поперечной анизотропии и направление дрейфа

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

¹ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Мурманск

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

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

Проведено сопоставление экспериментальных данных, полученных на высотах F-области среднеширотной ионосферы в период 2012-2013 гг двумя независимыми методами. С одной стороны, методом радиопросвечивания ионосферы радиосигналами ИСЗ, принятыми наземным приёмником (МГУ им. М.В. Ломоносова), определена ориентация поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности в различные дни в преимущественно ночное время суток над московским регионом. С другой стороны, методом радиолокации ионосферы ионозондом DPS-4 (ИЗМИРАН) над этим же регионом определены скорость и направление дрейфа среднемасштабных неоднородностей электронной плотности. Для расчета направления и скорости дрейфа максимально близко к местоположению мелкомасштабных неоднородностей использована программа LocalDrift, где к расчету принимались ионосферные отражатели не всей карты неба, а только в заданной области. Анализируются случаи сходства и различия между сопоставленными экспериментальными данными, полученными обоими методами.

Исследование субавроральной ионосферы в районе магнитно-ионосферной обсерватории Воейково посредством цифрового ионозонда CADI

М.В. Рыбаков

СПбФ ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия

В работе рассмотрено использование современного цифрового ионозонда CADI для ионосферных исследований в субавроральной зоне, выполненных с помощью созданного программного обеспечения для автоматической и полуавтоматической обработки получаемых данных. Показаны результаты изучения на основе полученных в Воейково данных цифрового ионозонда таких особенностей субавроральной ионосферы, как зависимость параметров от вариаций электрического поля, от термосферного ветра и от перемещения Северного магнитного полюса.

Описаны особенности установки и запуска цифрового ионозонда с антеннами типа вертикальный ромб. Результаты зондирования представляют собой архивные компьютерные файлы данных ионозонда CADI, которые передаются в базу данных ИЗМИРАН. Приведены характеристики разработанных программ для обработки данных ионозонда CADI для полуавтоматического получения параметров слоёв (областей) ионосферы E, Es, F1 и F2, а также для отметки оценочных и описательных буквенных обозначений, типов Es, для построения высотного профиля электронной концентрации $h'(f)$, f-графиков ионосферных данных, медиан и средних основных ионосферных значений параметров.

Ионограммы, получаемые разработанными программами, доступны на сайте ИЗМИРАН.

Показана достоверность получаемых данных на основе сравнения с расчетами по статистическим моделям IRI, IRI-Plus и с данными других ионозондов.

Длительные наблюдения субавроральной ионосферы в районе Воейково посредством цифрового ионозонда CADI, начатые на постоянной основе в 2013 году, позволили объединить цифровой ионозонд CADI и теоретическую модель UAM в один системный инструмент. С его помощью было проведено исследование ионосферы в районе Воейково и выполнены работы по физической интерпретации полученных ионосферных данных, в которых сделаны выводы о зависимости параметров субавроральной

ионосферы от вариаций электрического поля, термосферного ветра и от перемещения Северного магнитного полюса.

Показана эффективность созданной системы исследования параметров ионосферы над Воейково, состоящей из цифрового ионозонда CADI, численной теоретической модели UAM и разработанного программного обеспечения.

Каталог стабильных красных дуг Даниэля Барбье, зарегистрированных во время МГГ 1957-1959 г. и геофизические условия при их развитии

В.Л. Халипов¹, А.С. Леонович², Д. Сайбек³

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

²ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

³NASA/GSFC, Greenblt, MD, USA

В течение МГГ, 1957-1959 г., французский астроном Daniel Barbier с помощью высокочувствительной аппаратуры проводил измерения зодиакального свечения ночного неба на обсерватории Haut Provance, расположенной на L оболочке 2.1. Им были обнаружены необычайно яркие дуги свечения атмосферы в линии атомарного кислорода 630.0 нм (SAR-arc). Свечение было однородно по структуре и наблюдалось в течение многих часов в большом диапазоне долгот. Спектрометр осуществлял круговое сканирование под углом 45 градусов к горизонту. Пример таких измерений приведен на Рис. 1 (Ann. Geophys., 14, 334, 1958). При этом обычные полярные сияния наблюдались у северного горизонта. Мы составили каталог событий из обширного числа измерений. Сопоставление с Dst вариациями за 1957-1959 годы показывает, что красные дуги наблюдаются на любой фазе геомагнитной бури. В 1971 г. был предложен механизм формирования SAR-arc при разогреве фоновых электронов ионно-циклотронными волнами, которые генерируются энергичными ионами водорода и кислорода кольцевого тока в приэкваториальной области (JGR, 76, 4428, 1971). Однако, последовавшие затем экспериментальные работы показали, что этот процесс может создать SAR-arc с интенсивностью до 3 кР. В начале 2000 годов возобладали точка зрения, что Daniel Barbier при своих измерениях ошибся в 100 раз! Авторы доклада как раз подтверждают достоверность измерений Daniel Barbiera. 8 июля 1958 года визуально наблюдалась дуга огромной интенсивности. Небо пылало, и ночью было светло как днем, но только в красном свете. Во время МГГ были возмущения со значениями Dst-индекса 450-500 нТ. Плазмопауза смещалась до L=2.0 и именно сюда приходили из солнечного ветра альвеиновские волны, концентрировались в узком диапазоне L-оболочек и создавался режим стоячих волн.

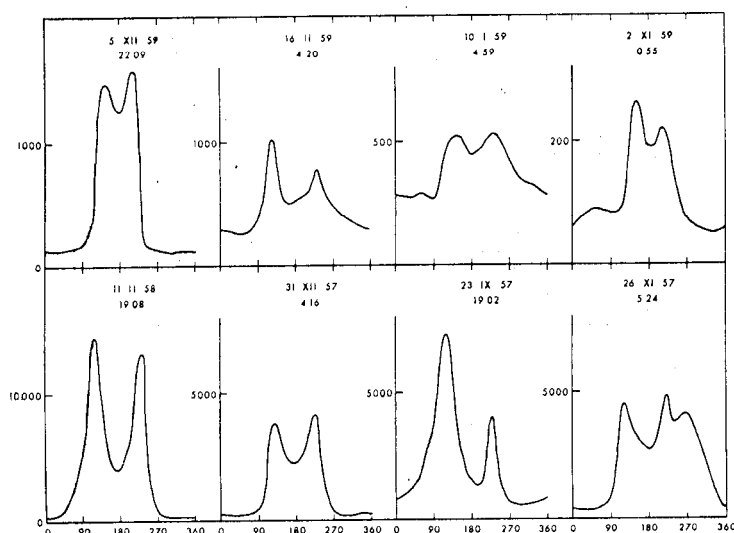


Рисунок 1. Измерение интенсивности красных дуг фотометром, сканирующим под углом 45 градусов к горизонту для различных событий. Шкала линейная в Рэлях.

Temperature-Wind Regimes of the Tropo- and Stratospheres over the Kola Peninsula (July 2017)

A.V. Losev¹, V.V. Maksimova^{2,3}, A.G. Mahura⁴, P.V. Amosov², V.I. Demin¹

¹*Polar Geophysical Institute of RAS, Apatity, Russia*

²*Federal Research Centre Kola Science Centre of the RAS*

³*Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, Apatity, Russia*

⁴*Helsinki University, Helsinki, Finland*

In 2021, the INEP KSC and PGI of RAS within a framework of the international project “Enviro-PEEX(Plus) on ECMWF: Research and development for integrated meteorology – atmospheric composition multi-scales and – processes modeling for the Pan-Eurasian EXperiment (PEEX) domain for weather, air quality and climate applications” (2021-2023, https://www.atm.helsinki.fi/peex/index.php/enviro-peex_plus) have started the studying of a modern approach for integrated environmental modeling with the Enviro-HIRLAM (Environment - High Resolution Limited Area Model; *Baklanov et al.*, 2017) which can be utilized to investigate selected dusting episodes originated from dump-tailings at the mining industry facilities of the Kola Peninsula, Russia.

The main aim of this study is to identify the features of the temperature and wind regimes in the troposphere and stratosphere over the Kola Peninsula (with a focus on the Khibiny and Lovozero mountain massives) for a selected summer period (on example of July 2017). Selection of the mountain area is supported by the fact that the regional weather is determined not only by the synoptic macroscale circulation of the atmosphere, but also by its dominant orography, as well as by meso-scale climatic features that affect processes of air mass transport in this given geographical region.

To achieve the aim, various meteorological parameters of the troposphere and stratosphere were calculated using the Enviro-HIRLAM model. This high-resolution model is an integrated system for numerical weather prediction and atmospheric transport and deposition of pollutants. It is used both for scientific research and for operational forecasting of weather and air quality for scales ranging from regional to urban. Various modules are used to calculate emissions, advection, horizontal and vertical mixing, wet and dry deposition, convection, chemical and aerosol transformations and feedbacks, accounting for urbanization types, downscaling of model domains with different horizontal resolutions, etc.

To perform numerical experiments, two model domains were built. The ECMWF’s (European Center for Medium-range Weather Forecast) boundary conditions are used to run the model on the outer domain, and then, the resulting meteorological fields are taken as boundary conditions for the inner model domain.

Based on the simulation results obtained for July 2017, spatio-temporal fields of the air temperature and wind characteristics were constructed at the model levels as well as on standard isobaric surfaces (from 1000 to 10 hPa). In this study, we analyzed the values of the considered meteorological parameters in the main layers of the atmosphere: (i) in the troposphere - in the surface layer (up to 100 m), in the boundary layer (up to 1.5 km), in the free troposphere (up to the tropopause, taking into account a peculiarity of the northern latitudes), and (ii) in the stratosphere. Specific features were revealed in the distribution of meteorological parameters in different layers of the atmosphere. According to the simulation results, the daily variations of the studied meteorological parameters were constructed and analyzed.

Baklanov A., Korsholm U.S., Nuterman R., Mahura A., Nielsen K.P., Sass B.H., Rasmussen A., Zakey A., Kaas E., Kurganskiy A., Sørensen B., and González-Aparicio I. 2017. Enviro-HIRLAM online integrated meteorology–chemistry modelling system: strategy, methodology, developments and applications (v7.2), *Geosci. Model Dev.* No. 10, P. 2971-2999. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2971-2017>.

The reaction of the upper atmosphere to solar activity in September 2017

P.O. Pikulina¹, I.A. Mironova¹, E.V. Rozanov^{1,2}, T.V. Sukhodolov^{1,2}, A.V. Karagodin¹

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*Physikalisch-Meteorologisches Observatorium World Radiation Center, Davos, and IAC ETH, Zurich, Switzerland*

In the beginning of September 2017, the solar active region AR2673 caused intense solar-terrestrial disturbances. This active region generated several M and X class solar flares, which were accompanied by CMEs. The most powerful solar flares X9.3 and X8 occurred on September 6 and 10, 2017, respectively. Both flares caused an increase in radiation in the extreme ultraviolet and soft X-ray ranges of the solar spectrum. In the period from September 7 to 8, 2017, very strong magnetic storms of the G4 NOAA level were observed. AIMOS (Atmospheric Ionization Module OSnabrueck) model was used for the analysis of ionization rates during these storms. The FISM2 (Flare Irradiance Spectral Model-Version 2) empirical model was used to obtain data on radiation fluxes from solar flares. To analyze the effect of radiation on the neutral atmosphere, the HAMMONIA chemical-climatic model was used. The paper considers the influence of high solar activity on the upper atmosphere in September 2017.

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project RSF No. 20-67-46016) and was done in the SPBU “Ozone Layer and Upper Atmosphere Research Laboratory” supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement 075-15-2021-583.

Electronic kinetics of molecular nitrogen in the middle atmospheres of Titan and Earth during precipitations of high-energetic particles

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 kinetics of molecular nitrogen in the middle atmospheres of Titan and Earth during precipitations of high-energetic particles. The Titan’s atmosphere is considered as the mixture of N₂-CH₄-H₂-CO gases with admixtures of hydrocarbons. The Earth’s atmosphere is considered as the mixture of N₂-O₂ gases. The role of molecular inelastic collisions in intramolecular and intermolecular electron energy transfer processes is investigated. It is shown that inelastic molecular collisions influence on vibrational populations of metastable molecular nitrogen at the altitudes of the middle atmospheres of both planets. The important role of metastable molecular nitrogen in the production of radicals is shown.

Microwave observations extremes variations of the tropospheric water vapour and mesospheric ozone

Y.Y. Kulikov

Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia

I would like to present your attention some surprising results of the last years which concern measurements of thermal atmospheric emission on millimeter waves in a line of ozone [1-3]. In the middle atmosphere in sub polar and polar latitudes (above Peterhof and Apatity), there have been significant variations (by several times) in the ozone content at heights of 40–60 km due to sudden stratospheric warmings [2, 3]. Let’s note, that all millimeter wave measurements were carried out with the help mobile ozonimeters (observation frequency 110.8 GHz) [4]. The

parameters of a device 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. In report the possible reasons of occurrence of the significant variations water vapour and mesospheric ozone are discussed.

1. Y.Y. Kulikov, A.A. Krasilnikov, V.M. Demkin, V.G. Ryskin. Variations in the concentrations of mesospheric ozone during the total solar eclipse of March 29, 2006 from microwave radiometric data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic*. V. 44, No 4, P. 486-490, doi:10.1134/S0001433808040099, 2008.
2. Y.Y. Kulikov, A.V. Poberovskii, V.G. Ryskin, V.A. Yushkov. Detection of large fluctuations in ozone content in the middle atmosphere during sudden stratospheric warmings and subpolar latitudes of the Arctic. *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 60, No. 2, P. 254-262, doi:10.1134/S0016793220020097, 2020.
3. Y.Y. Kulikov, A.F. Andriyanov, V.I. Demin, V.M. Demkin, A.S. Kirillov, V.G. Ryskin, V.A. Shishaev. The microwave monitoring of the middle atmosphere ozone on Kola Peninsula during last three winters. "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XLIV Annual Seminar, Apatity, P. 168-171, doi: 10.51981/2588-0039.2021.44.039, 2021.
4. Y.Y. Kulikov, A.A. Krasilnikov, A.M. Shchitov. New mobile ground-based microwave instrument for research of stratospheric ozone (some results of observations) The Sixth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves Kharkov, Ukraine June 25-30, 2007 (MSMW'07) Proceeding, V. 1, P. 62-66, 2007.

Simultaneous microwave monitoring the diurnal variations of the mesospheric ozone on level 60 km in December 2021 on Apatity and Peterhof

Y.Y. Kulikov¹, A.F. Andriyanov¹, V.B. Belakhovsky², V.I. Demin², V.M. Demkin³, A.S. Kirillov², A.V. Losev², A.V. Poberovsky⁴, 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*

⁴*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

We present data continuous series of microwave observation of the middle atmosphere ozone in December 2021 above Apatity (67N, 33E) and Peterhof (60N, 30E). Measurements were carried out with the help of two identical mobile ozonemeter (observation frequency 110836.04 MHz). The parameters of each device 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 were compared to satellite data MLS/Aura. The microwave data on the behavior of mesospheric ozone (altitude 60 km) indicate the presence of both photochemical and dynamic components in its changes.

Ozon layer in the past and future

E.V. Rozanov^{1,2}

¹*University of St-Petersburg, St-Petersburg, Russia*

²*PMOD/WRC, Davos, Switzerland*

The ozone layer is essential for the existence of biological objects on the Earth's surface. The state and evolution of the ozone layer is determined by many interacting anthropogenic and natural factors, such as emissions of greenhouse gases and reactive gases, volcanic eruptions, solar activity energetic particle precipitations, and the state

Low atmosphere, ozone

of the geomagnetic field. These factors can affect the ozone layer through a variety of processes, including chemistry, radiation, dynamics, and atmospheric and oceanic transport. Consequently, understanding and forecasting the state of the ozone layer can only be achieved using a model that includes all or at least most of the above processes. In the first part of the report, I will show some of the results that characterize each of the mentioned influencing factors. Then I will discuss the evolution of the ozone layer. Before the industrial era the ozone layer state was controlled by natural factors. Anthropogenic activities and related emissions of greenhouse gases and halogenated gases began to play an important role in the 1970s, leading to the depletion of the ozone layer in the late 20th century and some stabilization because of the restrictions imposed by the Montreal Protocol and its amendments. Finally, the recovery of the ozone layer in the future and the potential causes that could hinder it will be considered.

Анализ отклика свечения молекулярного кислорода на вариации температуры средней и верхней атмосферы в зависимости от солнечной активности и сезона на средних широтах Земли

О.В. Антоненко, А.С. Кириллов

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

Рассмотрены результаты исследований отклика температуры средней и верхней атмосферы Земли в зависимости от высоты, времени года и солнечной активности на средних широтах Земли. Данные результаты по высотному распределению отклика температуры в зависимости от солнечной активности показывают, что наибольшие сезонные вариации температуры наблюдаются на высотах 80–95 км. Представлены рассчитанные высотные распределения объемных интенсивностей излучения полос молекулярного кислорода, связанных со спонтанными переходами $A^3\Delta_u(v'=3-6) \rightarrow a^1\Delta_g(v'')$ и $A^3\Sigma_u^+(v'=3-8) \rightarrow X^3\Sigma_g^-(v'')$, для условий низкой ($F_{10.7}=75$) и высокой ($F_{10.7}=203$) солнечной активности на средних широтах Земли для различных месяцев года. Показано, что наибольшие сезонные вариации объемных интенсивностей излучения полос наблюдаются также на высотах 80–95 км. Рассчитаны значения интенсивности излучения $I(\text{см}^{-2}\text{с}^{-1})$ (гистограммы) различных полос Герцберга I для различных месяцев года в условиях высокой солнечной активности. Показано, что значения интенсивности излучения меняются в зависимости от сезонов года.

Создание однородного ряда среднемесячных температур воздуха и оценка климатических изменений в Апатитах (Мурманская область)

В.И. Демин

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

Несмотря на продолжительную историю метеорологических измерений (первые наблюдения начались на почтово-телеграфной станции «Хибины» еще в 1900 г.), длинный ряд по температуре воздуха для Апатит отсутствует. Современная гидрометеорологическая станция (ГМС) «Апатиты» в поселке «Тик-губа» работает только с сентября 1978 г. Прямое объединение рядов ГМС «Хибины, опытное поле» (измерения 1924/1927 – 08.1978 гг.) и ГМС «Апатиты» некорректно из-за появления в объединенном ряду неоднородности, вызванной разными микроклиматическими условиями размещения метеоплощадок.

На основе измерений, произведенных на современной ГМС «Апатиты» и на авиационной метеорологической станции «Апатиты» в поселке «Тик-губа» (на территории гидроаэропорта) с привлечением данных ГМС «Хибины, Имандра», «Хибины, опытное поле», «Кандалакша», «Ловозеро», создан непрерывный композитный ряд среднемесячных температур воздуха в Апатитах, начинающийся с

1900 г. Статистическими тестами показано отсутствие в нем структурных сдвигов (неоднородностей первого и второго рода). На основе норвежских и шведских ГМС рассчитаны многолетние нормы для Апатит в так называемый доиндустриальный период (1850-1900 гг.). Среднесезонные температуры XXI в. (2001-2021 гг.) в Апатитах выше аналогичных температур периода 1850-1900 гг. на 2.6, 2.5, 1.2 и 1.9°C (зимой, весной, летом и осенью соответственно).

Особенности вертикального распределения температуры воздуха в Апатитах в различные сезоны

В.И. Демин, Б.В. Козелов

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

На основе измерений на метеорологических станциях, маршрутных измерений, а также данных микроволнового температурного профилера МТП-5РЕ выполнен анализ вертикального распределения температуры воздуха в городе Апатиты и его окрестностях в различные сезоны (абсолютные высотные отметки от 127 до 200 м н.у.м.).

С марта по октябрь распределение температуры воздуха зависит от времени суток. В ночные часы, включая и период полярного дня, наблюдается инверсия в слое примерно до 180-220 м н.у.м. с характерными для этого периода градиентами от -4 до -1°C/100 м. Днем температура практически линейно убывает с высотой, причем в теплый сезон градиент близок или даже превышает сухоадиабатический. С ноября по февраль при сохранении синоптической ситуации тип распределения в течение суток не меняется. Инверсия захватывает слой до 400-500 м н.у.м. Изменения температуры с высотой, в т. ч., и в слое инверсии, сильно нелинейные. Наибольшие градиенты наблюдаются в самом нижнем 50-70-метровом слое от поверхности: в среднем от -5.6 до -2.2°C/100 м до, но в период эксперимента они достигали и 15-18°C/100 м. Последние значения характерны для понижений рельефа (озерные котловины, долины рек и т.п.) из-за формирования в них в периоды установившейся штилевой малооблачной погоды «озер холода».

Кинетика N₂ и O₂ в средней атмосфере Земли во время событий GLE

А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

Солнечные протоны, проникающие в атмосферу Земли, характеризуются как мягкими энергетическими спектрами (энергии порядка нескольких десятков и сотен МэВ), так и релятивистскими энергиями. Релятивистские высокоэнергичные протоны обнаруживаются наземными нейтронными мониторами, размещенными в полярных областях, как Ground Level Enhancements события (события GLE).

Рассмотрены механизмы образования электронно-возбужденных и колебательно-возбужденных молекул молекулярного азота на высотах средней атмосферы при выпадении высокоэнергетических протонов. Расчеты выполнены для событий GLE65 (28.10.2003), GLE67 (02.11.2003), GLE69 (20.01.2005). Основные результаты этих расчетов следующие.

Показано, что высотные профили объемных интенсивностей излучения полос 1PG системы 669 нм и 749 нм (спонтанный излучательный переход $V^3P_g, v' \rightarrow A^3\Sigma_u^+, v''$) показывают значительное уменьшение по сравнению с интенсивностью излучения полосы 2PG системы 337 нм (спонтанный излучательный переход $S^3\Pi_u, v' \rightarrow V^3\Pi_g, v''$) на высотах средней атмосферы Земли. Уменьшение можно объяснить высокими скоростями тушения состояния V^3P_g при молекулярных столкновениях с молекулами N₂ и O₂ по сравнению со скоростями тушения состояния $S^3\Pi_u$.

Кинетика синглетных состояний O_2 на высотах средней атмосферы рассмотрена как с учетом прямого возбуждения высокоэнергичными протонами и вторичными электронами, так и с учетом процессов переноса электронного возбуждения с метастабильного молекулярного азота $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=0)$ на состояния Герцберга O_2 и перераспределения энергии возбуждения между колебательными уровнями синглетных состояний при неупругих молекулярных столкновениях. Показано, что доминирующий вклад в возбуждение $O_2(a^1\Delta_g)$ и $O_2(b^1\Sigma_g^+)$ вносят процессы прямого электронного возбуждения.

Исследование колебательных населенностей основного состояния $X^1\Sigma_g^+, v>0$ во время события GLE69 на высотах средней атмосферы показало различные основные механизмы в возбуждении молекулярного азота. Во-первых, возбуждение вторичными электронами является принципиальным для всех колебательных уровней. Во-вторых, получается, что процесс внутримолекулярного переноса энергии с метастабильного состояния $A^3\Sigma_u^+$ при столкновениях $N_2(A^3\Sigma_u^+, v'=0-5)+N_2$ доминирует в колебательном возбуждении высоких колебательных уровней $v=20-30$ основного состояния $X^1\Sigma_g^+$ молекулярного азота. Колебательно-возбужденные молекулы азота могут играть очень важную роль в колебательном возбуждении парниковых газов и в балансе инфракрасного излучения средней атмосферы Земли во время возмущений.

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».

Численное моделирование циркуляции нижней и средней антарктической атмосферы и влияния на нее земного рельефа в летних условиях

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

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

В настоящей работе приводятся и сравниваются между собой результаты численного моделирования крупномасштабной циркуляции высокоширотной нижней и средней атмосферы Южного полушария. Эти результаты получены по двум различающимся вариантам одной и той же математической модели. Имеется в виду численная глобальная модель горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, которая была ранее разработана в Полярном геофизическом институте. Эта модель неоднократно усовершенствовалась и применялась для исследования общей циркуляции атмосферы Земли. В первоначальных вариантах численной модели земная поверхность считалась гладкой, а в более поздних вариантах модели был учтен рельеф земной поверхности.

Применяемая 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. Негидростатичность модели позволяет получать с ее помощью более точные результаты, чем с использованием гидростатических моделей.

В настоящей работе приводятся и анализируются результаты расчетов системы горизонтального и вертикального ветра в земной антарктической атмосфере в январских условиях. 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 земного рельефа на циркуляцию нижней и средней антарктической атмосферы.

Системы внутренних гравитационных волн в средней и верхней атмосфере Земли, порожденные обтеканием горных массивов течениями в нижней тропосфере

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

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», 184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Академгородок, 26а

E-mails: *mingalev_i@pgia.ru; orlov@pgia.ru; godograf87@mail.ru; mingalev@pgia.ru*

В докладе обсуждаются результаты численного моделирования общей циркуляции атмосферы Земли в диапазоне высот 0-90 км для условий января, марта и июля, полученные с помощью газодинамической модели с полноценным учетом радиационного нагрева-выхолаживания воздуха. Анализируются система внутренних гравитационных волн в средней и верхней атмосфере Земли, которая возникает при обтекании горных массивов Анды и Кордильеры зональными течениями в нижней тропосфере над Тихим океаном, и вертикальный перенос в средней и верхней атмосфере. Также анализируются особенности циркуляции в стратосфере и нижней мезосфере. Показано, что разработанная авторами модель воспроизводит приземные ячейки циркуляции в меридиональном и вертикальном направлениях над океанами, крупномасштабные вихри, подъем тропопаузы над зимней полярной областью, циркумполярные вихри и потепление в верхней части стратосферы и нижней мезосферы в полярной области зимнего полушария.

Ключевые слова: моделирование общей циркуляции атмосферы Земли, особенности циркуляции в стратосфере и нижней мезосфере

Результаты тестирования радиационного блока модели общей циркуляции атмосферы Земли

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

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

E-mails: *godograf87@mail.ru; mingalev_i@pgia.ru; orlov@pgia.ru*

В докладе обсуждаются результаты тестирования двух блоков модели общей циркуляции атмосферы Земли. Первый блок предназначен для расчета поля собственного излучения в диапазоне частот от 10 до 3000 см⁻¹, а второй блок – для расчета поля солнечного излучения в частотном диапазоне от 2000 до 50000 см⁻¹. В каждом из этих блоков используется своя параметризация оптических параметров воздуха в интервале высот от поверхности Земли до 90 км. При построении этих параметризаций учитывалось изменение газового состава атмосферы с высотой, а также нарушение локального термодинамического равновесия в колебательных полосах углекислого газа с длиной волны около 4,3 и 2,7 мкм на высотах выше 70 км. Для численного решения уравнения переноса излучения использовался метод дискретных ординат. Результаты расчетов, выполненных с помощью указанных блоков модели, сравниваются с результатами эталонных расчетов поля собственного излучения и поля солнечного излучения в нижней и средней атмосфере Земли, выполненных с очень высоким разрешением по частоте.

Association of solar spots and CME's with diurnal rhythm disturbance in meteo sensitive plants and with randomness lack events in coin-toss experiments

P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva

Polar Alpine Botanical Garden-Institute, RAS

The long-term observation of indoor *Marantha leoconeura* and *Ctenanthe setosa* plants under regulated lab conditions has revealed the explicit disturbance of daily nastic leaves movement. It was shown that the ordinary diurnal rhythm failure was followed either solar spot formation or CME's oriented to Earth direction. The about fortnight cycles, circaseptan and circasemiceptan cycles in plant multi-diurnal nastic leaves movement were revealed by spectral analysis. In accordance to Simon Shnoll macroscopic fluctuations conception the external effects presumably of cosmic provenance are capable to modulate terrestrial physical processes including random ones. To check out the consequences of the conception the long-terms coin toss experiments and daily random numbers generation with SRP-285II "CITIZEN" were carried out. The two kinds of deviation of normal expected top-tail coin distribution were found. The recurrent ones were often synchronized with unusual plant physiological behavior meanwhile others events showed absolutely unpredicted occurrence. The possible cause-effect relations of observed phenomena with current solar activity are discussed in terms of pair-wise and cross correlation and cycles observed signature.

Потенциальные источники опасностей и чрезвычайных ситуаций гелиогеофизического характера

Э.Г. Мирмович, к.ф.-м.н., доцент

ООО «Интеграл», г. Москва; e-mail: mirmovich1940@mail.ru

В системе обеспечения безопасности многокомпонентные угрозы из космоса входят в число самых опасных потенциальных источников чрезвычайных ситуаций (ЧС), имеющих синергетический характер. Наряду с реальной астероидно-кометной опасностью (АКО) [1], подчиняющейся подобно крупным землетрясениям распределению с т. н. «тяжёлыми хвостами», в ряду негативных воздействий на жизнедеятельность людей и объекты экономики комплекс гелиогеофизических возмущений, включающий в себя солнечные вспышки и геомагнитные бури и получивший в последнее время возрождённый после А. Л. Чижевского термин «космическая погода», занимает своё заметное место. Кстати, свой вклад в это «возрождение» внёс и автор своей статьёй 1986 года [2], где «обозначил» всю проблематику этой области окружающей среды и ввёл соответствующие параметры прогноза: входные – «предикторы», а выходные – «предиктанты», а также предвестники.

Необходимым условием реализации ПИЧС (потенциального источника чрезвычайной ситуации) в ЧС является наличие в зоне его воздействия людей или объекта экономики.

Учёными и специалистами МЧС России ещё в 1993 году были выработаны критерии неблагоприятных и опасных гелиогеофизических явлений, могущих привести к ЧС, и введены в систему предупреждения органов государственной власти, Вооружённых Сил РФ и оповещения населения об опасных природных явлениях, в целях предотвращения гибели людей на земле и в околоземном космическом пространстве (ОКП) при орбитальных полётах, снижения экономического ущерба [3]. ПИЧС гелиогеофизического характера классифицируются по двум состояниям обстановки в ОКП: радиационной и магнитно-ионосферной. Таковыми являются: плотность потока заряженных частиц по измерениям в полярных шапках

магнитосферы Земли или вне магнитосферы, а также ионосферные эффекты солнечных вспышек и магнитных бурь, приведенных в [3, 4].

Однако есть необходимость дополнения и корректировки данных критериев, что связано с фундаментальными результатами в экспериментальном изучении Солнца, а также ОКП как в ионосферно-магнитной, так и в радиационной составляющей. Так, не учтены риски негативного влияния магнитных бурь на энергетические и транспортные объекты экономики, от засорения ближнего космоса мусором, которые стали превышать риск АКО. Считалось, что в СКЛ нет первичных нейтронов или их пренебрежимо мало, а нейтронная компонента, регистрируемая мониторами – это лишь вторичные частицы + фон из недр планеты. Но по измерениям приборами GRS на ИСЗ "SMM" и СОНГ на ИСЗ "КОРОНАС-Ф", на аэростатах и в ряде других современных экспериментов в составе СКЛ регистрируются нейтроны с $E > 20$ МэВ, которые представляют опасность для полётов не только в ОКП, но и на длинных авиатрассах. Такие поправки к критериям ПИЧС будут иметь значимое биолого-социальное и экономическое значение.

1. Мирмович Э.Г., Крымская астрофизическая обсерватория и предупреждение ЧС типа астроблем наземными средствами диагностики / Проблемы прогнозирования ЧС. XIII НПК, 14–15.05.14. Сб. мат. М.: ФКУ «Антистихия» МЧС России, 2014. С. 78–80.

2. Мирмович Э.Г., Прогноз погоды средней атмосферы / «Человек и стихия», Ежегодник. М.: «Наука». 1986. С. 77–80.

3. Мирмович Э.Г., Арктика как междисциплинарная экспериментальная лаборатория исследования геосферных возмущений гелиогеофизического происхождения // Научный электронный архив. url: <http://econf.rae.ru/article/6546> (дата обращения: 17.02.2022).

4. Мирмович Э.Г., Потенциальные источники чрезвычайных ситуаций гелиогеофизического происхождения / 16-я Всероссийская открытая научная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», М., ИКИ РАН. 2021. С. 279. <https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf>

Геофизические и биологические эффекты солнечного затмения 1 августа 2008 года

Г.Д. Пак, Н.М. Салихов

*ДТОО «Институт ионосферы» АО «Центр космических исследований и технологий»,
г. Алматы, Республика Казахстан*

Изучение геофизических и биологических эффектов солнечного затмения 1 августа 2008 г. выполнено в условиях высокогорья (h 2750м) на научной станции «Радиополигон Орбита» [N43°03'29,9" E 76°58'25,0"], где на постоянной основе проводится регистрация радиоизлучения Солнца на частотах 1 ГГц и 2,8 ГГц (радиотелескоп ТНА-57) и атмосферных акустических волн в инфразвуковом (ИФ) диапазоне от долей Па до 100 Па (прецизионный микробарограф «ISGM03»). В 2,97 км от Радиополигона Орбита на научной станции «Космостанция» (h3340м) [N43°02'33,9" E76°56'38,1"] проводится регистрация потока гамма-квантов в приземной атмосфере (сцинтилляционный детектор БДЭГ2-39 с кристаллом NaI) и метеоусловий (<http://89.250.81.11>). 1 августа 2008 г. произошло солнечное затмение общей продолжительностью 2:04:47, начало затмения в 10:00:43 GMT, максимальная фаза 11:05:40 (Луна закрыла 83.8% диска Солнца), конец затмения в 12:05:30 (по данным обсерватории «Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова»). В течение часа до-, во время и после затмения у 3-х испытуемых, находящихся в затемненной комнате в положении лежа с закрытыми глазами регистрировали вариабельность ритма сердца (BPC) кардиомониторами фирмы «Polar». В этот день была ясная безоблачная погода. Геомагнитная обстановка спокойная.

Во время солнечного затмения в вариациях микропульсации атмосферного давления (МАТД) в ИФ диапазоне волн преобладали колебания с частотой примерно 0,0012 Гц, которые сохранялись более часа после затмения (рисунок 1).

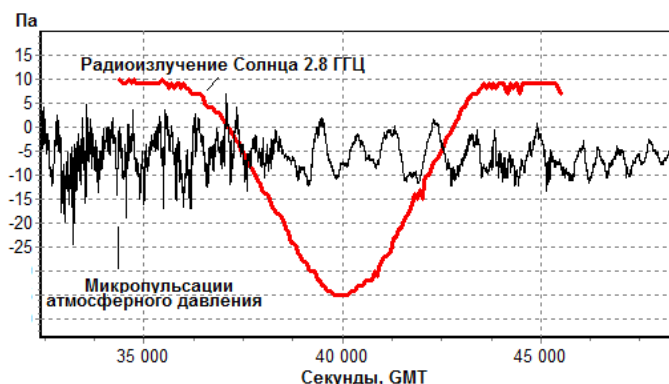


Рисунок 1. Вариации микропульсаций атмосферного давления во время солнечного затмения 1 августа 2008 г. По оси Y – амплитуда вариаций в Паскалях. Радиоизлучение Солнца 2,8 ГГц в относительных единицах. По оси X – время в секундах от начала суток по времени GMT.

Сравнение вариаций МАТД и показателей ВРС в области частот менее 0,003 Гц позволило предположить, что волновая модуляция сердечного ритма во время солнечного затмения испытывает резонансное влияние колебательной ритмики микропульсаций атмосферного давления.

Динамика ВРС во время затмения определялась исходным состоянием механизмов вегетативной регуляции ритма сердца. У лиц с высокими показателями ВРС повышение мощности спектра высоких (HF) и низких (LF) частот на фоне начальной и максимальной фазы затмения сменялось их угнетением в фазе восстановления радиоизлучения Солнца. Спектр мощности очень низких частот (VLF) повышался в начальной фазе и прогрессивно снижался от максимальной до конечной фазы затмения. Обращает внимание выраженная тенденция к восстановлению исходных показателей ВРС после солнечного затмения (рисунок 2).

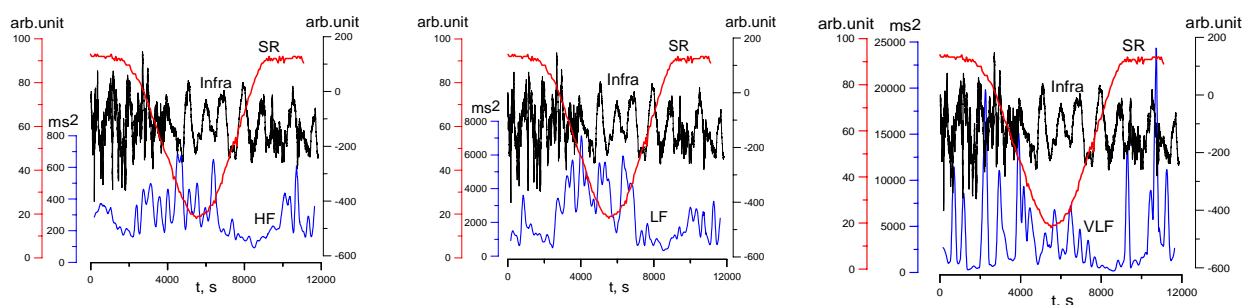


Рисунок 2. Мощность динамического спектра HF (0,4-0,15 Гц), LF (0,15-0,03 Гц), VLF частот (0,03-0,003 Гц) во время солнечного затмения. SR - радиоизлучение Солнца 2,8 ГГц, Infra – МАТД в инфразвуковом диапазоне. По оси X – время в секундах от начала суток по времени GMT.

У испытуемого с низкой вариабельностью ритма сердца во время солнечного затмения наиболее четко проявилось повышение мощности спектра LF частот, обусловленное активацией симпато-адреналовой системы, и снижение спектральной мощности в диапазоне HF, VLF и UVLF частот.

Во время солнечного затмения зарегистрировано понижение барометрического давления на 0,189 мбар, понижения температуры атмосферного воздуха на 1,38 °С и интенсивности потока гамма-квантов в диапазоне энергий 60-120 кэВ (рисунок 3). Для удобства на графиках приведено изменение радиоизлучения Солнца во время затмения.

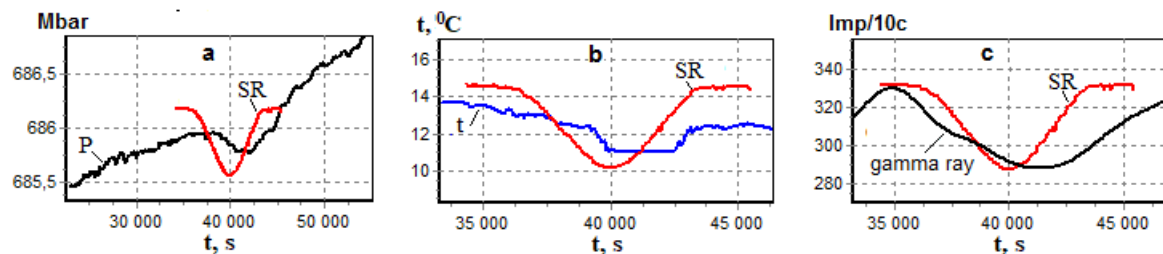


Рисунок 3. Изменения барометрического давления (а), температуры (b) и потока гамма-квантов (с) в приземных слоях атмосферы во время солнечного затмения 1 августа 2008 г. SR – радиоизлучение Солнца 2,8 ГГц в относительных единицах, P – атмосферное барометрическое давление, t – температура и поток гамма-квантов в приземной атмосфере. По оси X – время в секундах от начала суток по времени GMT.

Как было показано нами ранее резонансное влияние на спектральные параметры ВРС оказывают вариации потока гамма-квантов вторичной космической компоненты области VLF и UVLF частот [1]. Предположительно, вариации гамма-квантов могут быть фактором, опосредующим влияние затмения на вариабельность ритма сердца.

1. Салихов Н.М., Пак Г.Д., Крякунова О.Н., Чубенко А.С., Волновая структура сердечного ритма и ее связь с вариациями интенсивности потока гамма-квантов вторичного космического происхождения // Труды IV Всероссийского симпозиума с международным участием «Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение». Ижевск – 2008. – С. 307 - 310.

Работа выполнена при поддержке гранта AP09260262 «Мониторинг и исследование межгеосферных взаимодействий в системе литосфера-атмосфера-ионосфера в геодинамических активных регионах» Министерства образования и науки Республики Казахстан.

AUTHOR INDEX

A

Abunin A.A.	24, 41, 42
Abunina M.A.	24, 41, 42
Adebesin B.O.	52
Adebiyi S.J.	52
Adeniyi J.O.	52
Akhmetov O.I.	34, 55
Alibin D.Yu.	60
Amosov P.V.	67
Andreeva E.S.	53, 62
Andriyanov A.F.	69
Antonenko O.V.	70
Antonova E.E.	20, 24, 27
Antonyuk G.I.	21
Apatenkov S.V.	19
Artemyev A.V.	15, 22, 25, 27, 28, 29, 32
Atanassov A.	15
Ayorinde T.T.	49

B

Balabin Yu.V.	36, 37, 55, 71
Barkhatov N.A.	41
Barkhatova O.M.	17
Barros D.	49
Barsukova A.E.	17, 41
Bekker S.Z.	44
Belakhovsky V.B.	16, 27, 32, 55, 69, 71
Belov A.A.	44
Belov A.V.	24, 41, 42
Beluchenko K.V.	56
Benghin V.V.	21
Bessarab F.S.	54, 57
Bilibio A.V.	49
Bilin V.A.	14, 55
Bojilova R.	15
Bokov V.N.	57
Borisenko A.V.	38
Boroyev R.N.	11
Budnikov P.A.	19, 55

C

Chen G.M.	46
Cheng Z.W.	23
Cherniakov S.M.	45, 57
Chernyshov A.A.	54, 60
Chugunin D.V.	54

D

Dashkevich Zh.V.	46
Demekhov A.G.	28
Demin V.I.	67, 69, 70, 71

Demkin V.M.	69
Denisenko V.V.	45, 47, 54
Despirak I.V.	11, 12, 14, 15
Divin A.V.	22, 23, 47

E

Efimkina E.I.	21
Efishov I.I.	14, 16
Egito F.	49
Ermak V.M.	63
Ermakova E.N.	58
Eselevich M.V.	17
Eselevich V.G.	17
Essien P.	49

F

Fedorenko Yu.V.	19, 29, 34, 60, 63
Fedotova E.A.	73
Figueiredo C.A.O.B.	49
Filatov M.V.	14, 16, 19, 29, 63
Frantsuzov V.A.	28

G

Gao H.	46
Gavrilov B.G.	48, 53, 63
Germanenko A.V.	36, 37, 71
Gomonov A.D.	55, 57
Gordeev E.I.	19, 47, 51
Grach V.S.	28
Gromov S.V.	11
Gromova L.I.	11, 12
Guineva V.	12, 15, 68
Gvozdevsky B.B.	36, 71

H

Harrison R.G.	45
Hutchinson I.	29

I

Ievenko I.B.	20
Ikubanni S.O.	52
Ivanov V.E.	46
Ivanova A.R.	21

K

Kalacheva N.V.	74
Kalashnikova A.S.	62
Kalegaev V.V.	21
Kalishin A.S.	57

Kamaletdinov S.R.	29
Karagodin A.V.	68
Kashulin P.A.	74
Kazantsev L.V.	17
Khalipov V.L.	35, 66
Kirillov A.S.	55, 68, 69, 70, 71
Kirpichev I.P.	20
Kleimenova N.G.	11, 12, 15, 29
Klibanova Yu.Yu.	12
Klimenko M.V.	47, 56, 57
Klimenko V.V.	47, 56
Klimov P.A.	21, 44
Klutse N.A.B.	49
Knyazeva M.A.	58
Kotik D.S.	58
Kozakova E.N.	48
Kozelov B.V.	19, 44, 49, 63, 71
Kozlov D.A.	33
Kozlovsky A.E.	30
Kozyreva O.V.	13
Kryakunova O.N.	24, 41
Kshevetskii S.P.	49
Kudin D.V.	59
Kulikov Y.Y.	68, 69
Kupriyanov A.O.	60
Kurdyaeva Yu.A.	49

L

Larchenko A.V.	19, 60, 63
Lebed O.M.	60
Leonovich A.S.	33, 35, 66
Lomotey S.O.	49
Losev A.V.	67, 69
Lotekar A.	29
Lubchich A.A.	11, 12, 15
Lubchich V.A.	61
Lukin A.S.	22

M

Mager P.N.	31
Mahura A.G.	67
Maksimova V.V.	67
Malova H.V.	26
Malysheva L.M.	11, 12
Manninen J.	29, 31
Marchuk R.A.	12, 50
Matsuoka A.	30
Maurchev E.A.	36, 37, 55, 71
Medvedeva I.V.	53
Melnik M.N.	25, 26, 47
Merzlyi A.M.	18, 26, 34, 57, 60
Mikhailova O.S.	31
Mikhalev A.V.	12
Mikhalko E.A.	36, 37
Miloch W.J.	54
Mingalev I.V.	26, 34, 55, 57, 72, 73

Mingalev O.V.	25, 26, 34, 55
Mingalev V.S.	72, 73
Mirmovich E.G.	61, 74
Mironova I.A.	68
Mishin V.V.	12, 50
Miyoshi Y.	27, 30
Mochalov A.A.	55
Mogilevsky M.M.	54
Moiseev I.A.	57
Moldavanov A.V.	37
Mozer F.	29
Murashov A.S.	44

N

Namgaladze A.A.	51
Nazarkov I.S.	21
Nazrenko M.O.	53
Nikiforov O.V.	18, 57, 60
Nikitenko A.S.	19, 29, 34, 60, 63
Nikolaev A.V.	51
Nikolaeva V.D.	51
Nikolayevskiy N.F.	24
Nosé M.	30
Nosikov I.A.	57

O

Odeyemi O.E.	52
Odeyemi O.M.	52
Ogunlesi O.O.	52
Oinats A.V.	52, 54
Orlov K.G.	72, 73
Ovchinnikov I.L.	20
Oyama Sh.-I.	13

P

Padokhin A.M.	53, 57, 62
Pak G.D.	75
Panchenko V.A.	65
Paramonik I.P.	22, 23
Parkhomov V.A.	17
Parnikov S.G.	20
Pavlov I.A.	62
Penskikh Yu.V.	12
Petrukovich A.A.	15, 18, 22, 28, 60
Pilgaev S.V.	19, 55, 60, 63
Pilipenko V.A.	13, 16, 27, 32, 59
Pikulina P.O.	68
Poberovsky A.V.	69
Podgorny A.I.	38
Podgorny I.M.	38
Poklad Yu.V.	48, 53, 63
Popov V.Yu.	34
Potapov A.S.	50
Pulinets M.S.	20

R

Raita T.	30
Ratovsky K.G.	53, 56
Raykova L.	15
Revunov S.E.	17
Revunova E.A.	41
Rogov D.D.	51, 64
Roldugin A.V.	11, 19, 44, 49
Romanova N.Yu.	65
Romanovskaya Yu.V.	58
Rozanov E.V.	68, 69
Rozhdestvenskaya V.I.	39
Rozhdestvensky D.B.	39
Rubtsov A.V.	30
Ryabov A.V.	58
Ryakhovskiy I.A.	48, 53, 63
Rybakov M.V.	51, 65
Rycroft M.	45
Ryskin V.G.	69

S

Sadovskii A.M.	18
Safargaleev V.V.	30, 43
Sakharov Ya.A.	13, 14, 16, 18, 19, 57, 60
Salikhov N.M.	75
Schur L.I.	36
Seifullina B.B.	24, 41
Selivanov V.N.	14, 16, 18
Semenov V.S.	22, 23
Setsko P.V.	14, 15, 25, 26
Shagimuratov I.I.	14, 16, 19
Shapovalova Yu.A.	61
Sharakin S.A.	44
Shevelev M.M.	32
Sheveleva D.A.	19
Shi J.K.	23
Shklyar D.R.	31
Shlyk N.S.	24, 41, 42
Shorstkii I.A.	31
Shubin V.N.	57
Shustov P.I.	15, 28
Sibeck D.G.	35, 66
Sigaeva K.F.	21
Sinevich A.A.	54
Singh A.K.	40
Smotrova E.E.	31
Sotnikov N.V.	20
Souza J.R.	49
Srivastava P.	40
Stepanova M.V.	20
Sukhodolov T.V.	68
Suvorova Z.V.	34, 55, 57

T

Takahashi H.	49
-------------------	----

Telegin V.A.	39, 65
Tepenitsyna N.Yu.	14, 16
Timchenko A.V.	54
Titova E.E.	31
Tolstikov M.V.	52
Tonoian D.S.	32
Torkar K.	23
Trofimov D.A.	44
Troshichev O.A.	51
Tsegmed B.	17
Tsepakina I.L.	24, 41

U

Uliev V.A.	64
-----------------	----

V

Valev D.	15
Vasiliev M.S.	11
Vasko I.Yu.	29, 40
Vlasov A.A.	33
Vlasova N.A.	21
Vorobjev V.G.	17, 20, 24

W

Werner R.	12, 15, 68
Wrasse C.M.	49

X

Xu J.Y.	46
--------------	----

Y

Yagodkina O.I.	20, 24
Yagova N.V.	59
Yakimova G.A.	14, 16
Yakovets A.F.	24
Yanakov A.T.	18, 57, 60

Z

Zaitsev I.V.	22, 23
Zakharenkova I.E.	14, 16
Zamogil'nyi D.Yu.	60
Zelenyi L.M.	26
Zhang X.-J.	28
Zhang Z.Y.	23
Zhbankov G.A.	65
Zhu Y.J.	46
Zolotarev I.A.	21
Zolotov O.V.	58
Zolotov S.A.	18

ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
183010, г. Мурманск, ул. Халтурина, 15

POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE
15, Khalturina str., Murmansk, 183010, RUSSIA

