



MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION

POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE

# PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA

44<sup>th</sup> Annual Seminar  
15 – 19 March 2021

**Abstracts**





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

Polar Geophysical Institute

PGI-21-01-141

With support from:



## **PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA**

44<sup>th</sup> Annual Seminar

Abstracts

15 – 19 March 2021

Apatity  
2021

The organizing committee:

Andrey Demekhov (chair)

Andris Lubchich

Irina Despirak

Boris Gvozdevsky

Konstantin Orlov

Tatyana Popova

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, 2021

## CONTENTS

### SESSION 1. GEOMAGNETIC STORMS AND SUBSTORMS

I.V. Despirak, N.G. Kleimenova, L.I. Gromova, V. Guineva, A.A. Lubchich, A.V. Losev, P.V. Setsko, R. Werner	The dayside latitude effects of the geomagnetic supersubstorm observed in the main phase of the magnetic storm on 5 April 2010	12
I.V. Despirak, N.G. Kleimenova, A.A. Lubchich, L.M. Malysheva, A.V. Roldugin, L.I. Gromova	Polar substorms and Svalbard auroras: Case study	12
I.V. Despirak, T.V. Kozelova, B.V. Kozelov, A.A. Lubchich	Observations of substorm activity on 24 December 2014 from the data of MAIN camera system and THD satellite	13
I.V. Despirak, A.A. Lubchich, V. Guineva, N.G. Kleimenova, A.V. Losev, P.V. Setsko, R. Werner	Geomagnetic mid-latitude effects of different substorm types	13
I.E. Fedorov, P.I. Shustov, A.V. Artemyev	One-dimensional current sheet with non-gyrotropic pressure: multi-fluid model and comparison with satellite data	14
L.I. Gromova, N.G. Kleimenova, S.V. Gromov, L.M. Malysheva	SC as the possible source of a dayside polar magnetic bay	14
V. Guineva, R. Werner, R. Bojilova, L. Raykova, I.V. Despirak	Midlatitude positive bays during different solar wind conditions – a case study	15
G.A. Makarov	Seasonal changes in geomagnetic indices - indicators of the magnetospheric ring current	15
A.V. Nikolaev, V.A. Sergeev, M.A. Shukhtina, D.D. Rogov, N.A. Stepanov	On the dipolarization factors affecting the intensity of substorm-related auroral absorption	16
S. Oyama, M. Taishiro, T. Raita, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, S. Kurita	A case study to estimate energy spectra of pulsating auroral electrons from cosmic noise absorption and auroral brightness	16
I.I. Shagimuratov, I.E. Zakharenkova, I.I. Efishov, M.V. Filatov, N.Yu. Tepenitsyna	Day-by-day behavior of GNSS positioning errors and TEC fluctuations associated with auroral disturbances in March 2015	17
D.A. Sheveleva, S.V. Apatenkov, Ya.A. Sakharov, E.I. Gordeev	Auroral structures associated with geomagnetically induced currents	17
R. Werner, V. Guineva, R. Bojilova, L. Raykova, A. Atanassov, D. Valev, A.A. Lyubchich	Calculation of the perturbations of the horizontal magnetic component for the determination of the Magnetic Positive Bay index	18
I.V. Zaitsev, A.V. Divin, V.S. Semenov	Weak dependence of the reconnection rate on inflow ion temperature	18

Т.В. Аксенович, В.Н. Селиванов	Исследование геоиндуцированных токов с использованием методов оконного преобразования Фурье и вейвлет-преобразования	19
Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев, Е.А. Ревунова, О.И. Ягодкина, И.С. Ундалова	Нейросетевая классификация причинно-следственной связи суббуревой активности с параметрами магнитных облаков солнечного ветра	19
Р.В. Васильев, А.В. Ойнац, Ю.В. Калашников	Вариативность параметров атмосфериков от ближних гроз, регистрируемых в приполярной области во время геомагнитных возмущений	20
В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, О.М. Бархатова, О.И. Ягодкина, Д.С. Долгова	Нейросетевой анализ особенностей генерации высокоширотных геомагнитных возмущений, вызываемых оболочками магнитных облаков солнечного ветра	20
Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин	Пространственно-временное самоподобие на малых масштабах в суббуревых активизациях по данным высокоскоростной камеры в Ловозеро	21
О.В. Мингалев, П.В. Сецко, М.Н. Мельник, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, Л.М. Зелёный	Влияние ионов кислорода и фоновых протонов на квазиравновесные конфигурации токового слоя в ближнем хвосте магнитосферы	22
В.А. Пархомов, В.Г. Еселевич, М.В. Еселевич, Б. Цэгмед, А.Г. Яхнин, С.Ю. Хомутов, Р.А. Рахматуллин, Т. Райта	Глобальный сценарий в геомагнитных пульсациях изолированной суббури, генерированной диамагнитной структурой медленного солнечного ветра 22.12.2015	22
Ю.В. Пенских, С.Б. Лунюшкин, В.Э. Капустин	Авроральные овалы в двух полушариях для разных уровней магнитной активности по данным наземного геомагнитного метода	23
М.В. Филатов, Р.Ю. Юрик, С.В. Пильгаев, И.И. Шагимуратов, Ю.В. Федоренко, М.В. Швец, А.В. Ролдугин, А.В. Ларченко, Ю.А. Шаповалова	Влияние авроральных явлений на работу навигационных систем во время бури 14 ноября 2012 по данным обс. Баренцбург	23
С.А. Черняева, Е.И. Гордеев, С.В. Апатенков	Наблюдение локального минимума $B_z$ в ближнем хвосте магнитосферы на фазе роста суббури по данным спутников POES	24

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

Е.Е. Antonova, N.V. Sotnikov, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, I.P. Kirpichev, I.L. Ovchinnikov, M.S. Pulinets, M.V. Stepanova, M. Rojas Gamarra, J. Gonzalez	Topological features of high latitude magnetosphere and problems of outer radiation belt formation	25
I.B. Ievenko, S.G. Parnikov	SAR arcs height during the 24 solar cycle minimum according to observations at the Yakutsk meridian	25
V.V. Kalegaev, A.D. Kugusheva	Magnetospheric sources of high energy electrons precipitating into the Earth's atmosphere	26

P.I. Shustov, A.V. Artemyev, X.-J. Zhang, A.A. Petrukovich	Formation of thermal electron population in the magnetotail: convection heating and scattering induced losses	26
N.A. Stepanov, V.A. Sergeev, D.A. Sormakov, V.A. Andreeva	Empirical model of solar wind dependence of energetic particle fluxes in the plasma sheet transition region	27
V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, E.E. Antonova, I.P. Kirpichev	Ion pressure in the nighttime auroral zone under extreme values of the solar wind dynamic pressure	27
A.G. Yahnin, T.A. Yahnina	Dynamics of relativistic electron fluxes during magnetic storms of 7- 8 September 2017	28

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

P.A. Bespalov	Influence of atmospheric infrasonic macroscopic wave on microscopic wave-particle interaction in the magnetosphere	29
A.A. Chernyshov, M.M. Mogilevsky, D.V. Chugunin, V.I. Kolpak, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, Y. Kasahara	Auroral kilometer radiation observation from the northern and southern sources using the ERG (Arase) satellite	29
A.G. Demekhov, M. Hajoš, J. Manninen, D.L. Pasmanik, A.S. Nikitenko, O. Santolík, C. Martinez-Calderon, K. Shiokawa, M. Ozaki, D.G. Baishev, Y. Miyoshi, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Matsuoka, I. Shinohara	Simultaneous observations of quasi-periodic VLF emissions with two modulation periods by spacecraft and ground based stations	30
V.A. Frantsuzov, P.I. Shustov, A.V. Artemyev	Whistler wave instability in multicomponent electron plasma of the Earth's magnetosphere	30
V.S. Grach, A.G. Demekhov	Evolution of electron velocity distribution function during resonant interaction with a model wave packet of auroral kilometeric radiation	31
K. Hosokawa, Y. Miyoshi, M. Ozaki, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, S. Kurita, Y. Kasahara, Y. Kasaba, S. Yagitani, S. Matsuda, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, R. Kataoka, K. Shiokawa, E. Turunen, T. Raita, T. Takashima, I. Shinohara, R. Fujii	Origin of hierarchical temporal variation in pulsating aurora	31
V.L. Khalipov, A.S. Leonovich, D.G. Sibeck	The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth's inner magnetosphere	32
S. Kamaletdinov, I. Vasko, E. Yushkov, A. Artemyev, R. Wang	Slow electrostatic solitary waves in the Earth's magnetosphere	33

A.S. Lukin, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Stochastic differential equations for modeling of nonlinear wave-particle interaction	33
C. Martinez-Calderon, J.K. Manninen, J.T. Manninen, T. Turunen	Statistical properties and propagation characteristics of unusual high-frequency VLF emissions observed at Kannuslehto, Finland	34
M.M. Mogilevsky, D.V. Chugunin, A.A. Chernyshov, I.L. Moiseenko, T.V. Romantsova, A. Kumamoto, Y. Kasahara, F. Tsuchiya	Two types of "continuum" radiation	34
A.S. Nikitenko, M.V. Kuznetsova, Yu.V. Fedorenko, J. Manninen, N.G. Kleimenova, S.V. Pilgaev, A.V. Larchenko	Wave structure feature of the VLF auroral hiss emissions obtained from the ground-based high-latitude measurements	35
V.A. Pilipenko, E.N. Fedorov, N.G. Mazur	Electromagnetic emission in the Pc1 band: magnetospheric, atmospheric, and man-made sources	35
V.A. Pilipenko, O.V. Kozyreva, E.C. Bland, L. Baddeley	Polar cap ULF pulsations: Coordinated Radar-Magnetometer Observations	36
E.E. Titova, A.G. Demekhov, J. Manninen, A.A. Lubchich, A.S. Nikitenko	Simultaneous ground and space observations of VLF periodic emissions	36
A.G. Yahnin, T.A. Popova, A.G. Demekhov, A.A. Lubchich, A. Matsuoka, K. Asamura, Y. Miyoshi, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, Y. Kasahara, M. Shoji, I. Shinohara, H. Kim, S.J. Noh	Evening side EMIC waves and related proton precipitation induced by a substorm	37
О.И. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, В.Б. Белаховский, З.В. Суворова	Моделирование процесса распространения сигналов радиотехнической системы дальней навигации РСДН-20 «Альфа» в участках волновода Земля – ионосфера с горизонтально неоднородным распределением концентрации электронов	37
В.Б. Белаховский, В.А. Пилипенко, К. Шиокава, Е. Миоши	Исследование P <sub>g</sub> пульсаций по данным спутников ARASE, GOES и наземных станций	38
Е.Н. Ермакова, А.В. Рябов	Особенности суточной динамики поляризационных параметров магнитного шума в диапазоне 0.1-20 Гц на разных широтах	38
В.С. Исмагилов, Ю.А. Копытенко	Береговой эффект в УНЧ вариациях электрического поля	39
В.А. Любчик	Трехмерное моделирование процесса распространения электромагнитных волн КНЧ-диапазона от контролируемого источника в высокоширотных районах Западно-Арктической континентальной окраины на примере полуостровов Рыбачий и Средний	39
М.М. Шевелёв, И.Ю. Васько, А.В. Артемьев	Численное моделирование неустойчивости теплового потока в рамках квазилинейного приближения	40



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

O.A. Danilova, N.G. Ptitsyna, M.I. Tyasto, V.E. Sdobnov	Control of the cosmic rays cutoff rigidity by the parameters of the magnetosphere and solar wind during a strong magnetic storm in early September 2017	41
A.G. Elias, B.S. Zossi, A.R. Gutierrez Falcon, E.S. Comedi, B.F. de Haro Barbas	Long-term trends in cosmic rays and geomagnetic field secular variations	41
M. Kostov, P. Stoeva, A. Stoev	Coronal structures of high resolution at a quiet Sun obtained by photographs from total solar eclipses	41
M.B. Krainev, B.B. Gvozdevsky, O.P.M. Aslam, M.S. Kalinin, M.D. Ngobeni, M.S. Potgieter	On some results of 2D and 3D tasks for the galactic cosmic ray intensity useful for understanding its long-term variations	42
A.P. Manev	Analysis of the emergence of short-term temperature anomalies on the surface of the Black Sea as a result of solar activity	42
A.V. Moldavanov	Eigen energy exchange modes of magnetosphere at long-lasting stochastic coupling with solar wind	43
Devi R. Nair, Prince P.R.	Studies on periodicities of some solar and geomagnetic indices using FFT and Wavelet techniques	44
A.I. Podgorny, I.M. Podgorny, A.V. Borisenko, N.S. Meshalkina	Choice of conditions for MHD simulations above the active region, allowing the study of the solar flare mechanism	44
L. Raykova, A. Stoev, P. Stoeva	Photometry of the brightness of the sky in the cone of the moon shadow during the total solar eclipse on July 2, 2019	45
A.K. Singh, Asheesh Bhargawa	Establishing solar activity trend for solar cycles 21 – 24	45
Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев	Проявление солнечной активности в различных компонентах космических лучей по данным станции Апатиты	46
Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Е.А. Маурчев	Измерения космических лучей в экватории Ледовитого океана с помощью мобильного комплекса	46
Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Е.А. Маурчев	Использование мюонного телескопа в Апатитах для проверки численных моделей прохождения космических лучей через атмосферу	46
А.В. Германенко, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский, Л.И. Щур	Новый детектор в комплексной системе регистрации космических лучей в Апатитах	47
С.В. Громов, Ю.С. Загайнова, Л.И. Громова	Связь направления прихода фронта межпланетной ударной волны со временем старта SC по анализу отдельных КВМ-событий	47
М.С. Калинин, М.Б. Крайнев, А.К. Свиржевская, Н.С. Свиржевский	Сравнительный анализ 2D и 3D подходов к уравнению модуляции ГКЛ: Теория и практика	48

М.Б. Крайнев	О средних характеристиках подъёма зонда в эксперименте регулярного баллонного мониторинга космических лучей	48
М.Б. Крайнев	Об анализе формы импульсов детальной информации эксперимента регулярного баллонного мониторинга космических лучей	48
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко	Измерение потока заряженной компоненты космических лучей с помощью портативного малогабаритного детектора	49
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко	Моделирование нуклон-нуклонных взаимодействий в атмосфере Земли для ядер гелия	49
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко	Методика пересчета результатов моделирования прохождения протонов ГКЛ через атмосферу Земли в эффективную и эквивалентную дозу излучения	50
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Ионизация атмосферы Земли протонами солнечных космических лучей во время события GLE72	50
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Методика интеграции сетки значений жесткости геомагнитного обрезания для моделирования взаимодействия протонов космических лучей с атмосферой Земли	51
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Учет питч-углового распределения в моделировании взаимодействия солнечных протонов с атмосферой Земли для событий GLE	51
В.Н. Обридко, Д.Д. Соколов, В.В. Пипин, А.С. Шибалова	Среднесрочные колебания солнечной активности	52
Д.Б. Рождественский, В.И. Рождественская, В.А. Телегин	Прогноз солнечной активности в начале 25-го цикла	52

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

O.V. Antonenko, A.S. Kirillov	The study of Chamberlain and Herzberg I bands in the nightglow spectrum of the Earth's atmosphere	53
S.Z. Bekker	Influence of the ionization-recombination cycle on the accuracy of calculating the electron concentration in the lower ionosphere	53
P. Bychenkov, Yu. Fedorenko, A. Kozlovsky	Estimation of the electron density profile of the D-layer of the ionosphere in the presence of multiple reflections from the E-layer	53
Jaroslav Chum, Kateřina Podolská, Jan Rusz, Jiří Baše	Medium scale gravity waves in the ionosphere, 3D investigation	54
Zh.V. Dashkevich, V.E. Ivanov, B.V. Kozelov	Features of precipitation electron spectra in the rayed auroras	54
S.A. Dolgacheva, A.V. Nikolaev	Automatic interpretation of high-latitude CADI ionograms: E, Es, F1 and F2 layers detection	55

A.S. Kirillov, R. Werner, V. Guineva	The simulation of vibrational populations of electronically excited N <sub>2</sub> in Titan's upper atmosphere during precipitations of high-energetic particles	55
M.V. Klimenko, V.V. Klimenko, F.S. Bessarab, A.T. Karpachev, K.G. Ratovsky, Yu.V. Yasyukevich, T.V. Sukhodolov, E.V. Rozanov	Results, problems, and perspectives of empirical and numerical modeling of the high-latitude ionosphere	55
B.V. Kozelov, A.V. Roldugin, S. Oyama, Y. Miyoshi	Spatial-temporal evolution of the pulsing aurora patterns observed by fast cameras in Fennoscandia and Kola Peninsula	56
Y.A. Kurdyaeva, S.P. Kshevetskii	Effect of background wind on propagation of atmospheric waves generated by tropospheric sources in the upper atmosphere	56
V.D. Nikolaeva, E.I. Gordeev, D.D. Rogov, A.V. Nikolaev	EUV flux correction for the AIM-E auroral ionosphere photoionization input	57
Sh.-I. Oyama, SDI-3D project members	SDI-3D project	57
M.O. Plaksina	The ionosphere TEC response to the geomagnetic storm during the Saint Patrick's Day (March 17, 2015), obtained by the Madrigal data	58
A.V. Roldugin, S.M. Cherniakov, V.C. Roldugin	Noctilucent clouds in Lovozero on 6 and 7 August 2020	58
V.C. Roldugin, A.V. Roldugin	Interplanetary magnetic field during the weak proton aurora on 6 March 2019	58
V. Safargaleev, T. Sergienko, Y. Ogawa, K. Hosokawa, Y. Miyoshi, Sh.-I. Oyama, S. Kurita, R. Fujii	Altitude of pulsating arcs as inferred from tomographic measurements	59
I.I. Shagimuratov, I.E. Zakharenkova, G.A. Yakimova, M.V. Filatov, N.Yu Tepenitsyna	The effect of annular solar eclipse on June 21, 2020 in the total electron content	59
O.A. Sheiner, F.I. Vybornov	Comparative analysis of CMEs and HSS influence on variations in ionospheric parameters during May 2017	60
A.A. Sinevich, A.A. Chernyshov, D.V. Chugunin, W.J. Miloch, M.M. Mogilevsky	Polarization jet research based on NorSat-1 and Swarm satellites data	60
A.V. Timchenko, F.S. Bessarab, A.V. Radievsky	Application of correlation analysis of Global Ionospheric Maps	60
К.В. Бабайкина	Влияние электронных высыпаний на состояние нижней ионосферы	61
В.Б. Белаховский, Я. Джин, В. Милош	Возмущения GPS сигналов в области каспа по данным наблюдений на архипелаге Шпицберген	61
П.А. Климов, К.Ф. Сигаева	Анализ УФ пульсаций, зарегистрированных телескопом «ТУС» на борту спутника «Ломоносов»	62

Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин	Высотное распределение аврорального свечения по данным триангуляционных измерений с малой базой в Апатитах и Баренцбурге	62
Б.В. Козелов, М.В. Филатов, Е.И. Скиотис	Прототип доступной патрульной авроральной камеры для проекта, реализуемого в рамках программы КОЛАРКТИК	62
А.М. Мёрзлый, А.С. Калишин, Б.В. Козелов, И.В. Крашенинников, И.В. Мингалев, Я.А. Сахаров, А.Б. Талалаев, В.В. Тихонов, М.В. Тихонов, В.Н. Шубин, А.Т. Янаков	Проект экспериментальной односкачковой радиотрассы КВ-диапазона между районами на высоких и средних широтах	63
Э.Г. Мирмович	«Три источника – три составные части» генерации термосферно-ионосферных возмущений	63
С.В. Пильгаев, Б.В. Козелов, М.В. Филатов, Ю.В. Федоренко, А.В. Ларченко, А.В. Ролдугин, П.А. Будников	О возможности исследования связи полярных сияний и индексов сцинтилляций по оптическим и GNSS данным	64
Д.Д. Рогов, П.Е. Барышев, А.С. Калишин, А.В. Николаев, С.В. Новиков, Ю.В. Угрюмов	Исследование ионосферы над Баренцевым морем	64
Я.А. Сахаров, Б.В. Козелов, А.М. Мёрзлый, И.В. Мингалев, З.В. Суворова, С.М. Черняков, В.Н. Шубин, А.Б. Талалаев, В.В. Тихонов, М.В. Тихонов, А.Т. Янаков, А.С. Калишин, М.О. Петров, И.В. Крашенинников	Оценка влияния геомагнитного возмущения на зоны доступности односкачковой связи КВ диапазона	65
С.А. Серебренникова, Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин, А.В. Киселев	Оценка границ локализации возмущений высокоширотной ионосферы по данным GPS/ГЛОНАСС	65
В.А. Телегин, В.А. Панченко, В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, Г.А. Жбанков	Проявление F-рассеяния во время больших изолированных магнитных бурь в 24-ом цикле солнечной активности	66
В.А. Телегин, В.А. Панченко, Н.Ю. Романова, Г.А. Жбанков	Результат сопоставления ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей и направления дрейфа в F-области среднеширотной ионосферы в период "зима-весна 2012 г."	66
В.А. Ульев, Д.Д. Рогов, А.А. Абуни, М.А. Абунина	Связь появления эффекта утреннего понижения поглощения в явлениях ПППШ с асимметричным заполнением полярной шапки и хвоста магнитосферы потоками солнечных протонов	67
О.А. Шейнер	Прогностическая оценка критической частоты слоя F2 ионосферы по наблюдениям радиоизлучения в периоды регистрации корональных выбросов массы на коронографах	67

## SESSION 6. LOW ATMOSPHERE, OZONE

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	68
Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Михалко	Наблюдение эффекта возрастания фонового гамма-излучения при осадках во время научной экспедиции в Ледовитом океане	68
В.И. Демин	О пространственных вариациях изменений температуры воздуха на территории Мурманской области	68
В.И. Демин, Б.В. Козелов, Т.А. Муравьева	Связь вертикального распределения температуры воздуха в Хибинах с температурой воздуха над предгорной равниной	69
В.И. Демин, В.А. Шишаев	Мониторинг приземного озона на территории Мурманской области в 1999-2021 гг.	69
А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Исследование кинетики основных атмосферных составляющих во время выпадения высокоэнергичных протонов в среднюю атмосферу Земли	69
Б.В. Козелов, В.И. Демин, А.В. Лосев	Особенности вертикального распределения температуры воздуха в пограничном слое атмосферы в прибрежных и центральных районах Кольского п-ова	70
И.В. Мингалёв, К.Г. Орлов, В.С. Мингалёв	Результаты численного моделирования зарождения полярных циклонов в высокоширотной атмосфере	70
Е.А. Михалко, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко	Исследование особенностей возрастных изменений фонового гамма-излучения при осадках за 24-й солнечный цикл	71
К.Г. Орлов, И.В. Мингалев, Е.А. Федотова, В.С. Мингалев	Численное моделирование общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли с учетом переноса теплового и солнечного излучения	71
В.Н. Селиванов, А.В. Бурцев, Я.А. Сахаров	Анализ молниевой активности на Кольском полуострове по результатам инструментальных измерений в 2016-2020 гг.	72

## SESSION 7. HELIOBIOSPHERE

N.K. Belisheva, N.L. Solovievskaya	Co-variations of geophysical agents and physic-chemical properties of the skin in examinees on arch. Spitsbergen	73
Е.А. Kasatkina, O.I. Shumilov, M. Timonen	Features of manifestations of millennial-scale solar variability in tree rings from northern Fennoscandia: The end of the Holocene?	74
P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva	Sensitive plants and some random processes monitoring during calm space weather months	74
O.I. Shumilov, Е.А. Kasatkina, M. Timonen, D.V. Makarov	Tree growth response to large eruptions of Icelandic volcanoes at Fennoscandia during the Holocene	75
М.В. Рагульская	COVID-19: особенности пандемии в условиях глобального минимума солнечной активности	75
Author index		77

## **The dayside latitude effects of the geomagnetic supersubstorm observed in the main phase of the magnetic storm on 5 April 2010**

I.V. Despirak<sup>1</sup>, N.G. Kleimenova<sup>2</sup>, L.I. Gromova<sup>3</sup>, V. Guineva<sup>4</sup>,  
A.A. Lubchich<sup>1</sup>, A.V. Losev<sup>1</sup>, P.V. Setsko<sup>1</sup>, R. Werner<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup>*IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow, Russia*

<sup>4</sup>*Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Bulgaria*

It is known that very intense substorms, so-called “supersubstorms” (SSS) usually occur in the main phase of the magnetic storm and are accompanied by positive mid-latitude magnetic bays. It was found that the SSS (AL= -2400 nT) observed on 5 April 2010 at 09.30 UT, i.e., in the main phase of the first magnetic storm of the 24-th cycle of the solar activity, demonstrated some non-typical behavior. Here we studied the planetary space-time distribution of the magnetic disturbances during this SSS using the data collected from the ground-based networks (SuperMAG, INTERMAGNET and IMAGE) as well as the magnetic registrations by the Iridium constellation of 66 satellites at 780 km altitude, distributed over six orbit planes spaced equally in longitude (AMPERE project). The SSS occurred in the evening sector under the negative IMF Bz and By and rather high solar wind dynamic pressure. The SSS westward electrojet developed in the global scale (from the evening side at auroral latitudes to the day side of the polar area). A very complicated latitude structure of the dayside electrojets was observed (IMAGE meridian chain). At polar latitudes (higher than ~70° MLat), there was the negative magnetic bay (~ -700 nT), at auroral latitudes (~57-67° Mlat) the magnetic bay became positive (~ +500 nT), but at middle latitudes, the magnetic bay again changed its sign and became negative (~-120 nT). A very clear negative magnetic bay with amplitude of ~ 60 nT was observed in this time near the equator. We suppose that such strange spatial structure of the dayside westward electrojet could be result of the additional ring current particle precipitation in the ionosphere caused by the elevated solar dynamic pressure in the storm main phase.

This study was supported by the RFBR (project number 20-55-180003 Болг\_а) and National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15).

## **Polar substorms and Svalbard auroras: Case study**

I.V. Despirak<sup>1</sup>, N.G. Kleimenova<sup>2</sup>, A.A. Lubchich<sup>1</sup>, L.M. Malysheva<sup>2</sup>, A.V. Roldugin<sup>1</sup>, L.I. Gromova<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>*IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow, Russia*

Sometimes substorm disturbances can be observed at high geomagnetic latitudes, including at the latitudes of the Spitsbergen archipelago (75.17° N, 113.15° E). We will study one type of high-latitudes substorms - so-called “polar” substorms, which are observed only at geomagnetic latitudes above ~ 70° in the absence of simultaneous geomagnetic disturbances at latitudes below ~ 70° CGLAT. It is known that the “polar” substorms occur usually under quiet or small disturbed conditions in the solar wind: during slow solar wind streams and at the end of a high-speed recurrent stream (HSS). The purpose of our work is the study of the planetary space-time distribution of the magnetic disturbances during the polar substorms using the data collected from the ground-based networks (SuperMAG, INTERMAGNET and IMAGE) as well as the magnetic registrations by the Iridium constellation of 66 satellites at 780 km altitude, distributed over six orbit planes spaced equally in longitude (AMPERE project). 9 cases of polar substorm were selected, during which were registered also the auroras by all sky cameras in Ny-Ålesund and in Barentsburg stations at the Spitsbergen archipelago. In this work we considered one event of polar substorm, registered at ~ 16:00 UT on 17 December 2012 over Svalbard. It is shown that the polar substorm activity is accompanied by positive mid-latitude magnetic bays with amplitudes of ~20 nT (Borok, Belsk etc. stations).

This study was partially supported by the RFBR (project number 20-55-180003 Болг\_а).

## **Observations of substorm activity on 24 December 2014 from the data of MAIN camera system and THD satellite**

I.V. Despirak, T.V. Kozelova, B.V. Kozelov, A.A. Lubchich

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We investigated an interesting case of the space-time dynamics of substorm activations ( $AL \sim 800$  nT) on December 24, 2014, when there were simultaneous observations on the THEMIS D satellite in the plasma sheet ( $|X| \sim 6 R_E$ ) and ground-based observations on the Kola Peninsula. Note, that the initial development of substorm activity in this day, when the onset of disturbances was in the ionosphere near Amderma ( $\sim 16:35$  UT) and several substorm precursors were observed in aurora development westward of the substorm onset location (over Apatity), were considered in detail in our previous work. Here we will consider the following development of the substorm activity on December 24, 2014 after 19 UT. Three peaks in the Pi1B pulsations were recorded in the interval of  $\sim 19:00$  to  $\sim 20:00$  UT at Lovozero station (LOZ), associated with the brightenings of arcs near LOZ. The first peak was associated with the appearance of beads structures along the growth phase arc to the south from LOZ latitude. The second and third peaks in Pi1B pulsations were associated with the expansion phase. In the interval 19:17 - 19:56 UT three dipolarization fronts (DFs) were registered according THD data. DFs were associated with brightening of arcs near the THD projection. According to the IMAGE magnetometers data, the development of substorm injection occurs near the Harang flow shear. According to the data of the all sky camera in Apatity we can follow the development of aurora in this case. It was shown that the development of aurora was organized according to the preceding two-vortex pattern of ionospheric convection observed in the growth phase.

## **Geomagnetic mid-latitude effects of different substorm types**

I.V. Despirak<sup>1</sup>, A.A. Lubchich<sup>1</sup>, V. Guineva<sup>3</sup>, N.G. Kleimenova<sup>2</sup>, A.V. Losev<sup>1</sup>, P.V. Setsko<sup>1</sup>, R. Werner<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Bulgaria*

In this work we compare some mid-latitude magnetic effects of the different types of the storm-time substorms. Several selected events have been studied. We considered two types of substorms: (1) the very intense substorms, with large negative SML index values ( $\leq -2000$  nT), so called “supersubstorms” (SSS), which are usually observed during the magnetic storms caused by CME (SHEATH + magnetic cloud) and (2) the “high-latitude” or “expanded” substorms, which propagated in its progress to the geomagnetic latitudes higher than  $\sim 70^\circ$  CGC and are usually observed during the solar wind HSS. Our study was based on the data from the global magnetometer networks SuperMAG, INTERMAGNET and IMAGE as the mid-latitude positive magnetic bays observed simultaneously with the negative bays at auroral latitudes. It is shown that the maximal amplitude of all considered mid-latitude magnetic bays were registered in the midnight sector. The amplitude of the mid-latitude bays associated with supersubstorms (SSS) was higher than the ones associated with high-latitude (“expanded”) substorms. Besides, the latitude of the conversion of the magnetic bay sign of the magnetic bay was about  $10-15^\circ$  CGLAT lower during the SSSs than during the high-latitude (“expanded”) substorms. The longitudinal expansion of the positive magnetic bays was much larger in case of the SSSs, than in case of the “expanded” substorms.

This study was supported by the RFBR (project number 20-55-180003 Болг\_а) and National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15).

### **One-dimensional current sheet with non-gyrotropic pressure: multi-fluid model and comparison with satellite data**

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

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

<sup>2</sup>*HSE University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

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

One of important and actual space plasma problems consists in development of sufficiently realistic theoretical models of the current sheet in the Earth's magnetotail. The existing current sheet models describe well two-dimensional equilibria with isotropic and gyrotropic plasma pressure tensors, while models of current sheets with non-gyrotropic or anisotropic pressures, which are more realistic and interesting for the Earth magnetosphere plasma dynamics, remain less developed. The most detailed such models are represented by a series of kinetic equilibria with current sheets supported by currents of so-called transient ions moving along "Speiser" orbits. However, such models have no direct analogy in the MHD description. This significantly complicates investigation of current sheet adiabatic evolution, the key process for the long-term formation of a thin current sheet during growth phase of magnetospheric substorm. In this work, we study one of the variants of a multi-fluid one-dimensional models of a current sheet with a non-gyrotropic plasma pressure, which is a distinctive feature of the transient-ion population. We investigate a role of pressure gyrotropy and anisotropy in the current sheet balance. We also provide several examples of comparison of the current sheet macroscopic parameters and spacecraft observations in the Earth's magnetotail. Possible applications of multi-fluid models to generalize the description of the large-scale structure of the magnetotail region is discussed.

### **SC as the possible source of a dayside polar magnetic bay**

L.I. Gromova<sup>1</sup>, N.G. Kleimenova<sup>2,3</sup>, S.V. Gromov<sup>1</sup>, L.M. Malysheva<sup>2</sup>

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

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

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

About 20 SC events, associated mainly with the interplanetary magnetic clouds with SHEATH, have been analyzed during the 24-th solar activity cycle. These events have been chosen as the SC cases happened at the daytime (09-15 MLT) for Scandinavian magnetometer network IMAGE (i.e., at 06-12 UT). It was found that about 80% of them were followed by daytime polar magnetic bays observed at the high-latitude IMAGE stations (above 70° MLAT) in a storm initial phase. We showed that the temporal variation of such bays magnitude and its sign were controlled by the magnitude and sign of the IMF  $B_y$ . The SC effects in the dayside polar magnetic bay generation have been found both under the positive and negative IMF  $B_z$ . Under the positive IMF  $B_z$ , the magnetic bays were observed mainly at the near-noon polar area. But under the negative IMF  $B_z$ , the dayside polar bays were accompanied by the night-side substorms as well. During events under consideration, the planetary distribution of the Field Aligned Currents (FACs) has been studied, basing of the magnetic measurements by 66 ionospheric satellites of the AMPERE project. It was revealed that the SC occurrence changed the FACs location. It was also found that the azimuthal size of the magnetic bay depended on the magnitude of the solar wind dynamic pressure jump. The behavior of the dayside polar magnetic bay could be interpreted in terms of changes in the location of the R1 FACs caused by SC effects.



## **Midlatitude positive bays during different solar wind conditions – a case study**

V. Guineva<sup>1</sup>, R. Werner<sup>1</sup>, R. Bojilova<sup>2</sup>, L. Raykova<sup>1</sup>, I.V. Despirak<sup>3</sup>

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

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

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

The purpose of this work is to study the midlatitude effects during substorms of different intensity. To identify the substorm disturbances, data from the magnetometer networks IMAGE, SuperMAG and INTERMAGNET in the range 31.8° - 75.25° CGMLat and 92° - 104° CGMLon were used. To verify the interplanetary and geomagnetic conditions, data from the CDAWeb OMNI (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>) and the catalog of large-scale solar wind phenomena (<ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/>) and from the WDC for geomagnetism at Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>) were taken. Two isolated substorms were chosen, with different intensity: ALmin ~ -270 nT and ~ -1300 nT, respectively. The first substorm occurred on 6 February 2018, at 21:25 UT, under quiet conditions: during slow solar wind stream, the Interplanetary Magnetic Field (IMF) Bz fell down by 3.5 nT, the minimal AL value in vicinity to the substorm was ~ -270 nT. The second substorm, at 19:10 UT on 27 September 2020, originated under moderately disturbed conditions: Vx ~ -580 km/s and was on the decrease, the IMF Bz jumped down by 8 nT. This substorm was observed during a high-speed stream (HSS) in the solar wind, just after the passage of EJECTA by the Earth, the ALmin was ~ -1300 nT. It was found out, that the latitude of the bay sign conversion from negative to positive values in the case of quiet solar wind conditions, appeared at 7° higher latitude than the one in the case of disturbed conditions. In both cases, the amplitude of the positive bays, after a maximum near the sign conversion latitude decreased gradually towards the lower latitudes, with a difference between the minimal and maximal amplitude of about 50%. The magnetic bays kept their duration throughout the whole latitudinal range, ~115 min. for the first case and ~ 60 min. for the second one. It was ascertained, that the mean positive bays amplitude in the case of disturbed conditions was 2.8 times higher than the amplitude during quiet conditions.

This study was supported National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-180003 Болг\_a).

## **Seasonal changes in geomagnetic indices - indicators of the magnetospheric ring current**

G.A. Makarov

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

The distributions of the daily mean values of the geomagnetic indices Dst, SYM-H and ASY-H are investigated. It was found that SYM-H and ASY-H increase linearly in absolute value with an increase in the Dst module and have seasonal changes with semi-annual increases in their modules during equinox periods. Regression equations are obtained between these indices and Dst. It is shown that such a characteristic of the degree of symmetry of the ring current as the ratio |SYM-H|/(ASY-H) increases with increasing disturbance and approaches 1, which means that the contributions to the indices of the symmetric and asymmetric components of the ring current are comparable.

## **On the dipolarization factors affecting the intensity of substorm-related auroral absorption**

A.V. Nikolaev<sup>1</sup>, V.A. Sergeev<sup>2</sup>, M.A. Shukhtina<sup>2</sup>, D.D. Rogov<sup>1</sup>, N.A. Stepanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

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

In Sergeev et al., 2020 we used linear prediction filter technique and midlatitude positive bay index as a basic tools describing radiowave auroral absorption during isolated substorms. These two key approaches drive a quantitative model of high magnetic latitude electron precipitation in which (1) plasma injection intensity is characterized by the amplitude of magnetic field dipolarization and (2) response function (extracted from riometer records) represents recurring features of auroral absorption. In this study given the close connection of plasma injection region with magnetic field dipolarization we describe injections using the substorm current wedge parameters and test them against maximum westward auroral electrojets strength and midlatitude positive bay indexes. External sources of auroral absorption scattering, i.e. solar wind and corresponding ambient electrons state in the conjugate magnetosphere, were also considered in our multivariable regression analysis.

This research was supported by Russian Fund for Basic Research grant 19-05-00072.

Sergeev, V. A., Shukhtina, M. A., Stepanov, N. A., Rogov, D. D., Nikolaev, A. V., Spanswick, E., et al. (2020). Toward the reconstruction of substorm-related dynamical pattern of the radiowave auroral absorption. *Space Weather*, 18, e2019SW002385. <https://doi.org/10.1029/2019SW002385>

## **A case study to estimate energy spectra of pulsating auroral electrons from cosmic noise absorption and auroral brightness**

Shin-ichiro Oyama<sup>1,2</sup>, Miyamoto Taishiro<sup>1\*</sup>, Tero Raita<sup>3</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>4</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>1</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>2</sup>, and Satoshi Kurita<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*

<sup>2</sup>*National Institute of Polar Research, Japan*

<sup>3</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, Finland*

<sup>4</sup>*Center for Space Science and Radio Engineering, University of Electro-Communications, Japan*

<sup>5</sup>*Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Japan*

\**Now at Nippon Steel Corporation*

This study focused on a pulsating aurora event associated with aurora morphological changes in Fennoscandia at early morning time on 7 March 2017. A high-speed sampling all-sky camera captured equatorward development of the pulsating auroral patch in association with a substorm centered at Greenland/North America region. Of particular interest of this event is interconnection between the auroral intensity and the cosmic noise absorption (CNA) derived from three riometers aligned meridionally in Finland (from north to south: Ivalo, Sodankylä and Rovaniemi). The analysis was made by dividing optical measurements into two oscillation components; longer and shorter than 40 s, that is, non-pulsating and pulsating auroral modulations. The interrelation showed linear correlation and change of the inclination would be interpreted as hardening or softening of the precipitating electron spectrum. In terms of the low-pass component, the inclination of the CNA-vs-intensity interrelation increased at the three riometer latitudes at the substorm recovery phase. On the other hand, in terms of the high-pass component, the inclination decreased at Rovaniemi (lower latitude) but stayed uniform at Sodankylä (higher latitude). These features suggest that the precipitating electron spectrum has softened in the low-pass or non-pulsating auroral component but the spectrum has hardened in the high-pass or pulsating auroral component at the lower side in latitudes of the auroral patch region. This study proposes a new application of the riometer-camera measurement to examination of the auroral particle precipitation.

## **Day-by-day behavior of GNSS positioning errors and TEC fluctuations associated with auroral disturbances in March 2015**

I. Shagimuratov<sup>1</sup>, I. Zakharenkova<sup>1</sup>, I. Efishov<sup>1</sup>, M. Filatov<sup>2</sup> and N. Tepenitsyna<sup>1</sup>

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

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

We analyzed an impact of auroral disturbances on the Precise Point Positioning (PPP) errors and an occurrence of TEC fluctuations in the European sector using GPS measurement of the EPN network. The Scandinavian network magnetograms (<http://space.fmi.fi/image/>) and the auroral electrojet (AE) index were used as an indicator of auroral activity. The GPS signal fluctuation activity was evaluated by using GPS-based indices ROT and ROTI. The positioning errors were determined using the GIPSY-OASIS software (<http://apps.gdgps.net>). The Precise Point Positioning is the processing strategy of a single receiver for GNSS observations that enables the efficient computation of the high-quality coordinates. For quiet conditions, the algorithm provides the daily averaged PPP errors less than 4-5 sm. The detailed analysis of the positioning errors for the auroral station TRO1 (69.5° N, 18.9° E) was carried out. The analysis revealed a regular increase of the positioning errors near the magnetic local midnight MLT (22 UT) during March 2015. During this period, a severe geomagnetic storm was registered with very strong auroral activity (March 17-18, 2015; AE > 2000 nT). At other time of March 2015, the AE index did not exceeded 300-600 nT for time intervals of 18-24 UT. With an increase of auroral activity, we observed the increased TEC fluctuations, as well as increased positioning errors. We should emphasize that even during low auroral activity the positioning errors at the high-latitude station exceeded 0.5-2.5 m. For example, this was registered during March 01, 07, 23, and 28. In this report, we also discuss behavior of the PPP errors during the super-storm of March 17, 2015. At the TRO1 station, the PPP errors reached more than 45 m during daytime when the AE index was more 2500 nT. The increasing errors were observed at latitudes lower than 52-54° N.

The work is partly supported by RFBR, grant 19-05-00570.

## **Auroral structures associated with geomagnetically induced currents**

D.A. Sheveleva, S.V. Apatenkov, Ya.A. Sakharov, E.I. Gordeev

We identified the auroral structures associated with large geomagnetically induced currents (GIC). In total 140 one hour intervals with the largest GIC were selected at the station Vykhodnoy (Kola Peninsula, 65MLat) during 2012-2018. For a subset of 97 events, auroral observations from low-altitude DMSP/SSUSI were available for analysis. As a result, for 27 events (28%), a developing auroral bulge was recorded over the station Vykhodnoy, which corresponds to the explosive phase of the magnetospheric substorm. For 31 events (32%), we detected auroral omega structures within one MLT hour of GIC observations. In the morning sector 01-07 MLT, more than 80% of GIC events were associated with omega structures. Thus, we managed to preliminary classify ionospheric current systems that cause a significant part of extreme GIC events.

The work is supported by the RNF project # 19-77-10016.

## **Calculation of the perturbations of the horizontal magnetic component for the determination of the Magnetic Positive Bay index**

R. Werner<sup>1</sup>, V. Guineva<sup>1</sup>, R. Bojilova<sup>2</sup>, L. Raykova<sup>1</sup>, A. Atanassov<sup>1</sup>, D. Valev<sup>1</sup>, A.A. Lyubchich<sup>3</sup>

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

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

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

During sudden intensifications of the westward electrojet in the midnight auroral zone at midlatitudes positive deviations in the magnetic X component are observed also called midlatitude positive bays (MPB). The magnetospheric substorm onsets are important substorm characteristics. To include MPB and some parameters based on MPB for different substorm days in a substorm data catalogue for the Panagjurishte station, Bulgaria (37.27° CGMLat, 96.883° CGMLon), a programme was worked out based on the McPherron's algorithm to calculate the MPB. The perturbations of the magnetic field were obtained by removing the mean magnetic field under solar quiet (Sq) conditions from the raw data. This field was determined by smoothed cubic splines through averaged night magnetic field components and was subtracted from the observed field. The mean X and Y field components were computed by the first principal component (FPC) obtained by principal component analysis (PCA) for 23 days centred over the substorm day. The resulting mean daily X and Y magnetic components was low pass filtered. The magnetic field deviations were determined subtracting the high pass filtered FPC from the measurements at the substorm day. The X and Y components were high pass filtered keeping only periods shorter than three hours. The power of the filtered magnetic horizontal components is the magnetic positive bay.

The MPB was calculated by the developed programme for the data from 20.02.2008 up to 15.03.2008 of the Honolulu station and the results were compared with the ones published by R.L. McPherron and X. Chu in the Space Science Review in 2016.

This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-180003 Болг\_a).

## **Weak dependence of the reconnection rate on inflow ion temperature**

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

*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

Since the reconnection electric field is a convective electric field of the ion bulk flow within the exhaust, then the reconnection rate is reduced with the suppression of outflow velocity of antiparallel reconnection jet. In turn,

outflow ion velocity has explicit temperature dependence  $V_{out} = \frac{V_A^2}{3} \sqrt{\frac{m_i}{T_{\parallel}^{(i)}}}$ , where  $T_{\parallel}^{(i)}$  - is the estimation of

averaged parallel ion temperature within the exhaust. Ion heating during reconnection events is independent of the initial conditions and is  $\sim 0.2m_i V_A^2$ . Consequently, if the initial upstream ion temperature  $< 1$  (in Alfvén units) then the resulting ion temperature within the exhaust stay the same order of magnitude, and the reconnection rate varies insignificantly but may differ up to a factor of  $\sim 2$ . The scaling of reconnection rate with the variation of ion temperature and density is announced and tested on a set of 2D particle-in-cell simulations.

## **Исследование геоиндуцированных токов с использованием методов оконного преобразования Фурье и вейвлет-преобразования**

Т.В. Аксенович, В.Н. Селиванов

*Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия;  
e-mail: aksenovich.tanya@gmail.com*

В рамках работы над проектом European Risk from Geomagnetically Induced Currents (EURISGIC) на территории Северо-Запада России создана и уже более десяти лет функционирует система для непрерывной регистрации геоиндуцированных токов (ГИТ). Измерительные устройства этой системы установлены в глухозаземленных нейтралях автотрансформаторов на ряде подстанций Мурманской области и Карелии. В ходе исследования было накоплено большое количество данных, фиксирующих последствия геомагнитных возмущений в Кольской энергосистеме (непрерывная регистрация на некоторых подстанциях ведется с 2007 года). Для анализа токов в нейтрали автотрансформатора рассмотрены два метода цифровой обработки данных с частотно-временным представлением: оконное преобразование Фурье и вейвлет-преобразование. На примере анализа геомагнитной бури 7-8 сентября 2017 года (значения геоиндуцированного тока достигали 78 А), приводится сравнение спектрограмм и скейлограмм обоих методов обработки данных. Наиболее подходящим методом для анализа геоиндуцированных токов выбрано непрерывное вейвлет-преобразование. Для скейлограмм непрерывного вейвлет-преобразования характерна хорошая локализация в частотной области без ощутимых потерь качества во временной области. Этот метод анализа позволяет с легкостью определить наличие ГИТ в токе нейтрали и с высокой точностью установить время начала и прекращения его протекания.

## **Нейросетевая классификация причинно-следственной связи суббуревой активности с параметрами магнитных облаков солнечного ветра**

Н.А. Бархатов<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>2</sup>, Е.А. Ревунова<sup>1</sup>, О.И. Ягодкина<sup>2</sup>, И.С. Ундалова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина*

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

В работе представлены результаты развития метода [1] классификации образов причинно-следственной связи суббуревой активности по индексу AL с параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) для солнечных потоков типа магнитное облако (МО). Классификация выполнялась искусственными нейросетями (ИНС) типа слоя Кохонена. Изучаемые образы представляли собой соответствующие минутные данные, отвечающие интервалам наблюдений 23 МО, зарегистрированных в 1998-2012 гг. в интервалы их воздействия на земную магнитосферу. Эти события в [1] подвергались отдельной классификации по параметрам причин (параметры, относящиеся к МО) и последствий (параметры, относящиеся к геомагнитному отклику магнитосферы). Полученные классы сопоставлялись специальным алгоритмом. В случае совпадения класса комбинаций причинных параметров с классом суббуревых следствий, класс объявлялся установленным. Всего было обнаружено 3 класса суббуревой активности.

В настоящем исследовании выполняется совместная причинно-следственная нейросетевая классификация параметров солнечного ветра и ММП для МО с вызываемой ими суббуревой активностью. При этом ставилось целью установить степень согласованности получаемых классов с классами, установленными в [1,2]. Численные эксперименты показали, что наиболее успешная совместная классификация возможна при включении в расчет следующих параметров: экстремум Vz, экстремум NV<sup>2</sup>, интегральный NV<sup>2</sup>, экстремум AL, интегральный AL. В число используемых параметров для новой классификации был включен индекс глобальной геомагнитной активности вычисляемой на основе SYM/H. Учет этого параметра позволил достичь большей согласованности с результатами [1, 2] по определению трех ранее установленных классов. Класс 1 проявляется в динамике индекса AL в виде уединенных слабых суббурь с медленно изменяющейся Vz-компонентой в теле МО с точностью 77%; класс 2 – умеренные проявления суббуревой активности в динамике индекса AL в виде уединенных или серий суббурь, вызываемых интенсивными изменениями Vz в теле МО с точностью 62%; класс 3 – экстремальные проявления суббуревой активности в виде серий

суббурь с экстремальными значениями индекса AL, отождествляемые со значительным ростом интегральной величины NV<sup>2</sup> в теле МО с точностью 85%. Каждый выделенный нами класс представляет собой причинно-следственную связь типов суббурь с конкретным типом возмущений параметров солнечного ветра и ММП в теле магнитного облака.

Успешность выявления конкретных причинно-следственных классов содержащих совместные параметры причин суббуревой активности и ее развития указывает на нелинейные характеристики связи динамики AL индекса с параметрами МО. Важным является то обстоятельство, что результаты нейросетевой классификации вполне согласуются с физическими представлениями о процессах развития суббурь.

1. N.A. Barkhatov, V.G. Vorobjev, S.E. Revunov, O.M. Barkhatova, E.A. Revunova, O.I. Yagodkina, Neural network classification of substorm geomagnetic activity caused by solar wind magnetic clouds // Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics, 205 (2020), 105301, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105301>
2. Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, И.С. Ундалова, Нейросетевая классификация суббуревой активности, вызываемой магнитными облаками солнечного ветра // “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XLII Annual Seminar, Apatity, pp. 36-39, 2019, DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.36-39

### **Вариативность параметров атмосфериков от ближних гроз, регистрируемых в приполярной области во время геомагнитных возмущений**

Р.В. Васильев, А.В. Ойнац, Ю.В. Калашников

Атмосферики – импульсные электромагнитные сигналы ОНЧ-НЧ частотного диапазона от молниевых разрядов, являются достаточно удобным средством анализа распространения длинных радиоволн в волноводе Земля-ионосфера. В работе проведены исследования параметров атмосфериков регистрируемых на ОНЧ приёмнике проект PWING расположенном в выносном наблюдательном пункте ИСЗФ СО РАН «Исток» (70 СШ, 88 ВД) в спокойное время и во время геомагнитных возмущений различного типа.

Для проведения анализа параметров атмосфериков использовался следующий алгоритм регистрации радиоимпульсов принимаемых в радиоэфире. Первоначально по повышению мощности радиосигнала выше некоторого порогового значения определялся момент времени прихода импульса, затем в окрестности этой временной точки осуществлялась минимизация различия временной развертки принятого сигнала и модельной функции атмосферика методом МНК. Полученные параметры модели и точность её подбора использовались для принятия решения, является найденный радиоимпульс атмосфериком или нет. В результате были получены суточные распределения частоты регистрации атмосфериков ОНЧ приёмником, их средняя амплитуда, длительность и скорость перестройки частоты. Указанным методом было проанализировано три временных интервала с развивающимися геомагнитными бурями 26.09.2019-01.09.2019, 16.02.2020-20.02.2020, 22.09.2020-30.09.2020. Полученная временная динамика параметров атмосфериков была сопоставлена с Dst индексом геомагнитной активности.

### **Нейросетевой анализ особенностей генерации высокоширотных геомагнитных возмущений, вызываемых оболочками магнитных облаков солнечного ветра**

В.Г. Воробьев<sup>1</sup>, С.Е. Ревунов<sup>2</sup>, О.М. Бархатова<sup>2</sup>, О.И. Ягодкина<sup>1</sup>, Д.С. Долгова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

В работе рассмотрены особенности генерации высокоширотных геомагнитных возмущений, вызываемых оболочками магнитных облаков солнечного ветра представляющих собой горячую и плотную турбулентную плазму с сильными флуктуациями компонент межпланетного магнитного поля. Для этих целей выполнено нейросетевое классификационное исследование сопоставления динамики параметров оболочек магнитных облаков с динамикой аврорального AL-индекса еще до развития глобального геомагнитного возмущения. Были использованы минутные данные, отвечающие интервалам наблюдений 33 межпланетных магнитных облаков с оболочками, зарегистрированных в 1998-2012 гг. Классификационные эксперименты проводились с раздельным применением комбинаций параметров, отвечающих только причинам возникновения суббурь

и только динамике развития суббурь, согласно методике [1]. Для этого были созданы две разные классификационные искусственные нейросети (ИНС). Первая нейросеть классифицировала параметры, относящиеся к оболочке МО и выделяла классы причин, вторая - классифицировала параметры, относящиеся к геомагнитному отклику магнитосферы и выделяет классы последствий. Полученные классы причин и классы последствий сопоставлялись между собой путем объективного сравнения с помощью специального алгоритма.

Показано, что максимальная согласованность классов (до 80%), полученных независимо на двух сетях, наблюдается для первой ИНС при включении в расчет параметров интегрального  $NV^2$  и интегрального  $AL$  в минуту; для второй ИНС при включении в расчет параметров интегрального  $AL$  и интегрального  $AL$  в минуту. Анализ установленных классов позволяет во первых объединить классы, полученные разными способами и во вторых сделать вывод о их особенностях: класс 1 - взрывной рост интегрального  $NV^2$  (большие значения интегрального  $NV^2$  в минуту, значительно превышающие интегральные значения  $NV^2$ ), взрывной рост интегрального  $AL$  (большие значения интегрального  $AL$  в минуту, значительно превышающие интегральные значения  $AL$ ); класс 2 - высокие значения интегрального  $NV^2$ , высокие значения интегрального  $AL$  при низкой скорости роста интегрального  $AL$  (низкие значения интегрального  $AL$  в минуту); класс 3 - быстрый рост интегрального  $NV^2$ , высокие значения интегрального  $AL$ . Результаты, полученные искусственным интеллектом, согласуются с физическими представлениями о процессах развития высокоширотной геомагнитной активности под действием турбулентной среды оболочек магнитных облаков на земную магнитосферу [2, 3].

1. N.A. Barkhatov, V.G. Vorobjev, S.E. Revunov, O.M. Barkhatova, E.A. Revunova, O.I. Yagodkina, Neural network classification of substorm geomagnetic activity caused by solar wind magnetic clouds // *Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics*, 205 (2020), 105301, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105301>
2. Бархатов Н.А., Левитин А.Е., Ревунова Е.А., Виноградов А.Б., Магнитные облака солнечного ветра как причина высокоширотной геомагнитной активности // *Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the 38th Annual Seminar (2-6 March 2015, Apatity)*, pp. 83-86, 2015 — ISBN – 978-591137-329-0.
3. Бархатов Н.А., Долгова Д.С., Ревунова Е.А., Геомагнитная активность структуры магнитных облаков // *Геомагнетизм и аэронавигация*, Т.59, №1, 2019, с. 19-29

## **Пространственно-временное самоподобие на малых масштабах в суббуревых активизациях по данным высокоскоростной камеры в Ловозеро**

Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин

*ФГБНУ Полярный геофизический институт, Апатиты-Мурманск, Россия*  
*E-mail: boris.kozelov@gmail.com*

Ранее в работах [1,2] по данным спутниковых и наземных телевизионных наблюдений было показано, что пространственно-временная динамика аврорального свечения имеет статистические свойства, указывающие на признаки состояния самоорганизованной критичности в магнитосферно-ионосферной плазме: для статистических распределений характеристик авроральных структур во время суббуревых активизаций типичными являются степенные распределения. Со стороны больших масштабов эти распределения ограничены фактически размером ночной стороны аврорального овала и характерным временем изолированной суббури. Со стороны малых масштабов распределения ограничены по пространству разрешением телевизионных камер (~1.5 км) и характерными временами возбужденных состояний атмосферных составляющих, эмиссии которых регистрировались панхроматическими камерами (~0.7 с). Данные современной камеры, работающей в обсерватории Ловозеро, позволяют уточнить обсуждаемые пространственно-временные распределения со стороны малых масштабов. Камера регистрирует свечение всего неба в эмиссии 427.8 нм в кадре 256x256 (512x512) с частотой 10 кадров в секунду. Анализ таких данных приводится в работе.

1. Kozelov, B. V., V. M. Uritsky, and A. J. Klimas (2004), Power law probability distributions of multiscale auroral dynamics from ground-based TV observations, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L20804, doi:10.1029/2004GL020962
2. Uritsky, V. M., A. J. Klimas, D. Vassiliadis, D. Chua, and G. Parks (2002), Scale-free statistics of spatiotemporal auroral emissions as depicted by POLAR UVI images: Dynamic magnetosphere is an avalanching system, *J. Geophys. Res.*, 107(A12), 1426, doi:10.1029/2001JA000281

## **Влияние ионов кислорода и фоновых протонов на квазиравновесные конфигурации токового слоя в ближнем хвосте магнитосферы**

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

<sup>1</sup>ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты; e-mail: [mingalev\\_o@pgia.ru](mailto:mingalev_o@pgia.ru)

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

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

Рассматриваются результаты численного моделирования стационарных конфигураций тонкого токового слоя (далее ТТС), который возникает на предварительной фазе суббури в ближнем хвосте магнитосферы Земли. В численной модели ТТС образован встречными потоками горячих протонов, которые падают вдоль силовых линий магнитного поля из долей хвоста. Из данных спутниковых измерений известно, что кроме этих потоков в ТТС ближнего хвоста магнитосферы присутствует фоновая популяция протонов, температура которой примерно в 2-4 раза меньше температуры в падающих потоках. Также из данных спутниковых измерений известно, что в ходе магнитных бурь возможно появление в ближнем хвосте магнитосферы относительно холодных ионов кислорода ионосферного происхождения. Для исследования влияния этих факторов была создана новая версия численной модели стационарного ТТС, в которой возможен учет как фоновой популяции протонов, так и падающих потоков ионов кислорода. Получены стационарные конфигурации ТТС для двух случаев, которые ранее не рассматривались в моделировании. В первом случае в модели учитывается фоновая популяция протонов. Во втором случае учитываются потоки более холодных по сравнению с протонами ионов кислорода, которые также падают вдоль силовых линий магнитного поля из долей хвоста.

## **Глобальный сценарий в геомагнитных пульсациях изолированной суббури, генерированной диамагнитной структурой медленного солнечного ветра 22.12.2015**

В.А. Пархомов, В.Г. Еселевич, М.В. Еселевич, Б. Цэгмед,  
А.Г. Яхнин, С.Ю. Хомутов, Р.А. Рахматуллин, Т. Райта

В докладе представлены результаты исследования глобального возмущения магнитосферы 22.12.2015 (09 – 13 UT), вызванного воздействием на магнитосферу Земли диамагнитной структуры медленного солнечного ветра (ДС), источником которой на Солнце является цепочка стримеров. До контакта с ДС вертикальная компонента ММП  $B_{zcp} = 4.46$  нТл имела северное направление в течение 146 минут (07.10 – 09.36 UT) часов. По данным каталога [supermag@listserv.jhuapl.edu](mailto:supermag@listserv.jhuapl.edu) начало суббури отмечено в 10.14 UT (23.08 MLT) на обсерватории с координатами 70.86 геогр.ш. и 211.2 геогр.д. Исследование выполнено на основе измерений на спутниках ACE, Wind, THEMIS, GOES -13, GOES-15, RBSP A,B и наземных наблюдений геомагнитных пульсаций ( $f = 5 - 0.003$  Гц) на четырёх меридианах – утреннем, полуденном, вечернем и полуночном на российской и международной сетях из 20 индукционных магнитометров. Борок, Исток, Ловозеро, Монды, Паратунка, обсерватории Улан-Батор, индукционных магнитометров финской сети и сети CARISMA.

ДС вызвала глобальное магнитосферное возмущение в виде изолированной суббури ( $AE_{max} = 1076$  нТл) на фоне восстановительной фазы магнитной бури при постоянстве  $SYM\ H_{cp} = -37$  нТл. Выполнено отождествление источника ДС на Солнце, а затем прослеживается динамика движения ДС в солнечном ветре. Магнитосферный отклик в геомагнитных пульсациях зависит от долготы расположения обсерваторий.

На обсерваториях вблизи полуденного меридиана (11-14 MLT - Ивало, Ловозеро, Борок) регистрируются пульсации в частотном диапазоне Pc1 с нарастанием частоты 0.5 – 2.2 Гц. На обсерваториях меридиана (16 – 20 MLT – Исток, Монды, Улан-Батор), регистрируются 5 последовательных широкополосных всплесков типа Pi1 – Pi2 (0.005 – 2 Гц), колебания с нестационарным спектром на частотах 2 – 3 Гц и мощным шумовым всплеском в 11:45 – 12:00 UT в частотном диапазоне 0.005 – 4 Гц. Наблюдаемый режим пульсаций свойствен предварительной фазе суббури. На обсерваториях меридиана (19 – 23 MLT – Паратунка, Мемамбетсу) регистрируются 5 последовательных широкополосных всплесков типа Pi1 – Pi2 (0.005 – 3 Гц), свойственных предварительной фазе суббури. На обсерватории меридиана (01 – 05 MLT – Ministik Lake, Fort Smith) с 01:30 до 04:30 MLT регистрируются Pi1B и Pic пульсации, с резким возрастанием интенсивности в ~ 03:00, свойственные взрывной и восстановительной фазам суббури. На



обсерваториях меридиана (03 – 07 MLT – Fort Cherchil, Pinava, Thief River Falls) режим пульсаций различен на высокоширотных и среднеширотных обсерваториях. На высокоширотной обсерватории Fort Cherchil наблюдаются пульсации подобные тем, что регистрируются на Ministik Lake и Fort Smith, а на Pinava и Thief River Falls регистрируются пульсации близкие по режиму на околополуденных обсерваториях.

Закономерности генерации пульсаций на различных долготях сравниваются с потоками частиц в дневной и ночной магнитосфере, регистрируемых на спутниках и наблюдениями полярных сияний на околополуночных обсерваториях.

Показано, что долготные закономерности смены режимов пульсаций определяются вариациями параметров ММП и концентрацией протонов и альфа-частиц СВ в ДС и потоками электронов в плазменном слое хвоста магнитосферы.

### **Авроральные овалы в двух полушариях для разных уровней магнитной активности по данным наземного геомагнитного метода**

Ю.В. Пенских, С.Б. Лунюшкин, В.Э. Капустин

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия; e-mail: penskikh@iszf.irk.ru*

На основе избранной базы данных, включающей 250 суток 1-минутных наземных измерений ПГВ (поле геомагнитных вариаций) на мировой сети станций проекта SuperMAG, и оригинального способа группировки данных получены средние распределения ПГВ в двух полушариях для четырёх уровней магнитной активности:  $AE \leq 100$ ;  $100 < AE \leq 300$ ;  $300 < AE \leq 600$ ;  $AE > 600$  нТл. Применяя технику инверсии магнитограмм (ТИМ) в приближении однородной ионосферной проводимости, по средним ПГВ рассчитаны распределения эквивалентной токовой функции и плотности продольных токов (ПТ) в каждом полушарии для соответствующих уровней AE-индексов. С помощью развиваемого авторами "геомагнитного" метода автоматической диагностики границ аврорального овала (АО) [Лунюшкин, Пенских, 2019, <https://doi.org/10.12737/szf-52201913>] по распределениям крупномасштабных ПТ определены полярная, экваториальная и другие границы средних АО в двух полушариях для заданных уровней авроральной активности. Работоспособность и достаточная точность автоматического геомагнитного метода в сравнении с ручным способом подтверждена в обоих полушариях для всех границ АО и уровней магнитной активности. Полученные на основе ТИМ и геомагнитного метода полярные шапки и магнитные потоки через них хорошо согласуются между двумя полушариями на всех уровнях AE. Сравнение со спутниковыми данными показало качественное соответствие границ "геомагнитных" АО с границами средних распределений параметров энергетического спектра "электронных" АО для заданных уровней AE-индексов геомагнитной активности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90046.

### **Влияние авроральных явлений на работу навигационных систем во время бури 14 ноября 2012 по данным обс. Баренцбург**

М.В. Филатов<sup>1</sup>, Р.Ю. Юрик<sup>1</sup>, С.В. Пильгаев<sup>1</sup>, И.И. Шагимурагов<sup>2</sup>, Ю.В. Федоренко<sup>1</sup>, М.В. Швец<sup>1</sup>, А.В. Ролдугин<sup>1</sup>, А.В. Ларченко<sup>1</sup>, Ю.А. Шаповалова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты, Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Западное Отделение ФГБУН ИЗМИРАН, Калининград, Россия

*E-mail: mijgun@yandex.ru*

В данной работе изучается влияние полярных сияний на навигационные системы во время бури 14 ноября 2012. Для исследования мы используем данные камеры всего неба и двухчастотного GNSS приемника Javad, расположенных в обсерватории Баренцбург. Совместное использование регистраторов, расположенных в одной точке, позволяет установить связь между различными формами полярных сияний и сбоями в работе навигационных систем.

## **Наблюдение локального минимума $V_z$ в ближнем хвосте магнитосферы на фазе роста суббури по данным спутников POES**

С.А. Черняева<sup>1</sup>, Е.И. Гордеев<sup>2</sup>, С.В. Апатенков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Арктический и Антарктический НИИ, Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

Нарушение изотропии потоков высыпающихся и захваченных частиц в окрестности изотропных границ (ИГ), определенных по данным низковысотных спутников POES, имеет различное происхождение (ЭМИЦ волны, инъекции, токовый слой хвоста) и наблюдается довольно часто (в 68% случаев в работе *Sergeev, Chernyaeva+ 2015*).

Одной из особенностей поведения потоков высыпающихся частиц вблизи ИГ, является частое появление локализованных изотропных высыпаний экваториальнее ИГ, возможно связанное с образованием локализованных токовых слоев в ближнем хвосте. Такие слои могут быть результатом процесса откачки замкнутого магнитного потока из ближней области хвоста на дневную сторону, для восполнения пересоединенного на магнитопаузе потока [*Gordeev+ 2017, Gordeev & Apatenkov 2020*].

Картина высыпаний, которую мы связываем с рассеянием на токовых слоях, выглядит следующим образом. Экваториальнее типичной ИГ появляются дополнительная полоса высыпающихся частиц, по широте занимающая более 0,2 градусов с интенсивностью близкой к потокам до ИГ. Наиболее часто такой тип высыпаний наблюдается в электронах с энергией более 30 кэВ. При наблюдении таких высыпаний в каналах E1 (>30кэВ), E2 (>100кэВ) и E3(>300кэВ) больший по широте интервал соответствует более высоким энергиям.

Для исследования структуры токовых слоев в течение фазы роста были отобраны изолированные суббури 2013-2014 годов. Для 23 фаз роста обработаны и проанализированы данные спутников POES. В течение каждой фазы роста (10-60 минут) найдены 3-15 последовательных пролетов спутников в приполуночных долготных секторах, всего 174 пролета. Предварительный анализ потоков электронов на энергиях 30кэВ и 100кэВ свидетельствует об образовании локального ТС в ближнем хвосте в 52 из 174 (30%) пролетов спутников и в 12 из 23 (50%) исследованных фаз роста, с тенденцией его образования ближе к концу фазы роста суббури.

## **Topological features of high latitude magnetosphere and problems of outer radiation belt formation**

E.E. Antonova<sup>1,2</sup>, N.V. Sotnikov<sup>1</sup>, V.G. Vorobjev<sup>3</sup>, O.I. Yagodkina<sup>3</sup>, I.P. Kirpichev<sup>2</sup>,  
I.L. Ovchinnikov<sup>1</sup>, M.S. Pulinets<sup>1</sup>, M.V. Stepanova<sup>4</sup>, M. Rojas Gamarra<sup>5</sup>, J. Gonzalez<sup>4</sup>

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

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

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

<sup>4</sup>*Department of Physics, University of Santiago de Chile, Santiago, Chile*

<sup>5</sup>*Department of Physics, National University of San Antonio Abad de Cuzco, Cuzco, Peru*

The self-consistent description of magnetospheric dynamics requires careful analysis of magnetospheric plasma pressure and its distribution. Such analysis is relevant to the magnetospheric entropy problems, magnetospheric stability and solar wind control of magnetospheric dynamics. We summarize the latest finding of plasma pressure distribution at low altitudes and at the equatorial plane. We select a real changes produced by the approach based on the analysis of plasma pressure gradients in the analysis of high latitude magnetospheric processes. The configuration of large-scale transverse and field-aligned currents and mechanisms of their formation are discussed and analyzed. The role of magnetospheric current variations in the solution of outer radiation belt problem is discussed.

## **SAR arcs height during the 24 solar cycle minimum according to observations at the Yakutsk meridian**

I.B. Ievenko, S.G. Parnikov

*Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SD RAS, Yakutsk 677027, Russia  
(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;  $Kp \leq 3+$ ) 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 2018-2020 during a minimum of 24 solar cycle. 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 2021–2023.

This work was partial supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No 18-45-140037 p\_a).

## **Magnetospheric sources of high energy electrons precipitating into the Earth's atmosphere**

V.V. Kalegaev, A.D. Kugusheva

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

Precipitation of energetic electrons from the outer radiation belt into the Earth's atmosphere are the bright manifestations of magnetospheric dynamics.

These phenomena can be recorded directly on the polar low-altitude satellites of the POES and Meteor series. Balloon experiments also make it possible to detect invasions of energetic electrons at altitudes of 20-30 km using X-ray bremsstrahlung. Simultaneous observations of energetic electrons precipitations at different altitudes make it possible to better understand the physical mechanisms of this phenomenon, to establish magnetospheric sources of precipitations and their connections with the solar wind parameters and the level of geomagnetic activity.

The development of the 01/02/15 - 06/02/15 event recorded in LPI (Lebedev Physical Institute) database of electron precipitations registered during the balloon experiments in the Murmansk region ( $L = 5.5$ ) has been studied based on the measurements of electron fluxes on the satellites "Meteor M2", POES-18 and POES-19. The ratio of electron fluxes measured by the vertical and horizontal satellite detectors in the range from 0.1 to 0.7 MeV was used to identify particle precipitation corresponding to the events recorded during the balloon experiments. Precipitation were found on L-shells from 4 to 7 both in the northern hemisphere over the Murmansk region and in the southern, in the magnetically conjugated region. For each of the considered events the region in the magnetosphere is determined that is responsible for the scattering of electrons and their invasion in the Earth's atmosphere. A connection was established between data on particle fluxes and data on the interplanetary magnetic field and solar wind parameters which made it possible to make assumptions about the mechanisms of precipitation and explain their observed dynamics, as well as classify this event.

## **Formation of thermal electron population in the magnetotail: convection heating and scattering induced losses**

P.I. Shustov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>, X.-J. Zhang<sup>3</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*HSE University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

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

In this work we investigate electrons spectra simultaneously observed by three THEMIS at different radial distances in the magnetotail. Combining observational dataset of electrons trapped near the equatorial plane with the model of electron adiabatic heating due the earthward convection, we have estimated the electron losses required to reproduce observations within the convection model. Model-observation comparison demonstrates that losses of hot ( $>1$  keV) electrons should reach the strong diffusion limit, whereas the loss-cone is likely widened by field-aligned electric field driving electron precipitations at low altitudes. We consider possible mechanisms of electron losses and their role in shaping of the electron distribution function.

## **Empirical model of solar wind dependence of energetic particle fluxes in the plasma sheet transition region**

N.A. Stepanov<sup>1,2</sup>, V.A. Sergeev<sup>1</sup>, D.A. Sormakov<sup>2</sup>, V.A. Andreeva<sup>1</sup>

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

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

To study further the factors and mechanisms controlling 10-150 keV particle fluxes in the inner magnetosphere, we investigate empirically their behavior in the nightside transition region (6-14 Re) depending on solar wind (SW) parameters taken at different time lags. We aim to establish the hierarchy of predictors ( $V$ ,  $N$ ,  $Pd$ ,  $E_{kl}=V_{Byz} \sin^2(\theta/2)$  etc.) and the optimal range of their time delays, both depending on the distance and local time. We use THEMIS 5-min averaged observations of energetic proton and electron fluxes in 2007-2018 near the plasma sheet mid-plane and build regression models exploring the combination of predictors, taken at time delays up to 24 hrs. The model obtained shows that protons and electrons are controlled differently by solar wind parameters: electrons are influenced equally by  $V_{sw}$  and  $E_{kl}$ , whereas protons are controlled mostly by  $V_{sw}$  and  $Pd$ , and less by  $E_{kl}$ . We found that a wide range of time delays is involved depending on distance and particle energy. Specifically, the  $E_{kl}$  affects the energetic fluxes with time delays up to 24 hrs. (or more), exhibiting the long delays in the innermost regions. As regards the mechanism of  $V_{sw}$  influence, the  $V_{sw}$  related flux changes are large and, to a large extent, established on the route of the energy flow from solar wind-to the plasma sheet and, eventually, the inner magnetosphere. We also identified a new parameter,  $NBL=V_{Byz} \cos^2(\theta/2)$ , which helps to reveal the loss processes in the plasma sheet transition region.

## **Ion pressure in the nighttime auroral zone under extreme values of the solar wind dynamic pressure**

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

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

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

<sup>3</sup>*Space Research Institute Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

Observations from DMSP spacecraft were used to determine ion pressure in nighttime auroral zone during periods of magnetic quietness under extreme values of the solar wind dynamic pressure ( $P_{sw}$ ). It is found that at  $P_{sw} < 0.4$  nPa, the energy fluxes of both precipitating ions and electrons are at the level of the noise variations of the detectors, the zone of auroral precipitation is not identified,  $AL < 50$  nT. The amplitude of the noise variations in the ion pressure is  $\sim 0.02$  nPa. With an increase in  $P_{sw}$ , the maximum ion pressure ( $P_{max}$ ) in the auroral zone increases significantly and can reach 5-6 nPa at  $P_{sw} \sim 20-22$  nPa. The average latitudinal profiles of the ion pressure at  $\langle P_{sw} \rangle = 0.5, 2.1$  and 16.3 nPa are plotted. The latitude of the ion pressure maximum ( $\Phi' = 72.2^\circ, 68.6^\circ$  and  $64.6^\circ$  CGL, respectively) coincides well with the position of the isotropy boundary (IB). Auroral precipitation poleward of IB are isotropic, so the plasma pressure remains unchanged along the geomagnetic field line from the ionosphere to the equatorial plane in the Earth's magnetosphere. Thus, the latitudinal pressure profiles, when projected into the equatorial plane, make it possible to discuss the radial distribution of pressure in the magnetosphere.

## **Dynamics of relativistic electron fluxes during magnetic storms of 7-8 September 2017**

A.G. Yahnin, T.A. Yahnina

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia (ayahnin@gmail.com)*

We considered the fluxes of relativistic electrons during two sequent (separated for only 12 hours) magnetic storms of 7-8 September 2017 on the basis of low-orbiting POES/MetOp and magnetospheric satellite data. The first storm was characterized by a dropout of the trapped electron flux in the heart of the radiation belt, while during the second storm the trapped flux decreased at higher L-shells, and it increased in the radiation belt heart. Since during both storms the magnetopause shifts Earthward of geosynchronous orbit, we suggest the magnetopause shadowing as the main reason of the flux dropouts, especially for the first storm.

The POES/MetOp satellites cannot detect microbursts of precipitation, but can observe so called precipitation bands. There were no precipitation bands of the relativistic electrons (REP events) during the first storm. During the interval under study the majority of the REP events was observed at the main and early recovery phases of the second storm.

Dividing all REP events in three groups according to the classification by *Yahnin et al.* (2016; 2017) we showed that most of observed REP events belongs to the group, which is related to waves that are able to scatter energetic electrons only. Apparently, EMIC waves, which are able to scatter both relativistic electron and energetic protons, did not play a role in the relativistic electron precipitation during this storm. These features as well as the mutual location of the REP events of different groups relative to the plasmapause generally agree with findings described by *Yahnin et al.* (2016, 2017).

In addition, another type of relativistic electron precipitation was detected, which appearance is clearly correlated with intensity of the trapped flux. The latitudinal size of this precipitation is comparable with the size of the trapped population. The intensity of this precipitation follows the intensity of the trapped population, but is less for one-two orders. We conclude that this is the result of weak diffusion into the loss cone, which can, however, be a significant component of relativistic electron losses.

1. Yahnin, A. G., T. A. Yahnina, N. V. Semenova, B. B. Gvozdevsky, and A. B. Pashin (2016), Relativistic electron precipitation as seen by NOAA POES, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 8286–8299, doi:10.1002/2016JA022765.
2. Yahnin, A. G., T. A. Yahnina, T. Raita, and J. Manninen (2017), Ground pulsation magnetometer observations conjugated with relativistic electron precipitation, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 9169–9182, doi:10.1002/2017JA024249.

## **Influence of atmospheric infrasonic macroscopic wave on microscopic wave-particle interaction in the magnetosphere**

P.A. Bespalov

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

In this paper we consider a model of the influence of atmospheric infrasonic wave on VLF whistler wave excitation in the magnetosphere. This influence occurs as a result of a succession of processes: a modulation of the plasma density in the ionosphere by acoustic-gravity waves, a variation of whistlers reflection from the modulated ionosphere, and a modification of whistler waves excitation conditions in the magnetospheric resonator. Variation of a magnetospheric resonator Q-factor has an influence on the operation of the plasma magnetospheric maser, where the active substances are radiation belts particles and the working modes are electromagnetic whistler waves. The magnetospheric resonator, which is an oscillatory system, can be responsible for an excitation of self-oscillations. These self-oscillations are frequently characterized by alternating stages of accumulation and precipitation of energetic particles into the radiation belts during a pulse of whistler emissions. Numerical and analytical investigations of the response of self-oscillations to harmonic oscillations of the whistler reflection coefficient shows that even a small modulation can significantly changes the magnetospheric VLF emissions. Our results can explain the reason of energetic electron fluxes and whistler wave intensity modulation with a time scale from 10 sec in the day-side magnetosphere. Such quasi-periodic VLF emissions are often observed in the sub-auroral and auroral magnetosphere and they have a noticeable effect on the space weather phenomena.

The work is supported by the Russian Science Foundation under grant No. 20-12-00268.

## **Auroral kilometer radiation observation from the northern and southern sources using the ERG (Arase) satellite**

A.A. Chernyshov<sup>1</sup>, M.M. Mogilevsky<sup>1</sup>, D.V. Chugunin<sup>1</sup>, V.I. Kolpak<sup>1,2</sup>, A. Kumamoto<sup>3</sup>, F. Tsuchiya<sup>3</sup>, Y. Kasahara<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Tohoku University, Sendai, Japan*

<sup>4</sup>*Kanazawa University, Kanazawa, Japan*

Auroral Kilometric Radiation (AKR) signals from sources in the auroral regions of the northern and southern hemispheres are simultaneously recorded and analyzed using the data of the ERG (Arase) satellite. AKR is a powerful natural non-thermal radiation in the frequency range of 30-800 kHz, excited by the injection of energetic charged particles from the tail of the magnetosphere into the auroral region. The source of the AKR is the cyclotron maser instability, which develops in the regions with low-density plasma. Initially, type III solar radio bursts are applied as a calibration signal and it is shown that there is no polarization of this signal that is in good agreement with previous results and indicates the correct calculation of the polarization parameter on board the ERG satellite. In our study, two sources of AKR spaced apart in frequency are distinguished. Most likely, this is due to spatial-frequency filtering of sources separated in space. It is noted that there are differences in the AKR generation in the northern and southern hemispheres. It is shown that either northern or southern sources of AKR prevail at different times.

This work has been supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project 18-29-21037.

## **Simultaneous observations of quasi-periodic VLF emissions with two modulation periods by spacecraft and ground based stations**

A.G. Demekhov<sup>1,2</sup>, M. Hajoš<sup>3</sup>, J. Manninen<sup>4</sup>, D.L. Pasmanik<sup>2</sup>, A.S. Nikitenko<sup>1</sup>, O. Santolik<sup>3,5</sup>, C. Martinez-Calderon<sup>6</sup>, K. Shiokawa<sup>6</sup>, M. Ozaki<sup>7</sup>, D.G. Baishev<sup>8</sup>, Y. Miyoshi<sup>6</sup>, Y. Kasahara<sup>7</sup>, S. Matsuda<sup>9</sup>, A. Matsuoka<sup>9</sup>, I. Shinohara<sup>9</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, andrei@ipfran.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>3</sup>*Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czechia*

<sup>4</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

<sup>5</sup>*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, Czechia*

<sup>6</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan*

<sup>7</sup>*Kanazawa University, Kanazawa, Japan*

<sup>8</sup>*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakut Scientific Centre SB RAS, Yakutsk, Russia*

<sup>9</sup>*Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, Kanagawa, Japan*

We present the results of analysis of simultaneous spacecraft and ground-based observations of quasiperiodic VLF emissions. The event was observed on 19 September 2017 by the Cluster, Van Allen Probes, and ERG spacecraft and by magnetic antennas at four ground-based sites including Kannuslehto in Northern Finland, Lovozero at Kola Peninsula, Barentsburg in Svalbard, and Maimaga in Siberia. Emissions were detected at the ground-based stations from 05:40 to 10:00 UT, by Cluster spacecraft from 06:10 to 09:40 UT, and by Van Allen Probes from 06:10 to 10:00 UT. Spacecraft observations correspond to a wide range of L-shells from approximately 4 for Van Allen Probes up to 11.3 for Cluster. Geomagnetic conditions were very quiet. In both spacecraft and ground-based measurements two different modulation periods are clearly seen: the smaller one is about 50 seconds (corresponding to QP-elements generation) and the larger one is about 12 minutes (corresponding to gradual QP-emission amplitude variation). Simultaneously detected QP emissions exhibit clear one-to-one correlation between different observation sites, which indicates the temporal nature of the observed quasiperiodic modulation. Wave propagation analysis indicates that the quasiperiodic emissions have low (below 40°) wave vector angles with respect to the magnetic field. The variations of VLF wave amplitude are shown to correlate with geomagnetic field pulsations, the highest correlation being observed for the compressional component. Correlated long-period magnetic pulsations were also observed on the ground. An analysis of ground-based signal polarisation allowed us to estimate possible locations of the region where the VLF waves propagated to the ground, thus restricting probable position of the source region of QP emissions.

## **Whistler wave instability in multicomponent electron plasma of the Earth's magnetosphere**

V.A. Frantsuzov<sup>1,2</sup>, P.I. Shustov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>*HSE University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

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

*E-mail: [vafrantsuzov@edu.hse.ru](mailto:vafrantsuzov@edu.hse.ru)*

Electromagnetic whistler waves, the key wave mode responsible for radiation belt dynamics, are generated by perpendicularly anisotropic electrons. There is a simple equation describing threshold of anisotropy and plasma beta for whistler wave linear generation in plasma with the bi-Maxwell distribution function. However, the more realistic electron distribution in the Earth magnetosphere often consists of several populations that describes electron anisotropy only for a limited energy range. Such multi-component distributions can be unstable to whistler wave generation, whereas their average anisotropy would be well below the instability threshold derived for a single bi-Maxwellian distribution. In this work, we generalize the expression for the wave generation threshold in systems with multicomponent electron populations typical for the Earth's magnetosphere. We show that more realistic threshold describes well observational parametric space of whistler wave generation.



## Evolution of electron velocity distribution function during resonant interaction with a model wave packet of auroral kilometric radiation

V.S. Grach<sup>1</sup>, A.G. Demekhov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

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

We analyze the nonlinear resonant interaction of energetic electrons with auroral kilometer radiation (AKR). The evolution of the electron distribution function in the energy range 1-150 keV is considered based on numerical solution of the particle motion equations in a given field of a quasi-monochromatic AKR wave packet. It is shown that for realistic values of the wave amplitude 0.2-0.4 V/m, as a result of the interaction, the loss cone is filled for particles with energies  $W < 30$  keV and the particles are redistributed over pitch angles, which leads to the formation of pitch-angle butterfly distribution. Depending on the wave parameters, particles redistribution over energy is also possible, in which particles with energies 3-30 keV are effectively accelerated to energies 30-100 keV.

## Origin of hierarchical temporal variation in pulsating aurora

K. Hosokawa<sup>\*1,2</sup>, Y. Miyoshi<sup>3</sup>, M. Ozaki<sup>4</sup>, S.-I. Oyama<sup>3,5,6</sup>, Y. Ogawa<sup>5,7</sup>, S. Kurita<sup>8</sup>, Y. Kasahara<sup>4</sup>, Y. Kasaba<sup>9</sup>, S. Yagitani<sup>4</sup>, S. Matsuda<sup>3</sup>, F. Tsuchiya<sup>9</sup>, A. Kumamoto<sup>9</sup>, R. Kataoka<sup>5,7</sup>, K. Shiokawa<sup>3</sup>, E. Turunen<sup>10</sup>, T. Raita<sup>10</sup>, T. Takashima<sup>11</sup>, I. Shinohara<sup>11</sup> & R. Fujii<sup>12</sup>

<sup>1</sup>*Graduate School of Communication Engineering and Informatics, Univ. of Electro-Communications, Tokyo, Japan*

<sup>2</sup>*Center for Space Science and Radio Engineering, Univ. of Electro-Communications, Tokyo, Japan*

<sup>3</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya Univ., Aichi, Japan*

<sup>4</sup>*Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa Univ., Ishikawa, Japan*

<sup>5</sup>*National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan*

<sup>6</sup>*Univ. of Oulu, Oulu, Finland*

<sup>7</sup>*The Graduate Univ. for Advanced Studies, Kanagawa, Japan*

<sup>8</sup>*RISH, Kyoto University, Kyoto, Japan*

<sup>9</sup>*Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku Univ., Miyagi, Japan*

<sup>10</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

<sup>11</sup>*Institute of Space and Astronautical Science, Kanagawa, Japan*

<sup>12</sup>*Research Organization of Information and Systems, Tokyo, Japan*

Soon after auroral breakups, which are signs of an explosive release of energy accumulated in the tail of the magnetosphere, diffuse and patchy aurorae appear in a broad region extending from midnight to dawn that can sometimes last for several hours or longer. The vast majority of such diffuse aurora is known to blink in a quasi-periodic manner and is commonly referred to as a pulsating aurora. The variation in brightness of the pulsating aurora reveals a hierarchical temporal variation comprising two distinct periodicities, including the “main pulsation”, whose periodicity ranges from a few to a few tens of seconds, and the higher-frequency “internal modulation”, which is a much faster luminosity scintillation (~3 Hz) embedded in a single pulse of the main pulsation. The origin of such a hierarchical structure has been attributed to the periodic precipitation of magnetospheric electrons caused by electromagnetic waves called whistler-mode chorus waves. However, this hypothesis has never been simultaneously observed in space and from the ground owing to insufficient temporal resolution and spatial coverage of measurements. Here we report the temporal variation of chorus waves that display a one-to-one correspondence, with both the main pulsation and sub-second internal modulation of the pulsating aurora. The observations were made in March 2017 by multiple high-speed auroral imagers distributed in the Arctic in conjunction with a newly launched magnetospheric satellite Arase. The observed one-to-one correspondence revealed that the hierarchical structure in pulsating aurora is fully controlled by the similar hierarchical nature of the magnetospheric chorus. The results further revealed that the existence of the sub-second variation in aurora is determined by the fine-scale temporal structure of chorus. Such direct regulation by electromagnetic waves may explain many of the temporal variations in aurora and may be relevant in the clarification of the origin of similar hierarchical characteristics observed in other natural phenomena.

**The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth's inner magnetosphere**

V.L. Khalipov, A.S. Leonovich, D.G. Sibeck

*IKI RAN, Moscow, Russia; e-mail: [khalipov@iki.rssi.ru](mailto:khalipov@iki.rssi.ru)*

Daniel Barbier has obtained the large measurement series of red-arcs with intensity 50-100 kR during IGY 1957-1959 years. Such intensities cannot be covered by a ring current energy dissipation. However we can hope to another powerful energy source: MHD-turbulence in the Solar wind which cause a field line resonance (FLR) in the magnetosphere. This mechanism assumes presence of fast magnetosonic (FMS) waves penetrating from the magnetopause into the magnetosphere. The source of the FMS waves themselves can be, for example, the Kelvin-Helmholtz instability develops at the magnetopause flowing around by the solar wind flow. Monochromatic FMS waves penetrating into the magnetosphere drive standing Alfvén waves at the resonance magnetic shells, where their frequency coincides with the local Alfvén wave frequency [1,2]. If FMS waves the source is broadband, then Alfvén waves can be excited in a wide magnetic shells range including the plasmapause, where the resonant shells concentration is maximum.

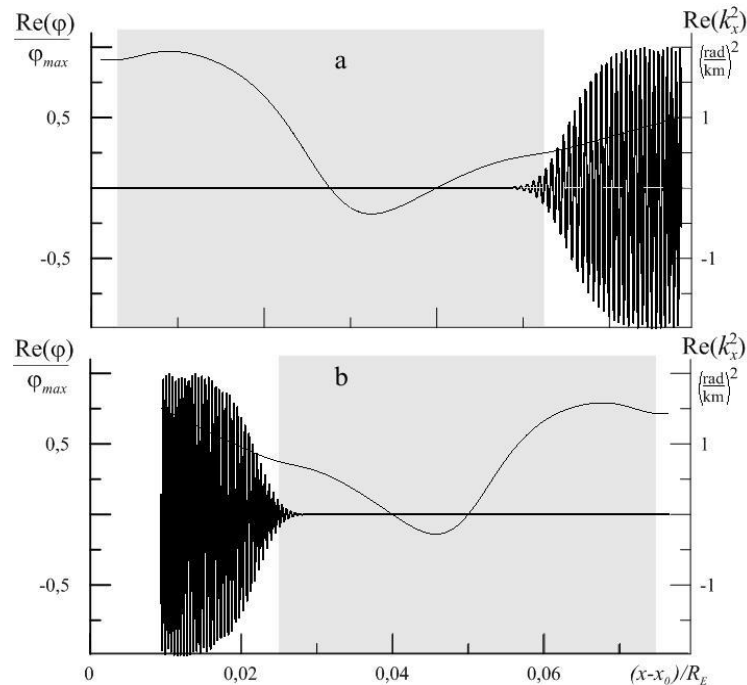


Fig. 1. Transverse structure of a monochromatic kinetic Alfvén wave in the vicinity of the dissipative layer (shown in gray,  $x_0$  is the coordinate of its boundary closest to the wave transparency region ). (a) the dissipative layer is located to the left of the Alfvén wave transparency region (with a "warm" transverse dispersion due to the finite Larmor radius of plasma ions); (b) - dissipative layer is to the right of the Alfvén wave transparency region (with "cold" transverse dispersion due to electron skin length in a plasma). It seems that the wave amplitude decreases sharply at the dissipative layer edge closest to their propagation region. This is where the main transfer of the wave energy to the background plasma electrons occurs.

**References**

1. Hasagawa, A., and K. Mima (1978), Anomalous transport produced by kinetic Alfvén wave turbulence, *J. Geophys. Res.*, 83, 1117–1123.
2. Leonovich, A.S., and V.A. Mazur (1989), Resonance excitation of standing Alfvén waves in an axisymmetric magnetosphere (monochromatic oscillations), *Planet. Space Sci.*, 37, 1095–1116.

## **Slow electrostatic solitary waves in the Earth's magnetosphere**

Sergey Kamaletdinov<sup>1,2</sup>, Ivan Vasko<sup>1,3</sup>, Egor Yushkov<sup>1,2</sup>, Anton Artemyev<sup>1,4</sup>, and Rachel Wang<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup>*Space Research Institute, Space plasma department, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

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

<sup>4</sup>*University of California, Los Angeles, California, USA*

<sup>5</sup>*Department of Physics, University of California, Berkeley, California, USA*

*E-mail: serjesmail@gmail.com*

Slow electron holes, that are electrostatic solitary waves propagating with velocities comparable to the ion thermal velocity, can contribute to plasma heating and provide an anomalous resistivity in various space plasma systems. In addition, the analysis of electron holes allows revealing instabilities operating on time scales not resolved by plasma instruments. We present experimental analysis of more than 100 slow electron holes in the Earth's bow shock and more than 1000 slow electron holes in the Earth's nightside magnetosphere. We show that in both regions, the electron holes have similar parameters. The spatial scales are in the range from 1 to 10 Debye lengths, amplitudes of the electrostatic potential are typically below 0.1 of local electron temperature, velocities in the plasma rest frame are of the order of local ion-acoustic velocity. We show that in both regions the electron holes are most likely produced by Buneman-type instabilities. We develop theoretical models of the electron holes and compare them to MMS observations. The lifetime and the transverse instability of the electron holes are discussed.

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

## **Stochastic differential equations for modeling of nonlinear wave-particle interaction**

A.S. Lukin<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>3,1</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

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

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

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

The charged particle resonant interaction with electromagnetic waves propagating in an inhomogeneous plasma determines the dynamics of plasma populations in various space plasma systems, such as shock waves, radiation belts, and plasma injection regions. For systems with small wave amplitudes and a broad wave spectrum, such resonant interaction is well described within a framework of the quasi-linear theory, which is based on the Fokker-Planck diffusion equation. However, in systems with intense waves, this approach is inapplicable, because nonlinear resonant effects (such as phase bunching and phase trapping) and non-diffusive processes play an essential role in the acceleration and scattering of charged particles. In this work we consider a generalized approach for modelling of wave-particle resonant interaction for intense coherent waves. This approach is based on application of stochastic differential equations for simulation resonant scattering and trapping. To test and verify an applicability of this approach, we use a simple model system with high-amplitude electrostatic whistler waves and energetic electrons propagating in the Earth radiation belts. We show that the proper determination of the model parameters allows us to describe the dynamics of the electron distribution function evolutions dominated by nonlinear resonant effects. Moreover, the proposed approach significantly reduces the calculation time in comparison with test particles methods generally used for simulations of nonlinear wave-particle interactions.

## **Statistical properties and propagation characteristics of unusual high-frequency VLF emissions observed at Kannuslehto, Finland**

C. Martinez-Calderon\* <sup>(1)</sup>, J.K. Manninen<sup>(2)</sup>, J.T. Manninen<sup>(2)</sup>, and T. Turunen<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*

<sup>2</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, Sodankylä*

Since 2006, unusual high-frequency VLF emissions have been observed at the ground station of Kannuslehto in northern Finland (KAN, MLAT=64.4°N, L=5.5). They were first reported by Manninen et al., 2016 as hiss-like bursts detected above the local electron gyrofrequency for the L-shell of KAN. Their unusual propagation suggests generation by a source at lower L-shells. These emissions are present in more than 60% of the observation campaign days at KAN, showing multiple spectral features previously unseen before. And yet, we know very little about their overall properties and propagation mechanisms.

Using case studies and statistical analysis from the 2017-2020 VLF campaigns at KAN, we discuss the general characteristics and propagation features of these unusual waves. We will show examples of the waves and their occurrence rate as a function of multiple parameters (MLT, type, periodicity). We found that their occurrence is linked to more usual VLF waves (e.g., chorus, QP) suggesting their generation is not ionospheric in nature. We also discuss the likely location of the source of these high-frequency emissions, and possible mechanisms allowing for propagation to the L-shells of KAN. While wave occurrence appears related to AE index, more importantly their detection on the ground is linked to short-time local decrease of the magnetic field.

## **Two types of "continuum" radiation**

M.M. Mogilevsky<sup>1</sup>, D.V. Chugunin<sup>1</sup>, A.A. Chernyshov<sup>1</sup>, I.L. Moiseenko<sup>1</sup>,  
T.V. Romantsova<sup>1</sup>, A. Kumamoto<sup>2</sup>, Y. Kasahara<sup>3</sup>, F. Tsuchiya<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Tohoku University, Japan*

<sup>3</sup>*Kanazawa University, Japan*

"Continuum" radio emission (CR) - electromagnetic radio emission in the frequency range from several kilohertz to several hundred kilohertz recorded in the Earth's inner magnetosphere. Since the discovery of this radiation, several decades have passed, but until now it remains the least studied phenomenon of the Earth's magnetosphere. The mechanism of generation of this radiation is associated with energetic particles of radiation belts trapped in a magnetic trap and oscillating between the hemispheres. To study the CR, we used measurements on the Japanese ERG satellite, which was launched in 2016 into a near-equatorial orbit and continues to operate at the present time.

The analysis of the measurements showed that electromagnetic fields with a linear composed spectrum are observed on the day side of the inner magnetosphere. When the satellite crosses the  $Z = 0$  plane, the radiation polarization changes, which indicates the location of the sources of these fields.

On the night side of the inner magnetosphere, radiation with a linear composed spectrum is also recorded, but in the different frequency range - from 600 to 1,6 MHz. These radiations are observed at considerable distances from the  $Z = 0$  plane, up to several radii of the Earth. Characteristics of two types CR emissions are compared and discussed the possible mechanisms of their generation.

The work was supported by the grant of the Ministry of Education and Science 075-15-2020-780.

## **Wave structure feature of the VLF auroral hiss emissions obtained from the ground-based high-latitude measurements**

A.S. Nikitenko, M.V. Kuznetsova, Yu.V. Fedorenko, J. Manninen, N.G. Kleimenova, S.V. Pilgaev, A.V. Larchenko

*PGI, Apatity, Russia*

*E-mail: [alex.nikitenko91@gmail.com](mailto:alex.nikitenko91@gmail.com)*

It is generally accepted that the auroral hiss emissions are generated at the altitudes of about 10000 - 20000 km and propagate along the geomagnetic field lines like an electrostatic wave. The electrostatic waves cannot be observed on the ground because its wave vector is outside of the propagation cone. Only waves scattering at the ionospheric small-scale irregularities can reach the ground level. The problems of the location and dynamics of the scattering area are of interest to researchers. The aim of this work is to study an evaluation of the scattering area dynamics by using ground-based VLF observations. Here we present some results of our analysis of the set of auroral hiss bursts registered simultaneously at two spatially separated observational sites Lovozero (Russia, 67.97° N, 35.02° E) and Kannuslehto (Finland, 67.74° N, 26.27° E) for November 2018 - present time. We used the following field parameters: the ratio of the electric and magnetic energy densities, the circular polarization index and Poynting vector direction. We considered its averaged values and probability density functions. We found that these parameters do not depend on the electrostatic wave amplitudes and ionospheric irregularities intensities and are controlled by the location of the scattering area. We compared the observed results with the numerical modeling of the auroral hiss propagation from the source region to the ground.

## **Electromagnetic emission in the Pc1 band: magnetospheric, atmospheric, and man-made sources**

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

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

We review the observational results and modeling of electromagnetic emissions in the nominal Pc1 band (from fractions of Hz to several Hz) of various origin. We consider the following topics:

- Influence of ionospheric MHD resonators and waveguides on transmission and reflection of magnetospheric wave beams upon interaction with the ionosphere;
- Excitation of electromagnetic response in the upper ionosphere to atmospheric electric discharges;
- Excitation of artificial Pc1 signals by electric power lines;
- Feasibility of earthquake associated Pc1 impulses;
- New databases for Pc1 studies.

## **Polar cap ULF pulsations: Coordinated Radar-Magnetometer Observations**

V.A. Pilipenko<sup>1,2</sup>, O.V. Kozyreva<sup>1</sup>, E.C. Bland<sup>3</sup>, and L. Baddeley<sup>3</sup>

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

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

<sup>4</sup>*University Centre in Svalbard, Norway*

This study uses multi-instrument geomagnetic and ionospheric observations in Antarctica and Arctica to examine the causative mechanisms of the ultra-low-frequency (ULF) variations of the electrodynamics of the polar cap - the least explored part of the coupled solar wind-magnetosphere-ionosphere system. The ionospheric oscillations corresponding to Pc5-6 pulsation band (quasi-periods about 3-15 min) were detected by SuperDARN radars. The ground geomagnetic response in both hemispheres was examined using magnetometers at polar magnitudes in Antarctica and Svalbard. The quasi-periodic variations of the ionospheric Doppler velocity  $V$  can be classified into 3 classes: (1) simultaneously observed by ground polar magnetometers, (2) without accompanying geomagnetic fluctuations, and (3) geomagnetic pulsations without ionospheric signatures. We have determined the effective wave impedance, that is  $V/B$  ratio, which enabled us to identify the physical nature of specific polar cap pulsations. Supposedly, the first class of polar Pc5-6 pulsations is produced by magnetospheric Alfvén waves, though the occurrence of periodic disturbances in the region with open field lines seems puzzling. For the second class the atmospheric acoustic-gravity waves are possibly responsible. The compressional MHD mode may be responsible for the third type.

## **Simultaneous ground and space observations of VLF periodic emissions**

E.E. Titova<sup>1,2</sup>, A.G. Demekhov<sup>1,3</sup>, J. Manninen<sup>4</sup>, A.A. Lubchich<sup>1</sup>, A.S. Nikitenko<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Institute of Applied Physics, RAS, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>4</sup>*Sodankylä, Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

VLF emissions are often characterized by periodic or quasiperiodic modulation of wave intensity with periods of a few seconds to minutes. VLF emissions with periods below 10 s are called periodic emissions (PE) [Helliwell, 1965] which were studied mainly in ground-based experiments. We present for the first time results of observations of VLF PE in the equatorial region of the magnetosphere obtained by Van Allen Probe (VAP) satellite. These VLF emissions were also observed by the ground-based stations Kannuslehto in Northern Finland and Lovozero at Kola Peninsula.

PE were detected simultaneously on the ground and onboard the spacecraft ( $L = 5.9-5.5$ ) in the frequency range 1.4-1.7 kHz near the upper frequency of ELF hiss. Cyclotron instability growth rate calculated from the measured phase space density of energetic electrons matched ELF hiss frequency band. Using multicomponent data of VAP, we analyzed wave normal angles with respect to the geomagnetic field and Poynting flux direction. We also determined the emission periods and the delays between the periodic elements detected on the ground and by VAP.

We show that the variations of the PE intensity in this event were consistent with propagation of isolated whistler wave packets between conjugate hemispheres. The period of the emissions observed by the spacecraft was about 2 s and corresponded to the whistler hop transit time. The period remained almost constant for the entire observation interval, that lasted more than one hour.

The periods of VLF emissions on the ground were about 4 s in the beginning of the event, i.e., they were two times higher than measured by the spacecraft, and corresponded to the two-hop whistler transit time. Near the end of the event the periods abruptly decreased to 2 s, i.e., they became equal to the periods measured by VAP.

The halving of the periods of VLF emissions observed on the ground, from the two-hop to one-hop whistler transit time, can be interpreted within the framework of the passive mode locking mechanism in the magnetospheric cyclotron maser [Bespalov, 1984, 2010]. This mechanism explains PE, having periods of a fraction of the two-hop whistler period, e.g., one half of it. Results of analysis of Poynting flux directions onboard the spacecraft and delays between PE elements on the ground and on VAP are consistent with this mechanism.

The work was supported by the State task AAAA-A18-118012490100-7 of Polar Geophysical Institute, by the Academy of Finland under grant 315716 and the Russian Foundation for Basic Research, project no. 19-02-00179.

## **Evening side EMIC waves and related proton precipitation induced by a substorm**

A.G. Yahnin<sup>1</sup>, T.A. Popova<sup>1</sup>, A.G. Demekhov<sup>1,2</sup>, A.A. Lubchich<sup>1</sup>, A. Matsuoka<sup>3</sup>, K. Asamura<sup>4</sup>, Y. Miyoshi<sup>5</sup>, S. Yokota<sup>6</sup>, S. Kasahara<sup>7</sup>, K. Keika<sup>7</sup>, T. Hori<sup>5</sup>, F. Tsuchiya<sup>8</sup>, A. Kumamoto<sup>8</sup>, Y. Kasahara<sup>9</sup>, M. Shoji<sup>10</sup>, I. Shinohara<sup>3</sup>, H. Kim<sup>11</sup>, S.J. Noh<sup>11</sup>

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

<sup>2</sup>*Institute of Applied Physics of the RAS, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>3</sup>*Japan Aerospace Exploration Agency, Tokyo, Japan*

<sup>4</sup>*Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, Kanagawa, Japan*

<sup>5</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan*

<sup>6</sup>*Osaka University, Osaka, Japan*

<sup>7</sup>*Kanazawa University, Kanazawa, Japan*

<sup>8</sup>*Tohoku University, Tohoku, Japan*

<sup>9</sup>*The University of Tokyo, Tokyo, Japan*

<sup>10</sup>*Nagoya University, Nagoya, Japan*

<sup>11</sup>*New Jersey Institute of Technology, New Jersey, USA*

We present the results of a multi-point and multi-instrument study of EMIC waves and related energetic proton precipitation during a substorm. We analyze the data from Arase (ERG) and Van Allen Probes (VAP) A and B spacecraft for an event of 16-17 UT on 01 December 2018. VAP-A detected an almost dispersionless injection of energetic protons related to the substorm onset in the night sector. Then the proton injection was detected by VAP-B and further by Arase, as a dispersive enhancement of energetic proton flux. The proton flux enhancement at every spacecraft coincided with the EMIC wave enhancement or appearance at the same spacecraft. This data shows the excitation of EMIC waves first inside an expanding substorm wedge and then by a drifting cloud of injected protons. Low-orbiting NOAA/POES and MetOp satellites observed precipitation of energetic protons nearly conjugate with the EMIC wave observations in the magnetosphere. The coefficient of proton pitch-angle diffusion and the strong diffusion regime index were calculated based on the observed wave, plasma and magnetic field parameters. The diffusion coefficient maximum corresponded well to the energy range of the observed proton precipitation. The diffusion coefficient values indicated the strong diffusion regime, in agreement with the equality of the trapped and precipitating proton flux at the low-Earth orbit. The growth rate calculations based on the plasma and magnetic field data from both VAP and Arase spacecraft indicated that the detected EMIC waves could be generated in the region of their observation or in its close vicinity.

## **Моделирование процесса распространения сигналов радиотехнической системы дальней навигации РСДН-20 «Альфа» в участках волновода Земля – ионосфера с горизонтально неоднородным распределением концентрации электронов**

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

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

В докладе представлены результаты моделирования распространения электромагнитных волн ОНЧ диапазона в горизонтально неоднородных участках высокоширотного волновода Земля-ионосфера при различных профилях концентрации электронов. Используемые профили концентрации электронов и частоты столкновений электронов с нейтралами построены по данным радара EISCAT для события 24 января 2012 г. Во время которого наблюдалось высыпание высокоэнергетических частиц в полярную ионосферу в результате взаимодействия межпланетной ударной волны с магнитосферой и последующей магнитной суббури. Частоты модельного источника сигнала соответствовали частотам навигационной системы «Альфа» постоянно вещающего в диапазоне ОНЧ на территории Российской Федерации. В качестве источника сигнала в докладе использовались результаты численного моделирования поля передающей антенны системы «Альфа», расположенной вблизи города Краснодар (45°24' N 38°09' E). Концентрация электронов и эффективная частота соударений для 24 января 2012 г. построена по модели стандартной ионосферы ГОСТ Р 25645.157-94. В условиях сильно горизонтально неоднородной электронной концентрации в ионосфере расчёты показали, что изменения амплитуды сигналов

## *Waves, wave-particle interaction*

радиотехнической системы дальней навигации РСДН-20 «Альфа» вызванные действием геомагнитного поля и горизонтальными неоднородностями не могут быть обращены в случае изменения направления распространения на противоположное.

### **Исследование Pg пульсаций по данным спутников ARASE, GOES и наземных станций**

В.Б. Белаховский<sup>1</sup>, В.А. Пилипенко<sup>2</sup>, К. Шиокава<sup>3</sup>, Е. Миоши<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Институт физики Земли РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Институт исследования околоземного космического пространства, г. Нагоя, Япония

В работе исследована физическая природа Pg (pulsation giant) пульсаций, которые наблюдались в магнитосфере японским спутником Arase, геостационарными спутниками GOES и наземными станциями сетей THEMIS, CARISMA. Pg пульсации относятся к Pc4 частотному диапазону, для них характерна монохроматичная форма. Для события 4 мая 2017 года по данным спутника Arase волновой пакет Pg пульсаций был зарегистрирован в послеполуночном секторе MLT в интервале 08-10 UT. Пульсации наиболее выражены в радиальной компоненте геомагнитного поля, их частота составляла около 13 мГц. Pg пульсации, наблюдаемые в магнитосфере, сопровождались пульсациями с тем же периодом по данным ряда наземных магнитных станций, находящихся вблизи сопряженной точки. Наиболее сильно пульсации по данным наземных станций были выражены в Y-компоненте геомагнитного поля. Pg пульсации возбуждались при очень спокойных геомагнитных условиях (SYM-H = 10 нТл, AE=100-150 нТл). Предполагается, что расширение плазмосферы при низкой геомагнитной активности приводит к увеличению плотности плазмы в районе геостационарной орбиты, что создает благоприятные условия для возбуждения Pg пульсаций за счет дрейф-баунс резонанса протонов с силовыми линиями геомагнитного поля в магнитосфере.

### **Особенности суточной динамики поляризационных параметров магнитного шума в диапазоне 0.1-20 Гц на разных широтах**

Е.Н. Ермакова, А.В. Рябов

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

На основе анализа данных одновременного мониторинга горизонтальных компонент УНЧ магнитного шума на среднеширотной обсерватории Новая Жизнь (56° с.ш., 46° в.д.) и низкоширотной станции, находящейся в Мишпе-Рамон (Израиль, МР, 30.61° с.ш, 34.80° в.д.), исследованы суточные вариации в спектрах поляризационного параметра  $\epsilon$  и азимутального угла вектора магнитного УНЧ поля на разных частотах. Также для анализа были использованы данные н/ч регистрации с о. Крит и среднеширотной станции Старая Пустынь. Обнаружено различие в характере суточных вариаций на частотах ниже и равных частоте шумановского резонанса (ШР). Модельные расчеты спектров поляризационных параметров показали, что различие, может быть, связано с влиянием неоднородной структуры ионосферы над этими станциями, а степень различия определяется оптической толщиной ионосферных резонаторов ИАР и суб-ИАР. Обнаружено, что в спектрах  $\epsilon$  полоса около частоты первого шумановского резонанса более четко выделяется на среднеширотных станциях, а в спектре азимутального угла - на низкоширотных станциях. Разница в значениях азимута на разных частотах (частота ШР и более низкие частоты) на низких широтах в исследуемый период времени могла быть связана с наличием региональной грозовой активности. Обнаружены вариации степени эллиптичности на частотах ШР в светлый период времени: увеличение степени эллиптичности после восхода и перед заходом солнца, а также смещение частотной полосы в спектрах  $\epsilon$ . Модельные расчеты выявили возможность влияния резонатора суб-ИАР на спектры  $\epsilon$  в эти периоды.

Работа выполнена по проекту № 0729-2020-0057 в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ. Модельные расчеты выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-42-520035 р-поволжье.



### **Береговой эффект в УНЧ вариациях электрического поля**

В.С. Исмагилов, Ю.А. Копытенко

*СПбФ ИЗМИРАН, г. С.-Петербург, Университетская наб. д.5, лит 2.  
E-mail: [ivs@izmiran.spb.ru](mailto:ivs@izmiran.spb.ru)*

По результатам экспериментальных исследований электромагнитных полей в прибрежной зоне Белого моря обнаружен «береговой эффект» в УНЧ вариациях естественного электрического поля. Установлено, что в прибрежной зоне наблюдается усиление амплитуды горизонтальной компоненты УНЧ электрического поля, направленной ортогонально к береговой линии. С удалением от береговой линии амплитуда вариаций уменьшается. Главная ось поляризации вариаций направлена почти ортогонально к береговой линии. Наблюдаемый эффект связан со скачком плотности электрических зарядов, возникающим вследствие скачка на границе море-суша горизонтальной компоненты электрического поля, направленной ортогонально к береговой линии.

### **Трехмерное моделирование процесса распространения электромагнитных волн КНЧ-диапазона от контролируемого источника в высокоширотных районах Западно-Арктической континентальной окраины на примере полуостровов Рыбачий и Средний**

В.А. Любчик

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

В докладе рассмотрены результаты трехмерного моделирования процесса распространения в земной коре электромагнитных волн КНЧ-диапазона, излученных контролируемым источником, в районе полуостровов Рыбачий и Средний. Модельные значения компонент электромагнитного поля соответствуют экспериментально измеренным значениям, полученным в рамках проекта FENICS-2019 по электромагнитному зондированию земной коры Балтийского щита с использованием промышленных ЛЭП. По результатам моделирования было показано, что существенное влияние на распространение электромагнитных волн КНЧ-диапазона в данном районе оказывает наличие зон тектонических разломов с повышенной электропроводностью, разделяющих Балтийский щит и Баренцевоморскую плиту, и присутствие морской воды, окружающей полуострова Средний и Рыбачий с трех сторон. Такая конфигурация электропроводящих объектов приводит к образованию макромасштабных замкнутых электрических контуров, в которых генерируются вторичные электромагнитные поля, направленные противоположно первичному полю от контролируемого источника.

## **Численное моделирование неустойчивости теплового потока в рамках квазилинейного приближения**

М.М. Шевелёв<sup>1</sup>, И.Ю. Васько<sup>1,2</sup>, А.В. Артемьев<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>*Department of Earth, Planetary, and Space Sciences and Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, CA, USA*

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

Турбулентность свистовых (вистлерных) волн играет существенную роль в релаксации неустойчивостей электронных распределений в потоке солнечного ветра. Современные спутниковые наблюдения показывают, что неустойчивость теплового потока является вероятным механизмом возбуждения свистовых волн, распространяющихся вдоль магнитного поля. Для оценки эффективности процесса генерации таких волн и рассеяния электронов активно применяются численные методы, в частности, Particle-In-Cell (PIC) моделирование. Однако PIC моделирование требует существенных технических ресурсов и не позволяет анализировать развитие процесса на временных шкалах, соответствующих наиболее реалистичному, диффузионному режиму релаксации распределения электронов. Одной из возможных альтернатив прямому PIC моделированию является квазилинейное приближение, описывающее эволюцию распределения как непрерывной функции. Статистика наблюдений свистов в солнечном ветре показывает, что их спектр удовлетворяет условию применимости квазилинейной теории.

В рамках исследования волновых процессов в солнечном ветре был разработан вычислительный код для моделирования самосогласованной квазилинейной системы уравнений. Код позволяет выполнять вычисления на высокопроизводительных устройствах с технологией NVidia-CUDA. Ускорение вычислений достигается за счёт использования численных схем переменных направлений (alternating direction implicit), допускающих очень простое распараллеливание на большое количество потоков с общей памятью. Основными особенностями кода являются: учёт перекрёстных производных в основном диффузионном уравнении квазилинейной теории, что особенно важно в задачах, где устранение этих членов невозможно с помощью замены координат, и возможность самосогласованного изменения коэффициентов диффузии в ходе моделирования.

Для тестирования кода было проведено моделирование эволюции неустойчивости теплового потока для различных параметров начального распределения на временных масштабах, соответствующих оценкам параметров солнечного ветра.

## **Control of the cosmic rays cutoff rigidity by the parameters of the magnetosphere and solar wind during a strong magnetic storm in early September 2017**

O.A. Danilova<sup>1</sup>, N.G. Ptitsyna<sup>1</sup>, M.I. Tyasto<sup>1</sup>, and V.E. Sdobnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation, St. Petersburg Branch, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

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

*E-mail: md1555@mail.ru*

The analysis of variations in the cosmic rays cutoff rigidity  $\Delta R$  for the period September 6–9, 2017 has been performed. The  $\Delta R$  values for several stations have been calculated with two methods: 1) a method in which the particle trajectories are calculated numerically in a model magnetic field of the magnetosphere to determine the cutoff rigidity and 2) the spectrographic global survey method, in which the determination of the cutoff rigidity is based on observational data from the neutron monitor network. The correlation between the  $\Delta R$  and interplanetary parameters and the *Dst* index of geomagnetic activity has been calculated. The main parameters controlling variations in geomagnetic thresholds during this storm were the *Dst* and the solar wind velocity *V*. IMF, including the *B<sub>z</sub>* component, had a much less significant impact. The newly discovered effect — the phenomenon of hysteresis in the interaction of  $\Delta R$  and parameters of the helio- and geosphere has been investigated. In general, the results obtained by the two methods are in close agreement.

## **Long-term trends in cosmic rays and geomagnetic field secular variations**

A.G. Elias<sup>1,2</sup>, B.S. Zossi<sup>1,2</sup>, A.R. Gutierrez Falcon<sup>3</sup>, E.S. Comedi<sup>3</sup> and B.F. de Haro Barbas<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Laboratorio de Ionosfera, Atmosfera Neutra y Magnetosfera - LIANM, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina*

<sup>2</sup>*INFNOA, CONICET-UNT, Tucumán Argentina*

<sup>3</sup>*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina*

Cosmic rays are modulated by solar and geomagnetic activity. In addition, the flux that arrives to the Earth is sensitive to the inner geomagnetic field through its effect on the geomagnetic cutoff rigidity, *R<sub>c</sub>*. This field has been decaying globally at a rate of ~5% per century from at least 1840. However, due to its configuration and non-uniform trend around the globe, its secular variation during the last decades has induced negative and positive *R<sub>c</sub>* trends as well depending on location. In the present work, the database from the World Data Center for Cosmic Rays (WDCCR) is used to analyze long-term trend variations linked to geomagnetic secular variations. This database includes more than 100 stations covering, some of them, almost seven decades since the 1950's. Those stations spanning more than 20 years of data are selected for the present study in order to adequately filter solar activity effects.

## **Coronal structures of high resolution at a quiet Sun obtained by photographs from total solar eclipses**

M. Kostov, P. Stoeva, A. Stoev

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

Total solar eclipses present a rare and valuable opportunity to study the structure, composition and behavior of the solar corona in general. Otherwise, the inner part of the solar corona is the region, where the physical processes, involving the heating of the coronal plasma and the acceleration of the solar wind are most strongly present. This is

## *The Sun, solar wind, cosmic rays*

the critical region where the magnetic field of the Sun goes through the most dramatic changes and evolves naturally into the interplanetary outer space with the solar wind. We have a series of high resolution photos of the solar corona in minimum of the solar activity. The processing of the images showed a lot of extremely fine details in depth, nearly reaching the chromosphere – something that is beyond the capabilities of modern heliospheric satellites.

Here we consider total solar eclipses in the weakening trend of solar cycles - eclipses from 2006, 2008 and 2009 from the solar cycle 23 and 2017 and 2019 total solar eclipses from the solar cycle 24, which are at the decending phase of the sunspot cycles. High resolution of the photos in white light and the different times of exposure enabled the creation of composite images of the solar corona. The coronas are minimum type and flattening indices are compared. Basic coronal structures such as polar plumes, dome-shaped structures and helmet streamers are found. In the minimum type coronas are well developed north and south polar ray systems and streamers of different brightness at middle and low heliographic latitude. Prominences originating and developed at different heliographic latitudes are also well outlined at the bottom of some large dome-shaped structures.

*Keywords: sun, solar eclipses, minimum type solar corona*

## **On some results of 2D and 3D tasks for the galactic cosmic ray intensity useful for understanding its long-term variations**

M.B. Krainev<sup>1\*</sup>, B.B. Gvozdevsky<sup>2</sup>, O.P.M. Aslam<sup>3</sup>, M.S. Kalinin<sup>1</sup>, M.D. Ngobeni<sup>3,4</sup>, M.S. Potgieter<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, RAS, 119991, Moscow, Russia*

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

<sup>3</sup>*Center for Space Research, NWU, Potchefstroom, South Africa*

<sup>4</sup>*School of Physical and Chemical Sciences, NWU, Mmabatho, South Africa*

<sup>5</sup>*Retired*

*\*E-mail: mkrainev46@mail.ru*

The propagation of the galactic cosmic ray (GCR) in the heliosphere is described by the 3D ( $r, \theta, \varphi$ ) boundary-value task. For the long-term variations of the GCR intensity both quasi-stationary 3D and 2D ( $r, \theta$ ) models are used. In the talk we discuss two types of the numerical results. First, we calculate the GCR intensity in the strong- and weak-diffusion approximations which cause, respectively, the weak- and strong-drift effects. Although it turns out that the whole set of observations is better described by strong-diffusion (and hence weak drift effects) approximation, we hope that investigation in the weak-diffusion (and hence strong drift effects) approach, in conjunction with other methods, can assist in understanding of how GCR drift contributes to GCR modulation. Second, the source term in the 2D transport equation for the averaged over the longitude GCR intensity is calculated using the results of 3D boundary-value task. This calculated source term can be compared with that estimated theoretically.

This work was supported in part by RU-SA NRF-RFBR grant No. 19-52-60003 SA-t.

## **Analysis of the emergence of short-term temperature anomalies on the surface of the Black Sea as a result of solar activity**

A.P. Manev

*Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 1113, Bulgaria*

The article presents an analysis of short-term temperature anomalies from three to ten days on the surface of the Black Sea for eleven years in a row from 1989 to 1999. The study was conducted on the basis of NOAA daily satellite temperature maps. The features of processing the output satellite data and the characteristics of the anomaly are described. Synchronous processing of data on sea surface temperature and data on solar and geomagnetic activity, as well as data on seismic activity in the region. In the process of research, an attempt is made to explain the relationship between the studied parameters. Synoptic conditions in Europe are analyzed in the context of the

appearance and development of anomalies in the last two years from the analyzed period. At the end of the study, a hypothesis was formulated about the influence of an increase and decrease in solar activity on the occurrence of temperature anomalies on the Black Sea surface.

### Eigen energy exchange modes of magnetosphere at long-lasting stochastic coupling with solar wind

A.V. Moldavanov

Belkin International Inc., Los Angeles, USA

An important step in our understanding of an energy balance for magnetosphere (*MS*) is its response to solar wind (*SW*) input on a long-time scale. Obviously, that accounting the ever-changing character of such input and huge number of involved agents it is difficult to describe energy evolution of *MS* in the terms of deterministic functions. In this sense, attracting of stochastic approach looks more warranted.

Following above logic, in this presentation we consider the model based on interaction of unlimited number of independent bidirectional *SW* actors with *MS* when each single actor (energy exchange link) is picked up on the random basis (so called *RECE* model [1]) at assumption of permanent access of *MS* to long-lasting energy flow. Major element of this model is execution of each single energy link  $SW \leftrightarrow MS$  through a formalism of convenient energy continuity equation.

Important to add is that adapting this general model to the specific case of  $SW \leftrightarrow MS$  interaction, we include to that interaction all possible ways of energy coupling such as at particle and wave level, for direct and indirect (though magnetotail) coupling, through remote in time and right away mechanisms.

Result of this research is evolutionary curve demonstrating dependence of average efficiency of energy exchange  $\gamma_n$  on the rate of energy flow  $y$  (Fig.1).

Originally, development of *MS* takes the form of energy accumulation. Afterwards, we observe appearance of the energy ordering with arising of energy clusters grouped around the most stable energy exchange modes  $\gamma_n$  at the expense of riding of the redundant energy. In total, it manifests in the discreteness of spectrum for  $\gamma_n$  and  $y$  (Fig. 1).

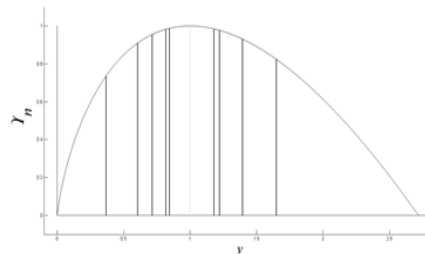


Fig.1. Discrete spectrum for integral efficiency of energy exchange  $\gamma_n$ .

The discrete spectrum for  $\gamma_n$  formed at energy evolution of *MS* keeping permanent coupling with *SW* is shown. In the plot, by an abscissa axis a unitless energy exchange rate  $y = J/J_0$  is indicated, by an ordinate axis a unitless integral efficiency of energy exchange  $\gamma_n$ . A few first harmonics of  $\gamma_n$  are schematically shown by thick vertical segments.

#### References

1. Moldavanov A.V. Topology of organized chaos, 2020, Moscow: Fizmatkniga, p. 66., ISBN 978-5-89155-338-5.

## **Studies on periodicities of some solar and geomagnetic indices using FFT and Wavelet techniques**

Devi R. Nair and Prince P.R.

*Department of Physics, University College, University of Kerala, Thiruvananthapuram, Kerala, India- 695034  
E-mails: devirnair@yahoo.com, princerprasad@gmail.com*

Analysis of periodicities of daily averaged values of some solar and geomagnetic indices has been carried out for solar cycles 21-24. Fast Fourier Transform (FFT) and wavelet technique are used for the analysis. Power spectral density (PSD) studies of the FFT of different solar and geomagnetic indices like solar disk magnetic field, F10.7, solar flare index (SFI), Coronal index (CI) Lyman Alpha index, IMF, plasma speed, Dst, AE, Kp and Ap revealed long term periodicity of 11.21 years and varying short term periodicities which are sequential progressive divisible values of the corresponding long term periodicities. FFT studies also showed dominant periodicities of 5.603, 4.483, 3.202, 1.724, 0.5 and 0.073 years for majority of the solar and geomagnetic indices. Wavelet analysis of the indices showed consistent long term periodicity of 10.31-10.93 years, and short term periodicities of 3-4 years and 0.076-1 years (which almost agreed with the FFT analysis). Further studies can be carried out to determine the time of occurrence of such common periodicities for more than one solar index to examine the cause-effect relationship with geomagnetic indices of same periodicities.

*Keywords: Solar and geomagnetic indices, periodicities, FFT, Wavelet*

## **Choice of conditions for MHD simulations above the active region, allowing the study of the solar flare mechanism**

A.I. Podgorny<sup>1</sup>, I.M. Podgorny<sup>2</sup>, A.V. Borisenko<sup>1</sup>, N.S. Meshalkina<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, nata@iszf.irk.ru*

Numerous observations prove that the primordial energy release of the flare occurs in the solar corona at an altitude of  $\sim 1/40 - 1/20$  of the solar radius. This fact is indicated by direct observations of thermal X-ray radiation for flares on the limb, the invariability of the magnetic field on the solar surface during flares, the behavior of ultraviolet radiation in the lines of multiply ionized iron ions, and other observations. The main problem is the need to explain how a large amount of magnetic energy ( $\sim 10^{32}$  erg) can be slowly accumulated in the solar corona, so that it can be fast released during a flare. An explanation of this property of a flare can be provided by the mechanism of S.I. Syrovatskii, according to which the magnetic energy of the flare is accumulated in the field of the current sheet, which is formed in the vicinity of a X-type singular line of magnetic field. As a result of quasi-stationary evolution, the current sheet transfer into an unstable state. Instability causes a flare release of energy with all the observed manifestations of a flare, which are explained by the electrodynamic model of a flare proposed by I.M. Podgorny. Hard X-ray beam radiation on the surface of the sun during a flare is explained by the deceleration in the lower dense layers of the solar atmosphere of electron fluxes accelerated in longitudinal currents caused by the Hall electric field in the current sheet. The results of our recent studies lead to the conclusion that the study of the flare mechanism is impossible without performing MHD simulations above a real active region (AR), in which the magnetic fields observed on the photosphere are taken as boundary conditions, and the calculation begins several days before the appearance of flares. At setting the problem, no assumptions were made about the flare mechanism. In order to speed up the calculation, a finite difference scheme was specially developed, which had to remain stable for the largest possible time step. The scheme is realized in the PERESVET program. MHD simulation in the real scale of time in the solar corona can only be carried out through parallel computations. Computing equipment (GPU) was chosen, which makes it possible to implement the fastest parallel computation algorithm. As a result of improving of computations using CUDA technology, the speed of parallel computing is 120 times faster than the speed of sequential computing on a conventional computer. More than 20 modernizations of the algorithm have increased the speed of parallel computations by 7.5 times. By performing of simulations in the real scale of time, we hoped to get rid of the numerical instability. However, as experience has shown, when calculating in the real scale of time, numerical instability appears near the boundary, since it manages to develop during a long time interval. Improvement of numerical methods for solving MHD equations is carried out in order to stabilize the instability.

The instability was stabilized at the non-photospheric boundary of corona. Disturbances, propagating from the photospheric boundary, cause the accumulation of energy for the flare; therefore, such disturbances cannot be artificially suppressed. As a result of the application of the developed methods, the solution near the photospheric boundary has become much more stable, but there is still work to improve the problem setting. Simulation showed the appearance of current density maxima on X-type singular lines of the magnetic field with the plasma flow causing to the formation of a current sheet. Calculations for various conditions and parameters in order to improve the applied methods and study the flare mechanism were carried out for the active region AO10365. A problem setting is being prepared and observations are being selected for the active region AO11719, in which the flare M6.5 occurred on 11.04.2013 at 06:55.

## **Photometry of the brightness of the sky in the cone of the moon shadow during the total solar eclipse on July 2, 2019**

L. Raykova, A. Stoev and P. Stoeva

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

Specialists from the Space Research and Technology Institute, BAS and the Astronomical Observatory "Yuri Gagarin", Stara Zagora created a scientific programme for observation of the total solar eclipse on July 2, 2019. One of the tasks was photographic photometry of the brightness of the sky during the phase evolution of the eclipse, which was observed from the vicinity of the town of Quines, Republic of Argentina.

A digital DSLR camera Canon EOS 750D with Samyang F2.8 /12 mm Fish-Eye Lens was used in a program mode. RGB images of the sky in RAW format covering the full spatial angle from the zenith to the horizon were obtained. The light sensitivity rating of the digital camera sensor was fixed at 200 ISO.

Dark frames are made at different exposures for calibration and determination of the thermal noise of the CCD detector (dark current) and the differences in the sensitivity of the pixels (flat field).

The individual photographic images were corrected and processed with the photometric program of the graphic editors IRIS and Registax. After that, brightness of the sky was determined in the phases of the eclipse. The brightness of selected zenith points and the total illuminance of the sky on the horizon were measured with a photometer PU 150 (Germany), and the data were used for calibration.

In the course of the research, pie charts of the sky brightness were obtained. Mean minimum value of the brightness of the sky around the zenith during the maximum phase of the eclipse is 0.026 cd/cm<sup>2</sup>. The average minimum illuminance of the sky on the horizon is 4.3 cd/cm<sup>2</sup>. These minimum values estimate the overall illuminance of the sky as relatively high in comparison with previous eclipses.

**Keywords:** total solar eclipse, brightness and illuminance of the sky, digital photographic images

## **Establishing solar activity trend for solar cycles 21 - 24**

A. K. Singh\* and Asheesh Bhargawa

*Department of Physics, University of Lucknow-226 007*

*\*Email (Presenting Author): [aksphys@gmail.com](mailto:aksphys@gmail.com)*

Physical conditions of solar interior governs solar terrestrial environment at larger scale. Various solar parameters provide relevant information about the dynamic Sun and its impact on the Earth. In the present study, we have investigated about the trend of solar activity during last four solar cycles, i.e., solar cycles 21-24. The correlation coefficients of the linear regression of F10.7 cm index, Lyman alpha index, Mg II index, cosmic ray intensity, number of M+X class flares and coronal mass ejections (CMEs) occurrence rate versus sunspot number are analysed. A running cross-correlation method has been used to study the momentary relationship between the above mentioned solar activity parameters. Solar cycle 21 witnessed the highest value of correlation for F10.7 cm index, Lyman alpha index and number of M-class and X-class flares versus sunspot numbers among all the considered solar cycles which was about 0.979, 0.935 and 0.964 respectively. Solar cycle 22 recorded the highest correlation in

## *The Sun, solar wind, cosmic rays*

case of Mg II index,  $A_p$  index and CMEs occurrence rate versus sunspot number among all the considered solar cycles (0.964, 0.384 and 0.972 respectively). Solar cycles 23 and 24 did not witness any highest correlation as compared to solar cycle 21 and 22. Further the record values (highest value compared to other solar three cycles) of each solar activity parameters for each of the four solar cycles have been studied. Here solar cycle 24 has no record text at all, this simply indicating that this cycle was a weakest cycle compared to the three previous ones. We have concluded that in every domain solar cycle 24 has shown diverse characteristics as compared to its three predecessors.

### **Проявление солнечной активности в различных компонентах космических лучей по данным станции Апатиты**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты, Россия; e-mail: balabin@pgia.ru*

Солнечная активность является одним из главных факторов, определяющих интенсивность космических лучей на орбите Земли. Вариации интенсивности космических лучей регистрируется наземными приборами уже многие десятилетия, наиболее явная среди них – одиннадцатилетняя вариация, связанная с солнечным циклом. При этом степень модуляции потока убывает с ростом энергии частиц. Установленный в Апатитах комплекс детекторов, выполняющих мониторинг основных компонентов вторичных космических лучей, был запущен в 2009 г. К настоящему времени имеются данные за полный цикл солнечной активности. Различные компоненты вторичных космических лучей производятся в атмосфере Земли частицами разных энергий, следовательно, вариации в данных от разных детекторов должны различаться. Проведен анализ массива данных и выполнено сравнение вариаций различных компонентов вторичных космических лучей.

### **Измерения космических лучей в акватории Ледовитого океана с помощью мобильного комплекса**

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

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

В 2020 г. прототип многоканального комплекса для мониторинга космических лучей (включает детектор нейтронов тепловых и умеренных энергий до 1 МэВ, детекторы гамма-излучения и заряженных частиц) участвовал в экспедиции в Баренцевом и Гренландском морях. Получены первые результаты измерений потоков разных компонентов вторичных космических лучей над обширными водными пространствами. Зарегистрирован эффект, наблюдаемый над сушей – возрастание гамма-излучения при осадках. Комплекс показал свою работоспособность и характеристики, заложенные в него при создании.

### **Использование мюонного телескопа в Апатитах для проверки численных моделей прохождения космических лучей через атмосферу**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты, Россия*

Одной из задач мюонного телескопа, установленного в 2020 г. в Апатитах, является экспериментальная проверка результатов численных расчетов. В лаборатории космических лучей ПГИ активно используется численное моделирование прохождения космических лучей (как галактических, так и солнечных) через атмосферу Земли. Результатами такого моделирования являются высотные профили ионизации атмосферы, радиационные дозы на разных высотах. Однако, прямые измерения потоков ионизирующих частиц на



различных высотах в атмосфере весьма затруднены. Предложен другой метод проверки моделей: путем сравнение расчетных потоков ионизирующих частиц на уровне земли с реально измеряемыми. Для этого необходимо иметь детектор, с хорошей точностью регистрирующий потоки заряженных частиц. Мюонный телескоп, установленный в Апатитах, имеет требуемые характеристики. Наличие нескольких выходных каналов позволяет разделять ионизирующие частицы по типам и энергиям. Разработана методика пересчета расчетных потоков ионизирующих частиц в темп счета мюонного телескопа.

### **Новый детектор в комплексной системе регистрации космических лучей в Апатитах**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты, Россия; e-mail: germanenko@pgia.ru*

В лаборатории космических лучей Полярного геофизического института в начале 2020 года создан мюонный телескоп, предназначенный для регистрации ионизирующих частиц в диапазоне энергий от 1 МэВ до 100 ГэВ. Телескоп собран по стандартной схеме: две пластины сцинтиллятора, разделенных слоем свинца 10 см. Электронная схема имеет каналы счета верхнего и нижнего детекторов, а также канал совпадений между ними. Телескоп включен в систему мониторинга вторичных космических лучей в Апатитах. Анализ полученных за период работы телескопа данных показал вариации потока мюонов. В основном эти вариации связаны с процессами в атмосфере. Солнечная активность в 2020 г. находилась в минимуме, значимые вариаций космических лучей, как показывают данные нейтронных мониторов, в этот период отсутствовали. Данные телескопа будут использоваться для верификации численных моделей распространения космических лучей в атмосфере путем сравнения расчетного потока заряженных частиц на уровне земли и реально наблюдаемого.

### **Связь направления прихода фронта межпланетной ударной волны со временем старта SC по анализу отдельных КВМ-событий**

С.В. Громов, Ю.С. Загайнова, Л.И. Громова

*ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия; e-mail: sgromov@izmiran.ru*

Взаимодействие с магнитосферой Земли межпланетных корональных выбросов массы (*ICME*), сопровождающиеся межпланетными ударными волнами (*ISW*), приводит к изменению магнитного поля Земли. Этот процесс отражается в резком скачке изменении геомагнитного поля (*SC*) разной интенсивности, который в некоторых случаях может привести к развитию магнитной бури, представляя собой ее внезапное начало (*SSC*). Направление прихода фронта *ISW* также, как скорость межпланетной ударной волны и динамическое давление солнечного ветра, оказывает влияние на амплитуду и время нарастания *SC*. Внезапное начало бурь (*SSC*) фиксируется в каталоге *SC*, представляемом *IAGA*. Чтобы оценить направление прихода фронта межпланетной ударной волны по времени старта *SSC* были выбраны два *ICME* с источниками формирования в Северном (21.06.2015 02:36 UT) и Южном (14.07.2017 01:25 UT) полушарии Солнца и сопровождавшихся *ISW*. При взаимодействии с магнитосферой Земли они вызвали *SC* 22.06.2015 в 18:33 UT и 16.07.2017 в 05:59 UT с последовавшими за ними магнитными бурями. Анализировалось время старта *SSC* для событий 22.06.2015 и 16.07.2017 по секундным данным, доступным в сети *INTERMAGNET* (около 40 обсерваторий северного и 20 обсерваторий южного полушарий). Для этих событий выполнена оценка появления *SSC* как функция геомагнитной широты и долготы от всемирного времени. Показано, что с приходом *ICME* к Земле старт *SSC* на наземных магнитных обсерваториях, расположенных на широтах, от высоких до экваториальных, не является одновременным: время старта *SSC* на разных широтах отличаются на десятки секунд. Кроме этого, в рассмотренных событиях *SSC* регистрируется вначале на обсерваториях полушария Земли, освещенного Солнцем, и, в среднем, появляется раньше в нижних широтах, чем в высоких.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 01200953488, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 20-02-00150.

## **Сравнительный анализ 2D и 3D подходов к уравнению модуляции ГКЛ: Теория и практика**

М.С. Калинин, М.Б. Крайнев, А.К. Свиржевская, Н.С. Свиржевский

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

*E-mail: kalininms@lebedev.ru*

В работе проведены расчёты интенсивности галактических протонов в последовательных минимумах солнечной активности 23/24 и 24/25 циклов, отличающихся знаком общего магнитного поля Солнца. Расчёты проводились в рамках известной модели Феррера-Подгитера с параметрами, позволяющими с хорошей точностью описать интенсивность в минимуме 23/24 ( $A = -1$ ). Расчёт следующего минимума 24/25 ( $A = +1$ ) проводился с теми же параметрами, что и при описании предыдущего минимума. Сравнение результатов расчётов показало, что описание в рамках 2D уравнения, полученного в результате усреднения по долготе полного 3D уравнения, практически совпадают с усреднёнными по долготе решениями полного 3D уравнения. С физической точки зрения это обуславливается взаимной компенсацией дополнительно открывающихся в 3D моделях эффектов диффузии и дрейфов при обоих знаках  $A = \pm 1$ .

Результаты расчётов по обоим расчётным вариантам сопоставлялись с данными стратосферных измерений интегральной интенсивности протонов с энергией  $T > 100$  МэВ, проводимых в ФИАН.

## **О средних характеристиках подъёма зонда в эксперименте регулярного баллонного мониторинга космических лучей**

М.Б. Крайнев

*Физический институт РАН им. П.Н. Лебедева, РАН, 119991, Москва, Россия*

*E-mail: mkrainev46@mail.ru*

Эксперимент по регулярному баллонному мониторингу (РБМ) космических лучей в атмосфере Земли в нескольких пунктах проводится ФИАН с 1957 г. В настоящее время зондирование осуществляется 3 раза в неделю в гг. Апатиты (Мурманская область), Долгопрудный (Московская область) и в обсерватории Мирный (Антарктида). Для уточнения и понимания некоторых закономерностей, полученных в эксперименте, полезно определить средние характеристики динамики подъёма зонда (прежде всего, скорость подъёма, возможно изменяющаяся с высотой, и её погрешность). В докладе обсуждается поведение этих характеристик по данным эксперимента РБМ.

## **Об анализе формы импульсов детальной информации эксперимента регулярного баллонного мониторинга космических лучей**

М.Б. Крайнев

*Физический институт РАН им. П.Н. Лебедева, РАН, 119991, Москва, Россия*

*E-mail: mkrainev46@mail.ru*

В рамках эксперимента по регулярному баллонному мониторингу (РБМ) космических лучей в атмосфере Земли с 1996 г. в г. Долгопрудный (Московская область) и с 2005 г. в г. Апатиты (Мурманская область), кроме стандартной информации (число срабатываний детекторов космических лучей и давление за каждую минуту полёта), регистрируется т.н. детальная информация (форма каждого зарегистрированного импульса). По нашему предположению анализ формы импульса может помочь уточнить полученную стандартную информацию, особенно в случаях возмущенной атмосферы, когда зонд сильно раскачивается, что приводит к сильному уменьшению длительности импульсов. В докладе обсуждаются подходы к этому анализу.

## **Измерение потока заряженной компоненты космических лучей с помощью портативного малогабаритного детектора**

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

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

*E-mail: maurchev1987@gmail.com*

В Полярном геофизическом институте был разработан программный комплекс RUSCOSMICS, который позволяет рассчитывать прохождение первичных частиц космических лучей через атмосферу Земли и получать характеристики потоков вторичных частиц, в том числе высотные профили ионизации. Важным этапом при проведении моделирования является верификация полученных результатов, которую наиболее удобно делать при помощи данных, полученных с детекторов заряженных частиц (счетчиков Гейгера). Одним из главных источников таких данных является балонный эксперимент, который проводится группой ученых ФИАН. Но несмотря на то, что измерения носят долговременный характер, а также покрывают диапазон высот вплоть до 30 км, они также являются локальными. Поэтому в дополнение к ним нами решено было разработать и создать портативный детектор, позволяющий вести запись скорости счета заряженных частиц и сохранять эти данные для дальнейшей обработки. Как основные особенности устройства, отличающие его от аналогичного оборудования, можно выделить использование в нем собственно сконструированного модуля высокого напряжения с крайне низким энергопотреблением, модуля формирования импульсов при совместном использовании отечественного счетчика Гейгера СТС-5. В качестве системы сбора и обработки сигнала используется микроконтроллер ESP-32. Все это позволяет в значительной мере снизить стоимость детектора, сохраняя при этом его характеристики на уровне специализированного научного оборудования. В работе представлена реализация разработки как на программном, так и на аппаратном уровне и показан пример записанных данных.

## **Моделирование нуклон-нуклонных взаимодействий в атмосфере Земли для ядер гелия**

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

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

*E-mail: maurchev1987@gmail.com*

Основными частицами, входящими в состав первичных галактических космических лучей и солнечных космических лучей, являются протоны, их доля может составлять более 90 %. Оставшаяся часть потока состоит из электронов и ядер с зарядовым числом  $Z \geq 2$ , в число которых входит и гелий. Проходя через вещество атмосферы Земли, эти частицы, аналогично протонам, испытывают серии взаимодействий, теряя свою энергию как в электромагнитных, так и в ядерных реакциях, в ходе которых рождаются целые каскады вторичных частиц (электроны, протоны, нейтроны, каоны, мюоны, гамма-кванты). В представленной работе рассматривается частный случай, при котором входными параметрами генератора первичных частиц являются энергетические спектры ядер гелия, при этом сами частицы моделируются не как элементарные, а как реальное ядро и состоят из набора нуклонов. Основной задачей является оценка того, насколько сильный вклад в образование вторичных частиц и ионов вносят ядра элементов с  $Z > 2$ , входящие в состав КЛ, а также определить характер высотных кривых (в первую очередь – высоту расположения максимума профиля). Это значение фактически говорит о том, в какой точке образуется каскад.

## **Методика пересчета результатов моделирования прохождения протонов ГКЛ через атмосферу Земли в эффективную и эквивалентную дозу излучения**

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

*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*

*E-mail: maurchev1987@gmail.com*

В результате моделирования прохождения частиц космических лучей через атмосферу Земли получают высотные профили, которые представлены как потоки в зависимости от энергии и скорость ионизации или суммарные потоки в зависимости от высоты. В задаче оценки радиационной безопасности во время возрастания уровня естественного фонового излучения важно получать значения эффективной и эквивалентной дозы. Представленная работа посвящена освещению проблемы перехода к этим показателям как от экспериментальных данных, так и от результатов моделирования. Показаны примеры расчета доз на высотах от 0 км до 15 км, вследствие воздействия на объект вторичным излучением, наведенным в атмосфере как галактическими, так и солнечными космическими лучами.

## **Ионизация атмосферы Земли протонами солнечных космических лучей во время события GLE72**

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

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

*E-mail: maurchev1987@gmail.com*

Одной из задач физики космических лучей является оценка радиационной безопасности во время вспышек на Солнце, сопровождающихся событиями возрастания скорости счета на нейтронных мониторах, называемыми GLE (Ground level enhancement). Такое явление объясняется тем, что в потоке первичных протонов увеличивается количество частиц с энергией от 1 ГэВ до 10 ГэВ, способных как терять свою энергию на прямую ионизацию, так и достигать больших глубин в атмосфере, инициируя каскадные процессы. В Полярном геофизическом институте был разработан программный комплекс RUSCOSMICS, одной из возможностей которого является способность получать высотные профили ионизации для заданного участка атмосферы, используя в качестве входных данных спектры первичных протонов солнечных космических лучей. Следует заметить, что методика расчета спектров, а также конусов приема и питч-угловых распределений также разработана в Полярном геофизическом институте. Важной особенностью, используемой в этой работе, является то, что при моделировании взаимодействия частиц реализуются параллельные вычисления (на базе расчетного центра с установленным сопроцессором Intel Xeon Phi 5110 и основным процессором Intel Core i7), что позволило расширить применимость модели с локального участка на глобальную геометрию всей атмосферы Земли. В работе представлены результаты, полученные для события GLE72 в виде ионограмм на высотах от 1 км до 80 км с шагом 1 км для всех значений широты и долготы с шагом 5 градусов. Верификация модели проводилась в более ранних работах с использованием данных, полученных во время запуска шаров-зондов, на сегодня эта часть исследования продолжается, включая также в себя разработку собственной системы измерения потоков заряженных частиц.

## **Методика интеграции сетки значений жесткости геомагнитного обрезания для моделирования взаимодействия протонов космических лучей с атмосферой Земли**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия*

*E-mail: maurchev1987@gmail.com*

Сегодня хорошо известно, что на границу атмосферы Земли (условно этот параметр установлен в районе ~80 км) для отличающихся значений географической широты и долготы частицы космических лучей приходят с различной энергией, величина которой определяется жесткостью геомагнитного обрезания. В процессе моделирования прохождения первичных протонов и их взаимодействий для получения высотных профилей ионизации эту особенность необходимо обязательно учитывать. Причем очень важным моментом является то, что для расчета галактических космических лучей и солнечных космических лучей подходы будут отличаться. В первом случае существуют специальные программы, основанные на расчете трекинга заряженной частицы в магнитном поле, где магнитосфера чаще всего представлена моделью Цыганенко. Во втором случае спектральные характеристики первичных потоков вычисляются с учетом конуса приема аналогично тому, как это происходит для нейтронных мониторов. В работе показаны примеры полученных пороговых значений энергии первичных протонов, нанесенные на глобальную сетку, а также рассматривается способ интеграции этих значений в модель прохождения космических лучей через атмосферу Земли.

## **Учет питч-углового распределения в моделировании взаимодействия солнечных протонов с атмосферой Земли для событий GLE**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия*

*E-mail: maurchev1987@gmail.com*

Основным параметром для оценки увеличения скорости ионизации атмосферы Земли при прохождении через нее протонов солнечных космических лучей является дифференциальный энергетический спектр на ее границе, условно установленной равной ~80 км. Спектры получаются при помощи разработанной в Полярном геофизическом институте методики, основанной на решении обратной задачи с использованием данных мировой сети станций нейтронных мониторов. При этом следует заметить, что протоны солнечных космических лучей, в отличие от галактических космических лучей, имеют не изотропное распределение, соответственно для приближения параметров модели к реальным необходимо производить учет функции питч-углового распределения. В этой работе показано (с ссылками на работы), как этот параметр влияет на форму спектра, а также представлена методика реализации его включения в процесс моделирования.

## **Среднесрочные колебания солнечной активности**

В.Н. Обридко<sup>1</sup>, Д.Д. Соколов<sup>1,2,3</sup>, В.В. Пипин<sup>4</sup>, А.С. Шибалова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*IZMIRAN, 4 Kaluzhskoe Shosse, Troitsk, Moscow, 108840*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Moscow State University, Moscow, 119992, Russia*

<sup>3</sup>*Moscow Center of Fundamental and Applied Mathematics, Moscow, 119991, Russia*

<sup>4</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, Russia*

Помимо хорошо известного 11-летнего цикла в вариациях параметров гелиогеофизической активности можно выделить периодические изменения с большими и меньшими характерными временами. Известны квазипериодические колебания геомагнитной активности с периодами около 36 и 60 лет, обнаружена приблизительно 60-летняя периодичность в эволюции корреляционных связей между давлением в нижней атмосфере и характеристиками солнечной активности. Аналогичные периоды наблюдаются в циклонической деятельности. Выявление таких периодов в характеристиках солнечной активности вызывает трудности ввиду ограниченности ряда данных, однако они хорошо заметны в вариациях асимметрии пятнообразовательной деятельности северного и южного полушарий Солнца. В геомагнитных вариациях наблюдаются также осцилляции с характерными временами 5-6 лет (QSO) и 2-3 года (QBO). Мы рассматривали 5-6-летние колебания (около половины основного цикла), наблюдаемые в изменениях числа солнечных пятен и напряженности дипольной составляющей магнитного поля Солнца. Сопоставление с различными моделями магнитного динамо позволяет определить возможную природу подобных колебаний. Похожий результат удается воспроизвести в модели динамо с нелинейным изменением параметров. Цикл активности в этом случае получается ангармоническим и содержит дополнительные периодичности помимо основной. Основа для задания нелинейности в теоретической модели — эффект магнитной плавучести. Введение регулярных осцилляций  $\alpha$ -эффекта в модель не дает нужного результата. Изменения с квазипериодом 5 лет при этом выражены слабо, и модулируется 11-летнее колебание, что непохоже на реально наблюдаемую картину. В результате исследования мы делаем вывод о связи 5-6-летних вариаций активности с процессами нелинейного насыщения динамо в недрах Солнца. Квазидвухлетние колебания на самом деле представляют собой отдельные импульсы, мало связанные друг с другом. Поэтому методы спектрального анализа на больших временных интервалах их не выявляют. Они являются прямым следствием локальных полей, генерируются в близповерхностных слоях и надежно фиксируются только в периоды высокой солнечной активности.

## **Прогноз солнечной активности в начале 25-го цикла**

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

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

Одним из методов исследования сложных периодических процессов является спектральный анализ временных рядов данных, характеризующих эти процессы. В настоящей работе данный метод использован для анализа солнечной активности. Анализ выполнен на основе данных по числам Вольфа за 24 цикла солнечной активности (1818-2020 гг.). На основе проведенного анализа сделан прогноз вариации чисел Вольфа в 2021-2022 годах. Полученные результаты согласуются с данными Королевской обсерватории Бельгии.

## **The study of Chamberlain and Herzberg I bands in the nightglow spectrum of the Earth's atmosphere**

O.V. Antonenko, A.S. Kirillov

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The kinetic processes of electronically excited oxygen  $O_2$  emitting the Chamberlain and Herzberg I bands in the Earth's atmosphere at the altitudes of the nightglow are considered. The calculated integral intensities of the Herzberg I bands are compared with the experimental data obtained from the spacecraft. It is shown that better agreement is obtained with the application of corrected quantum yields for the production of vibrational levels of the  $A^3\Sigma_u^+$  state in three-body collisions in comparison with the yields previously obtained in the scientific literature. There is no agreement between the results of the calculation and the experimental data obtained from the space shuttle for the Chamberlain bands emitted during radiational transitions from  $A^3\Delta_u$  to the  $a^1\Delta_g$  state. The calculations show that the total emission intensity of the Chamberlain bands is  $\approx 40\%$  of the emission intensity of the Herzberg I bands. This result is in good agreement with experimental measurements.

## **Influence of the ionization-recombination cycle on the accuracy of calculating the electron concentration in the lower ionosphere**

S.Z. Bekker

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

The problem of predicting the lower ionosphere parameters under various heliogeophysical conditions is one of the most topical in the studies of the upper geospheres. Moreover, the lower ionosphere is still the least studied. The solving of multicomponent systems of differential equations requires large time and resources, which means that applied tasks cannot be promptly solved. Moreover, the larger number of chemical reactions and components are included in the model, the larger number of parameters is unknown. This moment can negatively affect the accuracy of the results. Therefore, the problem of determining the optimal number of photochemical processes that must be taken into account for lower ionosphere modeling is quite acute. The aim of this work is to select the most optimal scheme for the ionization-recombination cycle of the lower ionosphere for calculating the electron concentration during X-ray flares of various classes. In this work, a comparative analysis of the vertical  $N_e$  profiles obtained by the 4-component, 5-component, and 8-component plasma-chemical models is carried out. The results were verified using the data of ground-based radiophysical measurements of the VLF signals obtained at the Mikhnevo GPO.

## **Estimation of the electron density profile of the D-layer of the ionosphere in the presence of multiple reflections from the E-layer**

P. Bychenkov<sup>1</sup>, Yu. Fedorenko<sup>1</sup>, A. Kozlovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia; e-mail: Yury.Fedorenko@gmail.com*

<sup>2</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

The estimation of the electron density profile of the lower ionosphere by radiophysical methods is a difficult task. The most reliable information about the state of the D-layer of the ionosphere is obtained by direct measurements using instruments installed on rockets. Such measurements are carried out sporadically and in a limited number of locations. Ground-based measurement methods include the use of cross-modulation, partial reflections, and incoherent scattering methods the implementation of which is costly. In this paper, we propose a method for assessing the electron density in the D-layer in the presence of a pronounced E-layer clearly seen on the ionograms of the vertical sounding of the ionosphere. The conditions for the appearance of multiple reflections in ionograms and their relationship with the electron density profile of the D - layer are considered. The ionospheric profile is calculated using the International Ionosphere Reference Model IRI-2016; the Q-factor of the resonator formed by the Earth's surface and the lower ionosphere is evaluated by the full-wave method.

## **Medium scale gravity waves in the ionosphere, 3D investigation**

Jaroslav Chum, Kateřina Podolská, Jan Ruzs, Jiří Baše

*Institute of Atmospheric Physics of the Czech academy of Sciences, Bocni II/1401, 14100 Prague 4, Czech Republic  
E-mails: jachu@ufa.cas.cz, kapo@ufa.cas.cz, ruzs@ufa.cas.cz, jba@ufa.cas.cz*

Phase velocities (3D vectors) and attenuations of gravity waves (GWs) are studied from multi-point and multi-frequency continuous Doppler sounding in the Czech Republic. The observed phase velocities of GWs are determined from phase shifts between the signals reflecting from the ionosphere at different locations that are separated both vertically and horizontally. The reflection heights are determined from a nearby ionospheric sounder located in Průhonice. Wind-rest frame (intrinsic) velocities are calculated by subtracting the neutral wind velocities, obtained by HWM-14 wind model, from the observed GW velocities. Attenuation of GWs with height was estimated from the amplitudes (Doppler shifts) observed at different altitudes. A statistical analysis was performed over two one-year periods: a) from July 2014 to June 2015 representing solar maximum b) from September 2018 to August 2019 representing solar minimum.

The results show that the distribution of elevation angles of wave vectors in the wind–rest frame is significantly narrower than in the Earth frame (observed elevations). Possible differences were also found between the wind–rest frame elevation angles obtained for the solar maximum (mean value (around  $-24^\circ$ ) and solar minimum (mean value round  $-37^\circ$ ). However, it is demonstrated that the elevation angles partly depended on the daytime and day of year. As the distribution of the time intervals suitable for the 3D analysis in the daytime–day of year plane was partly different for solar maximum and minimum, no reliable conclusion about the possible dependence of elevation angles on the solar activity can be drawn. Typical periods of the analyzed GWs were 10 - 25 min and usual wavelengths 100 – 300 km and velocities 100 – 250 m/s.

It is shown that the attenuation of GWs in the ionosphere was in average smaller at the lower heights. This is consistent with the idea that mainly viscous damping and losses due to thermal conductivity are responsible for the attenuation.

## **Features of precipitation electron spectra in the rayed auroras**

Zh.V. Dashkevich\*, V.E. Ivanov, B.V. Kozelov

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia (\*E-mail: zhanna@pgia.ru)*

A technique for reconstruction the precipitating electron flux spectra used the data of triangulation observations by equipment with a wide range of wavelengths (380 - 580 nm) is presented. The features of the energy spectra of precipitating electrons, which are responsible for the formation of rayed structures in auroras, are revealed. It is shown that the spectra of the precipitating electron flux can be approximated by the sum of two electron fluxes having a power-law energy spectrum and a Maxwellian energy distribution. The assumption about the formation of rayed structures due to the precipitation of electrons with a power-law energy distribution into the ionosphere is made.



## **Automatic interpretation of high-latitude CADI ionograms: E, Es, F1 and F2 layers detection**

S.A. Dolgacheva, A.V. Nikolaev

*Geophysics Department of the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), Saint-Petersburg, Russia*

Between 2008 and 2014 Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) set up a network of ionospheric observations based on the Canadian Advanced Digital Ionosonde (CADI). This high-latitude chain consists of seven radiosondes, provides 15-minutes ionograms of vertical sounding (28 ionograms per hour) and covers latitude range from 60° to 73° N and longitude range from 30° to 170° E. To interpret all the volume of getting ionograms we develop automatic algorithms based on neural networks which we presented in our previous study. First models were able to identify the Es and F2 layers and their limited set of parameters. Currently we present extended neural network functionality which is capable of identifying/evaluating all together E, Es, F1, and F2 layers with enlarged set of ionospheric characteristics (fmin, foE, foEs, foF1, foF2, hE, hEs, hF1, hF2, fbEs, fxI, foI, hmEs, M3000 f and h F1, M3000 f and h F2) including the Es types and the F2 layer diffusion. The data set for neural model training was balanced so that each ionosphere layer was represented by a sufficient number of ionograms (more than 10000).

## **The simulation of vibrational populations of electronically excited N<sub>2</sub> in Titan's upper atmosphere during precipitations of high-energetic particles**

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

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

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

We study the electronic kinetics of molecular nitrogen in Titan's upper atmosphere during precipitations of high-energetic particles. The role of molecular inelastic collisions in intermolecular electron energy transfer processes is investigated. It is shown that inelastic molecular collisions influence on vibrational populations of triplet metastable molecular nitrogen N<sub>2</sub>(A<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>). Special attention is paid to the calculation of intensities of N<sub>2</sub> Lyman-Birge-Hopfield bands (LBH) in the upper atmosphere taking into account the quenching processes of singlet a<sup>1</sup>Σ<sub>u</sub><sup>-</sup>, a<sup>1</sup>Π<sub>g</sub>, w<sup>1</sup>Δ<sub>u</sub> states. It is shown that the calculated LBH intensities are in good agreement with the results of experimental observations by Cassini Ultraviolet Imaging Spectrograph.

## **Results, problems, and perspectives of empirical and numerical modeling of the high-latitude ionosphere**

M.V. Klimenko<sup>1,2</sup>, V.V. Klimenko<sup>1,2</sup>, F.S. Bessarab<sup>1,2</sup>, A.T. Karpachev<sup>3</sup>, K.G. Ratovsky<sup>4</sup>, Yu.V. Yasyukevich<sup>4</sup>, T.V. Sukhodolov<sup>2,5</sup>, E.V. Rozanov<sup>2,5</sup>

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

*E-mails: maksim.klimenko@mail.ru, vvk\_48@mail.ru, bessarabf@gmail.com*

<sup>2</sup>*St. Petersburg State University, St. Petersburg*

*E-mails: timofei.sukhodolov@pmodwrc.ch, eugene.rozanov@pmodwrc.ch*

<sup>3</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation RAS, Moscow*

*E-mail: karp@izmiran.ru*

<sup>4</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk*

*E-mail: ratovsky@iszf.irk.ru, yasyukevich@iszf.irk.ru*

<sup>5</sup>*Physikalisch-Meteorologisches Observatorium, World Radiation Center, Davos, Switzerland*

The high-latitude ionosphere differs from the equatorial and mid-latitude ionosphere by comparatively low values of the electron concentration, being at the same time a very strongly structured medium due to the presence of a large

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

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 method for studying and interpretation of the high-latitude ionospheric structure is the use of numerical models of the ionosphere. At present, there are a number of ionosphere models that includes high latitude regions. Usage of such models allowed understanding the different features of magnetosphere-ionosphere and atmosphere-ionosphere coupling processes. Despite the ongoing progress in numerical modeling of the ionosphere, the accuracy of the modern first-principles models is not enough for particular problems of HF radio communication. For such problems the empirical models are often used. In connection with the limitation of ionospheric database at high latitudes, the empirical description of the high-latitude ionosphere is experiencing significant difficulties. Even the standardized empirical model IRI does not describe even the latitudinal structure of the high-latitude ionosphere. Due to this fact, there are numerous attempts to improve the empirical descriptions of high latitudinal ionosphere using different database. This report will provide an overview of existing models involving the ionosphere. The latest achievements and the main results over the last decade in the field of modeling the atmosphere-ionosphere system are presented. The nearest perspectives and development plans in the field of high-latitude ionosphere modeling are discussed. New knowledge in the field of physics of the high-latitude ionosphere, which was obtained on the basis of the model calculation results carried out jointly by employees of the WD IZMIRAN, St. Petersburg State University, IZMIRAN and ISTP SB RAS, will be considered.

### **Spatial-temporal evolution of the pulsing aurora patterns observed by fast cameras in Fennoscandia and Kola Peninsula**

B.V. Kozelov<sup>1</sup>, A.V. Roldugin<sup>1</sup>, S. Oyama<sup>2,3,4</sup>, Y. Miyoshi<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Nagoya University, Nagoya, Japan*

<sup>3</sup>*National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan*

<sup>4</sup>*Ionosphere Research Unit, University of Oulu, Oulu, Finland*

Extended ground-based support of the ARASE satellite in Fennoscandia and Kola Peninsula include several all-sky cameras observed aurora with fine temporal resolution. The data have been analyzed to extract numerical characteristics of complexity of plasma dissipation processes leading to pulsing aurora. Evolution of the correlation dimension calculated by Grassberger-Procacci algorithm was traced during typical events. It was founded that in the beginning of the activation near midnight the correlation dimension is relatively small characterizing the main directed motion of plasma. Then, the complexity of the aurora pattern is increasing that means developing of dissipation in individual less correlated ducts.

The work of A.V. Roldugin has been supported by RFBR under grant no. 19-52-50025. The work of S. Oyama and Y. Miyoshi has been supported by JSPS KAKENHI JPJSBP120194814.

### **Effect of background wind on propagation of atmospheric waves generated by tropospheric sources in the upper atmosphere**

Y.A. Kurdyaeva<sup>1</sup>, S.P. Kshevetskii<sup>2</sup>

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

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

Infrasonic and internal gravity waves generated by various sources at tropospheric heights propagate up to the thermosphere and have a powerful influence on the state of the upper atmosphere. The background wind plays important role in the formation of the wave pattern at different atmospheric heights. Numerical study of the effect of

wind on dynamic processes in the atmosphere caused by the propagation of waves of different periods from local heat tropospheric sources is done in this work. The regional nonlinear model of atmospheric processes of high resolution "AtmoSym" and the empirical model of the neutral wind HWM were used for the calculations.

This work was financial support of the Scholarship of the President of Russian Federation for young scientists and graduate students (SP-753.2021.3).

## **EUV flux correction for the AIM-E auroral ionosphere photoionization input**

V.D. Nikolaeva<sup>1,2</sup>, E.I. Gordeev<sup>3</sup>, D.D. Rogov<sup>1,2</sup>, A.V. Nikolaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Arctic and Antarctic research institute, Saint Petersburg, Russia*

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

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

The AIM-E (E-Region Auroral Ionosphere Model) was developed to determine the chemical composition and electron concentration in the auroral zone at the E-layer. The model allows us to monitor the ionosphere state for the different geomagnetic and solar activity levels during day and night time.

Solar activity input parameter for the Auroral Ionospheric Model is the daily solar radio flux at a wavelength of 10.7 cm (index F10.7). We compare the calculations of the Auroral Ionospheric Model electron density for the daytime with two different ways of the EUV radiation input: (1) the theoretically calculated EUV spectrum using EUVAC empirical model based on the F10.7 index and (2) using direct measurements of the EUV spectrum obtained from the TIMED satellite. The correction of the EUVAC model was carried out on the basis of a large TIMED SEE satellite dataset covering the full 24th solar cycle. A systematic error in the calculations of the EUVAC model EUV photon flux is revealed. The error is 20-40%, depending on solar activity. The ratio of the deviation of model calculations from satellite data depending on solar activity is obtained. Correction of the EUVAC EUV radiation model to specify AIM-E model photoionization source was done. The calculations of the regular E region critical frequencies after EUV flux correction show good agreement with the vertical sounding data from Russian high-latitude stations (R=0.98).

The results of this work makes it possible to achieve a quick on-line assessment of the regular E layer using the daily index F10.7 as an input parameter.

This work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 20-72-10023.

## **SDI-3D project**

Shin-ichiro Oyama<sup>1,2</sup> and SDI-3D project members

<sup>1</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*

<sup>2</sup>*National Institute of Polar Research, Japan*

The dynamics of terrestrial Thermosphere-Ionosphere system is governed by particle collisions between neutrals and plasmas. At high latitudes, external forces originated in the Magnetosphere accelerate ionospheric plasmas, and plasma kinetic energies are exchanged to kinetic and thermal energies of neutral particles. Since these energy transfer processes can be expressed by partial differential equations that incorporates numerous vector fields, it is essentially important to measure vector fields of the Ionosphere and Thermosphere in the common volume at the same time. European Incoherent Scatter (EISCAT) Scientific Association is now building a new international research infrastructure, EISCAT\_3D, which adopts the phased-array system capable of conducting volumetric measurements of the ion velocity vector with the separated three radar systems in Norway, Sweden and Finland. The EISCAT\_3D is the most powerful diagnostic to measure the ionosphere, but not suitable for measuring the Thermosphere or neutral particles. Then in 2018, a new scientific-oriented project of SDI-3D was established. SDI (Scanning Doppler Imager) is a passive optical instrument, which can measure 2D pattern of the thermospheric wind from the optical Doppler shift. The SDI- 3D project has aimed for deploying three SDIs in the common volume of the EISCAT\_3D in order to achieve spatiotemporally simultaneous observations of the Ionosphere and

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

Thermosphere. A proposal including three SDIs was awarded in 2020, and we are now working for starting observation in 2023. This presentation will introduce the SDI-3D project.

### **The ionosphere TEC response to the geomagnetic storm during the Saint Patrick's Day (March 17, 2015), obtained by the Madrigal data**

M.O. Plaksina

*Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences (IDG RAS), Moscow, Russia*

Geomagnetic storms are space weather events that result in a temporary disturbance of the earth's magnetosphere caused by a solar wind that interacts with the earth's magnetic field. In this paper we use total electron content (TEC) data from Madrigal for the Saint Patrick's Day storm (March 17, 2015), as well as magnetic coordinates - magnetic local time MLT and magnetic latitude MLAT. As a result, due to the 27 days TEC data array obtained to calculate the median TEC, it was possible to reliably identify the positive and negative phases zones of a magnetic storm.

### **Noctilucent clouds in Lovozero on 6 and 7 August 2020**

A.V. Roldugin, S.M. Cherniakov and V.C. Roldugin

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

In the last summer 2020 the observations of noctilucent clouds were carried out in Lovozero. To photograph them we used the narrow-angle camera directed to the point 80 km over the partial reflection radar in the observatory Tumanny (69.0N, 35.7E). The weather was cloudy in the main, only on 6 and 7 August it was acceptable for visual observations. At that time there were observed weak NLCs as glow near the north horizon. The appearance of the NLCs in the field of vision of the radar was accompanied by descent of electron concentration and by oscillations of reflected wave amplitude with the period of about 20 minutes.

### **Interplanetary magnetic field during the weak proton aurora on 6 March 2019**

V.C. Roldugin and A.V. Roldugin

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

Very weak aurora was observed in Lovozero on 6 March 2019 at 03 UT during 25 minutes, the magnetic field was quiet in Lovozero and globally. This aurora was accompanied by geomagnetic *Pc1* pulsations in Lovozero and also in Sodannkyla, Petrozavodsk and even in Barentsburg, so we may think that it was caused by a proton precipitation. The data of ACE satellite near Lagrange point *L1* at 257 RE show that the precipitation occurs just before the  $B_z$  - component of IMP changes from positive to negative, and after reduction of the solar wind velocity.

## **Altitude of pulsating arcs as inferred from tomographic measurements**

V. Safargaleev<sup>1</sup>, T. Sergienko<sup>2</sup>, Y. Ogawa<sup>3</sup>, K. Hosokawa<sup>4</sup>, Y. Miyoshi<sup>5</sup>, Sh.-I. Oyama<sup>5,6,3</sup>, S. Kurita<sup>7</sup>, R. Fujii<sup>8</sup>

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

<sup>2</sup>*Swedish Institute of Space Physics, Kiruna, Sweden*

<sup>3</sup>*National Institute of Polar Research, Japan*

<sup>4</sup>*University of Electro-Communications, Japan*

<sup>5</sup>*Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*

<sup>6</sup>*University of Oulu, Finland*

<sup>7</sup>*Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Japan*

<sup>8</sup>*Research Organization of Information and Systems, Toranomon, Minato-ku, Tokyo, Japan*

Data of three all-sky cameras in Kiruna and Tjautjas (Sweden) were used for estimation of altitude of pulsating arc-like forms by the method of optical tomography. The event under consideration was very typical for pulsating auroras. It occurred at substorm recovery phase and represented both periodic switch on/switch off luminosity of the arc with repetition period about 6 s (main pulsations) and faster scintillation (around 2 Hz) embedded in a single pulse of the main pulsations (internal modulation). It is found out that (1) of two closely spaced arcs, internal modulation takes place only in the one closer to ground and (2) during the “on” interval the height of the arc decreases. The findings may indicate the acceleration of precipitating particles in the course of arc evolution. This is inconsistent with the widely held view that optical pulsations are due to periodic scattering of particles into the loss cone. The possible explanation is suggested.

The work of Japanese co-authors has been supported by JSPS KAKENHI JP 15H05747 and 16H06286. The operation of the EMCCD camera at Tjautjas has been supported by Swedish Institute of Space Physics.

## **The effect of annular solar eclipse on June 21, 2020 in the total electron content**

I. Shagimuratov<sup>1</sup>, I. Zakharenkova<sup>1</sup>, G. Yakimova<sup>1</sup>, M. Filatov<sup>2</sup>, and N. Tepenitsyna<sup>1</sup>

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

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

In these report TEC effects of annular solar eclipse June 21, 2020 are presented. The eclipse started over Africa about 04:47 UT with a path of totality passing over China and ended in the Pacific Ocean at 08:32:17. The GPS observations from IGS permanent GPS network of the China were used to observe the response of TEC to the solar eclipse under quiet geomagnetic conditions. A maximal magnitude amount near  $M=0.98$ . The effects of the eclipse in diurnal variations and more distinctly in the variations of TEC along individual satellite passes were detected. The trough-like variations with a gradual decrease and followed by an increase of TEC at the time of the eclipse were observed over a large spatial area. The maximal depression of TEC amounted to 3-4 TECU. We brought out that the TEC depression amplitude depends linearly on the eclipse magnitude with a correlation coefficient of  $R \approx 0.73$ . The maximum depression over all stations located at the maximum path of the solar eclipse was observed. The delay of a minimum level of TEC with respect to the maximum phase of the eclipse was about 30-40 min. The delay, as well as amplitude, demonstrates linear dependence on magnitude of the eclipse with a correlation coefficient of  $R \approx 0.85$ . We found out features of annular eclipse against typical total solar eclipse which associated with occurrence of residual source of ionization. The two-dimensional TEC maps show that the eclipse produced remarkable changes in the structure of the ionosphere. The differential TEC maps demonstrate also that pass of maximal depression of TEC agree with passing eclipse shadow on earth. The complex pattern in the spatial-temporal TEC distribution presents the important role in the dynamic processes in the ionosphere during the eclipse.

The work is partly supported by RFBR, grant 19-05-00570.

## **Comparative analysis of CMEs and HSS influence on variations in ionospheric parameters during May 2017**

O.A. Sheiner<sup>1</sup>, F.I. Vybornov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Radiophysical Research Institute Nizhny Novgorod State University, Russia*

<sup>2</sup>*FSFEI HE «Volga State University of Water Transport», Nizhny Novgorod, Russia*

This report analyzes the observations of the maximum observed frequency (MOF) of ionospheric channels on three subauroral (Lovozero-Vasilsursk, Sodankyulya-Vasilsursk and Salekhard-Vasilsursk) and one mid-latitude (Gorkovskaya, Leningrad region-Vasilsursk) paths, as well as the critical frequency of the ionospheric layer F from the mid-latitude ionosphere station (Vasilsursk) during May 2017. The results of the experiment, obtained in calm and disturbed conditions, confirm and supplement the previously obtained results of studies of the propagation of HF signals on high-latitude paths during magnetic-ionospheric disturbances of varying intensity.

The work was carried out under the project No. 0729-2020-0057 within the framework of the basic part of the State assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

## **Polarization jet research based on NorSat-1 and Swarm satellites data**

A.A. Sinevich<sup>1,2</sup>, A.A. Chernyshov<sup>1</sup>, D.V. Chuginin<sup>1</sup>, W.J. Miloch<sup>3</sup>, M.M. Mogilevsky<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway*

The polarization jet is a narrow jet of fast ionic drifts to the west of the plasmopause projection at heights of the upper region of the F-layer ionosphere, which develops during increased geomagnetic activity. The mechanism of the formation of the polarization jet, as well as the structure of small-scale irregularities in the parameters of the ionosphere within it are open questions. In this work, a detailed study of the small-scale structure of the polarization jet in the subauroral region during a geomagnetic storm is carried out. The results of measurements of plasma parameters using Langmuir probes, tests on the NorSat-1 satellite are presented. The presence of plasma temperature and density inhomogeneities inside the polarization jet with spatial dimensions of tens to hundreds of meters is shown. The known features of the development of the polarization jet were confirmed, and it was also found that in the considered case of the development of geomagnetic activity, the temperature of electrons inside the jet is divided into two pronounced peaks. Also in the present study, data from the Swarm satellite signal during a geomagnetic disturbance were used for a more complete analysis of characteristics and dynamics.

## **Application of correlation analysis of Global Ionospheric Maps**

A.V. Timchenko<sup>1,2</sup>, F.S. Bessarab<sup>1</sup>, A.V. Radievsky<sup>1</sup>

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

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

The article presents the application of correlation analysis Global Ionospheric Maps (GIM). The main goal of this investigation is use statistical methods to identify patterns in the behavior of ionospheric parameters on a global scale. We used GIM of Total Electron Content (TEC) with scale: from  $-87.5^\circ$  to  $87.5^\circ$  on latitude with step  $2.5^\circ$  and from  $-180^\circ$  to  $180^\circ$  with step  $5^\circ$  (The maps were taken from: <https://izmiran.ru/ionosphere/weather/>). We investigated the behavior of the coefficient of correlation in magnetic conjugation points for quiet and disturbed conditions. In particular, we considered the behavior of the correlation coefficient before and during St. Patrick's geomagnetic storm in March 2015. During the storm, we saw that the correlation coefficient is well positive over most of the planet, which is especially noticeable in the American region. Whereas in quiet geomagnetic conditions, the distribution of the correlation coefficient has a different character. Most of the positive correlation coefficient is distributed around the magnetic (dipole) pole.

## **Влияние электронных высыпаний на состояние нижней ионосферы**

К.В. Бабайкина

*Институт динамики геосфер имени академика М.А.Садовского РАН*

Одним из актуальнейших вопросов современной геофизики является состояние и динамика нижней ионосферы в различных гелиогеофизических условиях. Важным фактором, влияющим на состояние нижней ионосферы, являются высыпания высокоэнергетических частиц, которые приводят к увеличению электронной концентрации в D - слое.

Один из методов изучения состояния нижней ионосферы - анализ амплитуды и фазы сигналов сверхдлинноволновых (СДВ) радиопередатчиков (10 - 30 кГц). Сигналы на этих частотах, распространяясь в волноводе Земля-ионосфера, несут информацию о верхней стенке волновода, а именно о D - слое ионосферы.

В настоящей работе представлены результаты совместного анализа данных по высыпаниям высокоэнергетических электронов с энергией до 30 кэВ, зарегистрированных спутником DMSP, и вариаций амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ передатчиков, принимаемых в ГФО «Михнево».

В результате обнаружено уменьшение амплитуды сигналов станций GBZ и GQD до 5 дБ в ночное время, связанное с электронным высыпанием 10 -11 сентября 2017 года.

## **Возмущения GPS сигналов в области каспа по данным наблюдений на архипелаге Шпицберген**

В.Б. Белаховский<sup>1</sup>, Я. Джин<sup>2</sup>, В. Милош<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Университет Осло, г. Осло, Норвегия

По данным сцинтилляционного GPS приемника на станции Нью-Алезунд (NYA) на архипелаг Шпицберген исследован отклик сигналов GPS спутников на прохождение области каспа. Касп – область открытых силовых линий в околополуденном секторе, занимающая около 3 часов по MLT и несколько градусов по широте. Для идентификации области каспа использованы данные радара SuperDARN в Hankasalmi по уширению спектра отраженного от ионосферы сигнала. Также для идентификации области каспа использованы оптические наблюдения полярных сияний в эмиссиях 630.0 нм, 557.7 нм Полярного геофизического института (обсерватория Баренцбург), университета Осло (станция NYA). По данным радара EISCAT 42m на архипелаге Шпицберген, луч которого направлен вдоль геомагнитного поля, в момент прохождения области каспа на высотах примерно 100-200 км не наблюдается заметного роста концентрации ионосферной плазмы, выше 200 км наблюдается рост концентрации Ne, что говорит о наличии более “мягких” высыпаний заряженных частиц.

При прохождении области каспа обнаружен рост полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы с 4 до 12 TECU, рост ROT (rate of TEC) достигает 6 TECU/мин в этот момент. Также при прохождении области каспа наблюдается рост фазового индекса сцинтилляций до 0.4 радиан. Однако рост фазового индекса сцинтилляций наблюдался и до прохождения каспа, что, по-видимому, связано с утренними высыпаниями заряженных частиц, как можно видеть из данных радара EISCAT 42m, оптических данных. Заметного роста амплитудного индекса сцинтилляций в момент прохождения станцией NYA каспа не обнаружено.

### **Анализ УФ пульсаций, зарегистрированных телескопом «ТУС» на борту спутника «Ломоносов»**

П.А. Климов<sup>1</sup>, К.Ф. Сигаева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобелевца Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*

<sup>2</sup>*Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*

Детектор «ТУС» запущен в апреле 2016 года на борту спутника «Ломоносов» (высота орбиты 500 км), который представляет собой высокочувствительный зеркальный телескоп с площадью апертуры 2 м<sup>2</sup> и высоким временным разрешением (0.8 мкс). Площадь обзора прибора составляет 6400 км<sup>2</sup> при угловом разрешении 10 мрад, соответствующем пространственному разрешению 5 км на поверхности Земли.

Измерения УФ пульсаций проводились с временным разрешением 6.6 мс и длительностью записи осциллограмм 1.7 с. Составлен каталог событий за все время работы прибора в данном режиме в которых наблюдается пространственно-временная структура, представляющая собой пульсирующее локализованное в части поля зрения излучение. Характерные частоты пульсаций 1–10 Гц, области свечения 10–20 км. Все события расположены в широтном диапазоне от 50° до 72° с. ш. и происходят в условиях повышенной геомагнитной активности. Максимальная доля событий зарегистрирована в области L-оболочек 4–6. Проведен предварительный анализ пространственно-временных структур свечения для событий зарегистрированных в поле зрения наземной сети камер всего неба All-Sky Imager THEMIS.

Работа произведена при поддержке ГК Роскосмос и Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фундаментальные и прикладные исследования космоса».

### **Высотное распределение аврорального свечения по данным триангуляционных измерений с малой базой в Апатитах и Баренцбурге**

Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин

*ФГБНУ Полярный геофизический институт, Апатиты-Мурманск, Россия*

Работающее в настоящее время авроральные камеры в Апатитах и на Шпицбергене позволяют получать высотное распределение аврорального свечения триангуляционными измерениями с малой базой. В Апатитах это две идентичные камеры с полем зрения 18 градусов, разнесенные на 4.15 км, которые регистрируют свечение вблизи магнитного зенита. На Шпицбергене в паре с камерой всего неба в обсерватории Баренцбург работает узкоугольная камера (45 градусов), установленная в п.Баренцбург на расстоянии 4 км. Примеры данные этих триангуляционных измерений анализируются для восстановления высотных распределений свечения в различных авроральных событиях.

### **Прототип доступной патрульной авроральной камеры для проекта, реализуемого в рамках программы КОЛАРКТИК**

Б.В. Козелов, М.В. Филатов, Е.И. Скиотис

*ФГБНУ Полярный геофизический институт, Апатиты-Мурманск, Россия*

В докладе рассмотрена схема патрульной авроральной камеры, которую возможно эксплуатировать в неспециализированных организациях. Рассмотрены необходимые характеристики камеры и варианты комплектации. Представлены примеры регистрации полярных сияний прототипом такой камеры в 2020 г. в г.Апатиты. Один из вариантов будет предложен к реализации в проекте КО5029 «Aurora Borealis» («Полярное сияние») в рамках программы «ИЕСП-ПС Коларктик 2014-2020».



## **Проект экспериментальной односторонней радиотрассы КВ-диапазона между районами на высоких и средних широтах**

А.М. Мёрзлый<sup>2,3</sup>, А.С. Калишин<sup>7</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, И.В. Крашенинников<sup>6</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Я.А. Сахаров<sup>1</sup>, А.Б. Талалаев<sup>4</sup>, В.В. Тихонов<sup>5</sup>, М.В. Тихонов<sup>5</sup>, В.Н. Шубин<sup>6</sup>, А.Т. Янаков<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup>Совет по космосу РАН, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>АО «РТИ», г. Москва, Россия

<sup>5</sup>АО «РТИС ВКО», г. Тверь, Россия

<sup>6</sup>ФГБНУ ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

<sup>7</sup>ФГБУ ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

В докладе представлено обоснование научных и прикладных задач, решаемых на основе данных, которые будут получены на радиотрассе.

Представлены предложения по составу и размещению приборного оборудования, определены перечень, объем, периодичность информации измеряемых параметров ионосферы, разработан проект программы проведения экспериментальных работ с участием организаций Минобрнауки России, РАН, Минобороны России, Росгидромета, предприятий промышленности.

## **«Три источника – три составные части» генерации термосферно-ионосферных возмущений**

Э.Г. Мирмович

*ГБПОУ МО «Химкинский техникум», Москва, Россия*

*К.ф.-м.н., доцент, e-mail: mirmovich1940@mail.ru*

«Термосферно-ионосферное возмущение» (ТИВ), которое представляет собой результат превращения солнечным УФ-излучением или другим источником ионизации, не исключая нейтроны в СКЛ с  $E > 20$  МэВ (эксперименты на ИСЗ "SMM", ИСЗ "КОРОНАС-Ф" – «НАТАЛЬЯ-2М», «БТН-Нейтрон», на аэростатах и в более ранних экспериментах), первичных возмущений нейтрального состава верхней атмосферы в ионизационно-рекомбинационном цикле в  $|\Delta N_e| > 0$  (или  $\partial N/\partial t \neq 0$  в уравнении баланса электронов), был введен автором в конце 70-х годов, например, «О возможности прогноза параметров ионосферной возмущенности на основе характеристик нейтральной атмосферы» (1979), и защищён диссертацией «Исследование и прогноз термосферно-ионосферных возмущений» (1981) как отдельный термин, альтернативный ионосферно-магнитным возмущениям (IMD). Основным генератором ТИВ является зарождение и развитие возмущённой термосферной циркуляции, принципиально отличной от регулярной циркуляции верхней атмосферы в спокойное полярно-авроральное время. Тремя источниками автор считает вечерний и утренний электроджеты в авроральной зоне как диссипативный результат вторжения потоков заряженных частиц возмущённого солнечного ветра и резкого повышения интегральных частот столкновений на высотах  $\sim 10^5$  м (которое автору не очень хочется именовать «разогревом») и дневной *cusps* – вихревая воронка на геомагнитных полюсах для СКЛ, ответственных за РСА и последующие за ним эффекты. При этом, скорость солнечного ветра  $V_{sw} \sim 10^6$  м/с, в то время как частицы всплеска СКЛ перемещаются на два порядка быстрее:  $V_{scr} \geq 10^8$  м/с. Именно поэтому работа дневного каспа опережает начало активности аврорального овала. Но ионное увлечение, ионно-нейтральная вязкость не единственный механизм возмущений термосферы и даже экзосферы. При ТИВ как раз наоборот. Принципиальное отличие ТИВ от IMD и заключается в том, что «термосферное цунами», направленное, как правило, навстречу вектору спокойной циркуляции, может иметь локальный характер, другой генезис не электромагнитного характера. При ТИВ, как правило, ничего не происходит с ТЕС. Автор считает, что чёткое применение ТИВ как термина будет способствовать развитию (нет, не численной калькуляции системы нарастающего числа уравнений с подгонкой коэффициентами к эмпирическим моделям) понимания динамики и физики возмущений в верхней атмосфере, а, значит, к их детерминированному моделированию и прогнозу. На основе полуэмпирических моделей нейтральной атмосферы типа J77(79) автору из этого кое-что удалось сделать ещё в 80-х годах. Основа в модели автора – ввод запаздывания между «включениями» ночного и

## *Ionosphere and upper atmosphere*

дневного источников (электроджетов) в виде входного параметра  $Kp$ , выраженного заданием  $Kp' = Kp(t - \tau)$ , где  $\tau = 0.1 + 0.2 \cos \Phi'$ , и угла между векторами скоростей спокойной и возмущенной циркуляции по модели. Это позволило понять и интерпретировать известное выражение для времени запаздывания возмущений термосферы из модели CIRA-1972:  $\tau = 7.5 - 0.11/\Phi'$ , в которое превращается формула для  $\tau$  в настоящей модели, если положить скорость перемещения возмущения  $V = 300$  м/с и экваториальную границу его затухания  $\Phi = 68^\circ$  на ночной стороне аврорального овала. При таком подходе автором объяснены положительные возмущения ионосферной плазмы, зависимость начала ТИВ от местного времени, т.н. «запрещённое время» начала отрицательной фазы ИМВ в местное дневное время; было показано, что через параметры возмущенности нейтрального состава и температуры можно выразить не только  $\delta f_oF_2$ , но и  $\delta N_m F_2$  и целый ряд других параметров возмущений ионосферы.

### **О возможности исследования связи полярных сияний и индексов сцинтилляций по оптическим и GNSS данным**

С.В. Пильгаев, Б.В. Козелов, М.В. Филатов, Ю.В. Федоренко, А.В. Ларченко, А.В. Ролдугин, П.А. Будников

В декабре 2020 года сотрудники Института прикладной геофизики имени Е.К. Фёдорова в здании Полярного геофизического института г. Апатиты ввели в эксплуатацию новый GNSS приемник Septentrio PolaRx5S. Среди возможностей данного приемника можно выделить автоматический расчет ПЭС, фазовых и амплитудных индексов сцинтилляций. В месте установки приемника работает камера всего неба Полярного геофизического института.

Для облегчения целей исследования связи полярных сияний и индексов сцинтилляций реализован интерактивный WEB-интерфейс, позволяющий просматривать в каждый момент времени кадры оптической камеры с нанесенными на них положениями GNSS спутников и соответствующие индексы сцинтилляций.

### **Исследование ионосферы над Баренцевым морем**

Д.Д. Рогов, П.Е. Барышев, А.С. Калишин, А.В. Николаев, С.В. Новиков, Ю.В. Угрюмов

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ), г. Санкт-Петербург, Россия*

В декабре 2019 года в п. Баренцбург (арх. Шпицберген) в тестовом режиме был установлен приемный комплекс наклонного зондирования ионосферы. Данный пункт был включен в общую систему мониторинга условий распространения радиоволн в Российской Арктической зоне, поддерживаемую специалистами отдела геофизики ФГБУ «АНИИ». Представлены результаты исследования параметров ионосферы и распространения радиоволн над акваторией Баренцева моря в различных геофизических условиях.

### **Оценка влияния геомагнитного возмущения на зоны доступности односкачковой связи КВ диапазона**

Я.А. Сахаров<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, А.М. Мёрзлый<sup>2,3</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, З.В. Суворова<sup>1</sup>, С.М. Черняков<sup>1</sup>, В.Н. Шубин<sup>6</sup>, А.Б. Талалаев<sup>4</sup>, В.В. Тихонов<sup>5</sup>, М.В. Тихонов<sup>5</sup>, А.Т. Янаков<sup>2</sup>, А.С. Калишин<sup>7</sup>, М.О. Петров<sup>8</sup>, И.В. Крашенинников<sup>6</sup>

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

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

<sup>3</sup>Совет по космосу РАН, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>АО «РТИ», г. Москва, Россия

<sup>5</sup>АО «РТИС ВКО», г. Тверь, Россия

<sup>6</sup>ФГБУН ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

<sup>7</sup>ФГБУ АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>8</sup>ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва, Россия

В докладе представлены результаты численного моделирования областей на поверхности Земли в районе Баренцева моря, в которые попадают односкачковые лучевые траектории радиоволн КВ-диапазона, выходящие из расположенного на средних широтах передатчика. Моделирование проведено для условий суббури 24.12.2014 г. Параметры ионосферы задаются по эмпирическим моделям с поправкой, построенной по данным о полярных сияниях и полному электронному содержанию, определенному по данным спутников, пролетевших над областью наблюдения этих сияний. 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.

### **Оценка границ локализации возмущений высокоширотной ионосферы по данным GPS/ГЛОНАСС**

С.А. Серебренникова, Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин, А.В. Киселев

*Институт Солнечно - Земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

Оценка положения границы аврорального овала является актуальной и при этом достаточно сложной задачей.

В последние годы Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) предоставляют обширный материал для изучения ионосферы Земли, а именно для наблюдения ионосферы и ионосферных неоднородностей в глобальном и региональном масштабе. Следовательно, карты вариации ПЭС указывают на постоянное присутствие ионосферных неоднородностей в области аврорального овала, а динамика области ионосферных неоднородностей соответствует динамике аврорального овала.

Таким образом, в работе был предложен новый подход для решения задачи прогноза положения аврорального овала, основанный на модели машинного обучения, использующие данные GPS/ГЛОНАСС. В качестве опорных данных для машинного обучения использовалась модель Ovation Prime.

Оценка границ возмущений в авроральной зоне, в высокоширотной области была получена с помощью алгоритмов машинного зрения.

## **Проявление F-рассеяния во время больших изолированных магнитных бурь в 24-ом цикле солнечной активности**

В.А. Телегин<sup>1</sup>, В.А. Панченко<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>2</sup>, О.И. Ягодкина<sup>2</sup>, Г.А. Жбанков<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Мурманск*

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

Явление F-рассеяния изучается уже более 50 лет по ионограммам вертикального зондирования, однако однозначного ответа на его природу до сих пор нет. По всей видимости, это связано с многообразием процессов, протекающих в F2 области ионосферы, приводящих к уширению сигналов, отраженных от ионосферы. С 2008 года в ИЗМИРАН (г. Москва) работает ионозонд DPS-4. Фактически время его работы совпало с 24-м циклом солнечной активности (2009-2019 гг.), который является наименьшим по регистрации чисел Вольфа за весь период наблюдения.

В ПГИ разработан программно-алгоритмический комплекс, позволяющий исследовать возмущения, достигающих широт Москвы ( $Dst$  менее  $-150$  нТл). За этот период времени наблюдались две большие магнитные бури в 2015 году, влияние которых на явление F-рассеяния и исследовалось в данной работе.

## **Результат сопоставления ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей и направления дрейфа в F-области среднеширотной ионосферы в период "зима-весна 2012 г."**

В.А. Телегин<sup>1</sup>, В.А. Панченко<sup>1</sup>, Н.Ю. Романова<sup>2</sup>, Г.А. Жбанков<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Мурманск*

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

Анализируется результат численного сопоставления экспериментальных данных, полученных на высотах F-области среднеширотной ионосферы в январе-марте 2012 г. двумя независимыми методами: радиопросвечивания и радиолокации. Методом радиопросвечивания ионосферы сигналами ИСЗ с последующим математическим анализом амплитуды радиосигнала, принятого наземным приёмником в МГУ им. М.В. Ломоносова, определена ориентация поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности в различные дни и часы над московским регионом. Методом радиолокации ионосферы ионозондом DPS-4, расположенном в ИЗМИРАН (г. Москва), над этим же регионом определены скорость и направление дрейфа среднемасштабных неоднородностей электронной плотности. Для численного сопоставления было отобрано 26 независимых случаев, когда экспериментальные данные были получены одновременно. С целью рассчитать направление и скорость дрейфа максимально близко к местоположению мелкомасштабных неоднородностей, была разработана новая программа расчета дрейфа, где к расчету принимались ионосферные отражатели не всей карты неба, а только в интересующей области. Новая методика расчета выявила, что в ряде случаев наблюдалось большое различие между направлениями дрейфа, рассчитанного по всей карте неба и в локальной области. Численное сопоставление между ориентацией поперечной анизотропии и направлением дрейфа, рассчитанного по новой методике, показало, что мелкомасштабные неоднородности вытянуты вдоль направления дрейфа в большинстве случаев.

### **Связь появления эффекта утреннего понижения поглощения в явлениях ПППШ с асимметричным заполнением полярной шапки и хвоста магнитосферы потоками солнечных протонов**

В.А. Ульев<sup>1</sup>, Д.Д. Рогов<sup>1,2</sup>, А.А. Абуни<sup>2</sup>, М.А. Абунина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Арктический и Антарктический Научно-исследовательский институт (АНИИ), Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Россия*

По риометрическим наблюдениям на антарктических станциях Восток и Прогресс, расположенных на высоких геомагнитных широтах в центральной части полярной шапки (ПШц), при анализе явления ПППШ 11 – 15 сентября 2017 г. был обнаружен новый эффект аномального понижения поглощения ПППШ в утренние часы (эффект УП – утреннее понижение) 13 сентября. [“Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XLII Annual Seminar, Aratity, pp. 194-197, 2019].

В данной работе рассмотрено несколько явлений ПППШ с эффектом УП. Для каждого дня проявления УП определены значения интенсивности потоков протонов в тот период, когда спутники POES находились над центральной частью северной и южной полярных шапок. Показана асимметрия заполнения полярных шапок потоками протонов, обусловленная особенностями распространения потоков протонов в межпланетном магнитном поле после интенсивной солнечной вспышки с выбросом корональной массы и особенностью проникновения этих потоков в хвост магнитосферы и в полярные шапки Земли.

### **Прогностическая оценка критической частоты слоя F2 ионосферы по наблюдениям радиоизлучения в периоды регистрации корональных выбросов массы на коронографах**

О.А. Шейнер

*Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И.Лобачевского*

Ранее при анализе поведения во времени величин отклонения измеренного значения критической частоты слоя F2 ионосферы ( $f_0F2$ ) от ее среднего значения ( $\Delta f_0F2$ ) и параметров корональных выбросов массы (КВМ) была обнаружена корреляция между поведением девиации критической частоты  $\Delta f_0F2$  и регистрацией КВМ [1]. Детальный анализ показал, что за проявление геоэффективности КВМ можно принять длительное снижение значений девиации  $\Delta f_0F2$  после регистрации КВМ типа Loop/Cavity. В то же время разработан алгоритм прогноза времени регистрации КВМ на основе мониторингового проведения наблюдений и использования данных во многих точках, охватывающих практически всю международную сеть радиоастрономических и радиоспектрографических станций в широком спектре радиочастот [2]. В данном докладе приводятся прогностические оценки  $f_0F2$  на основе данных наблюдений солнечного радиоизлучения в широком диапазоне частот.

Работа выполнена по проекту № 0729-2020-0057 в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

1. Sheiner O.A., Fridman V.M., Krupenya N.D., Mityakova E.E., Rakhlin A.V. Effect of solar activity on the Earth's environment // Proc. Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference, 24-29 September 2001, Vico Equense, Italy. Editor: Huguette SawayaLacoste. ESA SP-477, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-749-6, 2002. P. 479.
2. Фридман В.М., Шейнер О.А. Способ краткосрочного прогноза времени регистрации явления коронального выброса массы (КВМ). Патент RU 2 630 535. 12.01.2016. Опубликовано: 11.09.2017, Бюл. № 26.

### **The microwave monitoring of the middle atmosphere ozone on Kola Peninsula during last three winters**

Y.Y. Kulikov<sup>1</sup>, A.F. Andriyanov<sup>1</sup>, V.I. Demin<sup>2</sup>, V.M. Demkin<sup>3</sup>, A.S. Kirillov<sup>2</sup>, V.G. Ryskin<sup>1</sup>, V.A. Shishaev<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup>*High School of Economy, Nizhny Novgorod, Russia*

This work presents long-term investigation of a nature of the middle atmosphere ozone variability using a method ground-based microwave radiometry. Measurements were carried out with the help of mobile ozonemeter (observation frequency 110836.04 MHz) which was established in Polar Geophysical Institute at Apatity (67N, 33E). The parameters of the device allow to measure a spectrum of the emission ozone line for time about 15 min with a precision of ~ 2%. The error of estimating the vertical distribution of ozone on the measured spectra by above described device does not exceed 10-15%. 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 and with the data of ozonesonde at station Sodankyla (67N, 27E).

The analysis of the microwave data on behavior of polar mesospheric ozone in past winters shows, that sudden stratospheric warmings can cause significant and long influence on its diurnal variation which should be determined by photochemical processes.

The work was supported by the RFBR grant 18-45-520009.

### **Наблюдение эффекта возрастания фонового гамма-излучения при осадках во время научной экспедиции в Ледовитом океане**

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

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

Испытывавшийся в ходе морской научной экспедиции прототип многоканального комплекса для мониторинга космических лучей включал в себя детектор гамма-излучения (диапазон энергий 20-600 кэВ). Во время плавания в акватории Баренцева и Гренландского морей были зарегистрированы типичные возрастания гамма-фона во время осадков. Такие возрастания много лет отмечаются на станциях в Апатитах, Баренцбурге, Нейтрино (Северный Кавказ). Амплитуда возрастных составила ~20 %, длительность – несколько часов. Важность этих наблюдений состоит в том, что окончательно исключается гипотеза выделения радионуклидов. Наблюдение возрастных гамма-фона в десятках и сотнях километров от береговой линии однозначно указывает, что причиной возрастания не могут быть выделения радионуклидов из почвы, равно как и перенос промышленных выбросов воздушными массами.

### **О пространственных вариациях изменений температуры воздуха на территории Мурманской области**

В.И. Демин

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

Рассмотрены пространственные особенности потепления климата на территории Мурманской области. Статистически значимых различий в углах наклона линейных трендов температуры не обнаружено ни в одном из сезонов, что позволяет говорить об одинаковых скоростях потепления на всей территории области. В период с 1976 г., который условно принимают за начало современного потепления, потепление зимой, весной, летом и осенью идет со скоростями соответственно 0.080, 0.055, 0.041 и 0.053°C/год. Повышение среднегодовой температуры происходит со скоростью 0.061°C/год.

## Связь вертикального распределения температуры воздуха в Хибинах с температурой воздуха над предгорной равниной

В.И. Демин<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, Т.А. Муравьева<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Отдел лавинной безопасности УГИ КФ АО «Апатит», г. Кировск

Проведено сравнение температуры воздуха в Хибинском горном массиве с температурой воздуха над предгорной равниной (по измерениям микроволнового температурного профилера в г. Апатиты). В зимний период изменения температуры происходят практически синхронно: коэффициенты корреляции 0.92-0.94. Температура воздуха в нижнем ярусе гор (~400 м) близка к температуре на аналогичных уровнях над равниной. С высотой появляется различие и на плато в Хибинах (~1000-1200 м н.у.м.) воздух холоднее на 1.5°C. Эффект создается охлаждением воздуха при его динамически вынужденном подъеме вдоль склонов, а также усилением длинноволнового излучения. Летом картина более сложная: из-за поглощения склонами в дневное время солнечной радиации и нагрева прилегающего слоя воздуха в разностях температуры в горах и над равниной появляется суточный ход.

## Мониторинг приземного озона на территории Мурманской области в 1999-2021 гг.

В.И. Демин, В.А. Шишаев

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

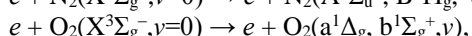
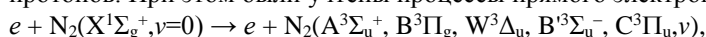
Исследованы пространственные и временные вариации приземной концентрации озона (ПКО) на территории Мурманской области в период 1999-2021 гг. В фоновых районах наблюдается весенний максимум ПКО и отсутствует характерный для условий активной фотохимической генерации озона летний. Максимальные ПКО в периоды полярного дня и полярной ночи близки. Весенний максимум ПКО наблюдается и на урбанизированных территориях. Максимальные ПКО в городе не превышают ПКО в фоновых районах. Присутствие атмосферных загрязнений проявляется в увеличении частоты эпизодов с низкими ПКО при погодных условиях, благоприятных для накопления озоноразрушающих соединений в приземном слое. Показано, что полученные в Ловозеро характеристики ПКО могут быть использованы для оценок возможного содержания озона в других фоновых районах области.

## Исследование кинетики основных атмосферных составляющих во время высыпания высокоэнергичных протонов в среднюю атмосферу Земли

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

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

При высыпании в среднюю атмосферу Земли высокоэнергичных частиц неупругие столкновения с молекулами  $N_2$  и  $O_2$  приводят к процессам ионизации, диссоциации, возбуждению различных электронно-возбужденных состояний данных молекулярных составляющих. В настоящей работе рассмотрена кинетика триплетных ( $A^3\Sigma_u^+$ ,  $V^3\Pi_g$ ,  $W^3\Delta_u$ ,  $V^3\Sigma_u^-$ ,  $C^3\Pi_u$ ) состояний молекулярного азота и синглетных ( $a^1\Delta_g$ ,  $b^1\Sigma_g^+$ ) состояний молекулярного кислорода на высотах средней атмосферы во время вторжения высокоэнергичных протонов. При этом были учтены процессы прямого электронного возбуждения



вторгающимися в атмосферу высокоэнергичными протонами и вторичными электронами, процессы спонтанного излучения, а также перенос энергии возбуждения молекул между электронно-возбужденными состояниями  $N_2$  и  $O_2$  при молекулярных столкновениях. Константы скоростей переноса энергии возбуждения между электронно-возбужденными состояниями молекулярного азота и кислорода при

столкновениях с молекулами  $N_2$  и  $O_2$  были теоретически рассчитаны согласно квантово-химическим приближениям. Впервые рассмотрена кинетика синглетных состояний  $O_2$  на высотах средней атмосферы 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 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».

### **Особенности вертикального распределения температуры воздуха в пограничном слое атмосферы в прибрежных и центральных районах Кольского п-ова**

Б.В. Козелов, В.И. Демин, А.В. Лосев

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

Проведено сравнение вертикальных распределений температуры воздуха в холодное время года в слое от поверхности земли до 1 км, полученных по измерениям микроволнового температурного профилимера МТП-5РЕ в г. Апатиты и данным ближайших станций аэрологического зондирования в Кандалакше и Мурманске. Несмотря на положение аэрологических станций вблизи экваторий Белого и Баренцева морей, температура воздуха на высотах в центральных и прибрежных районах Кольского п-ова примерно одинаковая. Температура на изолированных холмах близка к температуре воздуха на той же высоте в атмосфере над равниной (по крайней мере, с высот примерно 200 м н.у.м.).

### **Результаты численного моделирования зарождения полярных циклонов в высокоширотной атмосфере**

И.В. Мингалёв<sup>1,2</sup>, К.Г. Орлов<sup>1</sup>, В.С. Мингалёв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты*

<sup>2</sup>*Филиал Мурманского арктического государственного университета в г. Апатиты*

В высокоширотной атмосфере регулярно наблюдаются так называемые полярные циклоны, которые являются крупномасштабными атмосферными вихрями, внутри которых атмосферное давление существенно понижено, а скорость ветра значительно повышена. За время своего существования полярные циклоны могут смещаться на значительные расстояния. А поскольку они могут обладать большой разрушительной силой, то они способны наносить вдоль своего пути следования ущерб промышленным, транспортным и иным находящимся на суше и на море системам. Своевременное предсказание зарождения полярных циклонов является важной не только научной, но и практической задачей. Для решения этой задачи наряду с теоретическими и экспериментальными методами может быть применен метод математического моделирования.

Не так давно в Полярном геофизическом институте (ПГИ) была разработана региональная трехмерная нестационарная математическая модель горизонтального и вертикального ветра в нижней атмосфере Земли. Эта модель основана на численном решении методом конечных разностей системы уравнений переноса, которая включает в себя уравнения неразрывности и движения для горизонтальных и вертикальной компонент скорости воздуха, а также уравнение теплового баланса. Эта математическая модель позволяет рассчитывать зависящие от времени пространственно трехмерные распределения газодинамических параметров атмосферного газа в пространственно ограниченной трехмерной области моделирования, которая представляет собой часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности и которая по высоте простирается от 0 до 15 км.



Ранее кратко описанная выше математическая модель ветровой системы земной атмосферы применялась для численного исследования процессов зарождения как тропических, так и полярных циклонов. Результаты численного моделирования зарождения полярных циклонов были изложены в серии работ, которые были опубликованы в разрозненных научных изданиях. Целью настоящей работы является обзор и обобщение всех ранее опубликованных результатов, полученных при помощи разработанной в ПГИ математической модели и касающихся численного моделирования зарождения полярных циклонов, а также их интерпретация при помощи единого физического механизма. В этом механизме первопричиной возникновения полярного циклона является развитие неустойчивости течения атмосферного газа в области арктического фронта, инициированной появлением выпуклых участков в очертаниях арктического фронта.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-29-03022.

### **Исследование особенностей возрастных фоновых гамма-излучения при осадках за 24-й солнечный цикл**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты, Россия; e-mail: mikhalko@pgia.ru*

В лаборатории космических лучей ПГИ (Апатиты) непрерывно ведется мониторинг электромагнитной компоненты вторичного космического излучения. Был обнаружен эффект возрастания гамма-излучения при осадках. В качестве измерителя фонового гамма-излучения используется спектрометр, созданный на основе кристалла NaI(Tl), с энергетическим диапазоном от 20 до 600 кэВ. Многолетний мониторинг показал, что возрастания гамма-излучения при осадках наблюдаются круглый год на всех станциях, где проводятся наблюдения и они не связаны с радиоактивным загрязнением осадков. Были рассмотрены события возрастания гамма-излучения при осадках за 24-й солнечный цикл. Проведен сравнительный анализ для выявления особенностей возрастных фаз различных фаз солнечной активности.

### **Численное моделирование общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли с учетом переноса теплового и солнечного излучения**

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-mail: [mingalev\\_i@pgia.ru](mailto:mingalev_i@pgia.ru); [orlov@pgia.ru](mailto:orlov@pgia.ru); [godograf87@mail.ru](mailto:godograf87@mail.ru); [mingalev@pgia.ru](mailto:mingalev@pgia.ru)*

В докладе обсуждаются результаты численного моделирования общей циркуляции атмосферы Земли для условий июля, полученные с помощью газодинамической модели с полноценным учетом радиационного нагрева-выхолаживания воздуха. В блоках расчета поля собственного излучения атмосферы Земли в ИК-диапазоне и поля солнечного излучения используются новые параметризации молекулярного поглощения в интервале высот от поверхности Земли до 90 км, а также учитывается нарушение локального термодинамического равновесия в колебательных полосах углекислого газа с длинами волн около 15, 4,3 и 2,7 мкм и озона с длиной волны около 9,6 мкм на высотах выше 70 км. Алгоритм построения этих параметризаций учитывает изменение газового состава атмосферы с высотой и имеет ряд других достоинств. Кроме того, для численного решения уравнения переноса излучения используется метод дискретных ординат и расчетная сетка по зенитным углам с шагом около 9 градусов. Анализируются особенности циркуляции в стратосфере и нижней мезосфере, в частности границы циркумполярных вихрей и стратосферные циклоны.

Работа И.В. Мингалев, К.Г. Орлова и В.С. Мингалев выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-03022 мк.

**Анализ молниевой активности на Кольском полуострове по результатам инструментальных измерений в 2016-2020 гг.**

В.Н. Селиванов<sup>1</sup>, А.В. Бурцев<sup>1</sup>, Я.А. Сахаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия; e-mail: v.selivanov@ksc.ru*

<sup>2</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Мурманск, Россия*

В работе представлены результаты анализа данных о молниевых разрядах на территории Кольского полуострова, зарегистрированных в 2016 -2020 гг. некоммерческой малобюджетной сетью грозопеленгации Blitzortung. Несмотря на относительно низкий процент регистрируемых молниевых разрядов, сеть Blitzortung является единственным доступным источником информации о молниевой активности на территории Мурманской области. В начале 2019 г. на Кольском полуострове нами были установлены шесть детекторов этой сети, которые бесперебойно проработали в течение двух грозовых сезонов 2019-2020 г. и позволили увеличить точность локации и процент зарегистрированных разрядов.

До настоящего времени в России интенсивность грозовой деятельности определяется по картам среднегодовой продолжительности гроз, которые составляются по данным аудиовизуальных наблюдений на гидрометеорологических станциях. Использование глобальных и региональных сетей инструментальной грозопеленгации позволяет перейти к использованию фактической плотности разрядов, а также с высокой степенью точности определять место удара молний в землю. Так, за грозовые сезоны 2019 и 2020 гг. с помощью данных сети Blitzortung нами были обнаружены десятки мест повреждений на линиях электропередачи Кольской энергосистемы.

В настоящее время намечены направления расширения сети грозопеленгации для увеличения точности и эффективности обнаружения ударов молний в наземные проводные коммуникации Северо-Западного региона России. К грозовому сезону 2021 г. ещё пять грозопеленгаторов предполагается установить на территории Архангельской и Мурманской областей и Республики Карелия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы приграничного сотрудничества Коларктик 2014-2020 (проект KO2011 ARINKA - Инфраструктура арктических железных дорог в регионе Коларктик).

## Co-variations of geophysical agents and physic-chemical properties of the skin in examinees on arch. Spitsbergen

N.K. Belisheva, N.L. Solovievskaya

*Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

**Background:** The geophysical feature of arch. Svalbard is its location in the polar cusp region (Tsyganenko, Russell, 1999), where open lines of the Earth's magnetic field are associated with lines of the interplanetary magnetic field (IMF), which allows the accelerated plasma of the solar wind (SW) to burst into the magnetosphere and penetrate into the ionosphere (Chen, Fritz, 2005). The entry of solar particles in the cusp region generates to multiple geophysical phenomena manifested in the wave characteristics of variations in the geomagnetic field (GMF) (Kozyreva., 2013), as well as in the behavior of the atmospheric electric field (AEF) (Kleimenova et al. 2012; Frank-Kamenetsky et al., 2012). At high latitudes, during magnetically disturbed and quiet times, regardless of the time of day, the pulsations of the AEF and GMF have the same spectrum (Kozyreva, 2013). Despite the fact that the frequency of fluctuations of geomagnetic pulsations coincides with the range of low-frequency biological rhythms, and variations in the gradient of the potential of the vertical electric field ( $E_z$ ) should be highly bioeffective, the mechanisms of influence of geophysical agents (GA) on biological systems remain unclear.

**Objective:** The purpose of the study is to assess the degree of coincides between variations in GA and fluctuations in the physic-chemical properties of the skin, detected by bioelectrography and by measurements of electrical activity of the skin (EAC) in examinees during experiments on the arch. Spitsbergen.

**Methods:** The study was conducted from July 30 to August 18, 2018 with the involvement of 43 volunteers. The physic-chemical properties of the skin were assessed on a daily on the basis of measurements of electrical activity skin (EAC) by using the REACOR complex (Belisheva et al., 2018), and by the bioelectrography indicators (gas-discharge visualization - GDV) (Korotkov, 2001; Solovievskaya et al, 2019), using the "GDV-compact" pulse analyzer. These methods of detection indirectly characterize the physic-chemical properties of the skin, which are supposed to play an important role in the reactions of the skin to exposure to physical agents (Ulashchik, 2018). "GDV-compact" registers on the photographic material the glow of a gas discharge arising near the surface of the object (fingers) under the pulsed action of a high-intensity electric field. The main role in the formation of GDV-grams belong to physic-chemical and emission processes, which depend on changes in the total impedance, structural and emission properties of the skin, etc. (Korotkov, 2001). Glow images were processed using the "GDV Energy Field" program, which converts GDV-grams into indicators of area (S), shape factor (Kf), entropy (E) of glow. The characteristics of geophysical agents for the studied period of time were selected on the site <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>. The data on the neutron monitor station in Barentsburg were obtained at the cosmic ray laboratory at the Polar Geophysical Institute of the Russian Academy of Sciences (Apatity, Murmansk region). All data were statistically processed using the STATISTICA 10 software package. Correlation coefficients were considered significant at  $p < 0.05$ .

**Results:** The assessment of the degree of coincides between the variations of daily values of the averaged indicators of EAC, GDV grams and the daily average indices of GA revealed significant ( $p < 0.05$ ) correlation coefficients between them. EAC indices correlate with GDV gram indices: S and Kf (correlation coefficients  $r = -0.64$ ,  $r = 0.58$ , respectively). Significant correlations were revealed between EAC and GA: the tension of the interplanetary magnetic field (IMF) and IMF vectors (Field Magnitude Avg,  $r = 0.75$ ; Magnitude of Average, nT, Field vector,  $|<B>|$ ,  $r = 0.57$ ;  $\sigma-B$   $r = 0.53$ ;  $\sigma-B_z$   $r = 0.61$ ); the temperature of protons in SW (Proton temperature,  $r = 0.53$ ), variability of SW ( $\sigma-V$   $r = 0.49$ ;  $\sigma-\phi-V$ ,  $r = 0.49$ ); properties of CB plasma (Plasma beta  $r = -0.66$ ; Alfvén mach number  $r = -0.71$ ); Wolf numbers (R  $r = 0.73$ ); index of geomagnetic activity (ap-index, nT,  $r = 0.53$ ). The significant ( $p < 0.05$ ) correlations were revealed between GDV-grams parameters and the same indices GA as in the cases with EAC. In addition, significant correlations were revealed between S, Kf and protons in SW: PROT Flux > 10 MeV,  $r = -0.53$ ,  $r = 0.59$ ; between E, S and the count rate of the ground neutron monitor in Barentsburg,  $r = 0.47$ ,  $r = 0.62$ .

**Conclusion:** The correlations between of EAC and GDV indices and the same GA indicators manifest co-variations of the GA and the physic-chemical properties of the skin, possibly due to changes of skin electrical properties under the influence of fluctuations in the potential gradient  $E_z$ . It can be assumed that physical phenomena in the region of the polar cusp generate fluctuations of the AEF, which is a link between the effects of IMF, SW and changes in the properties of the skin in examinees on arch. Spitsbergen.

## **Features of manifestations of millennial-scale solar variability in tree rings from northern Fennoscandia: The end of the Holocene?**

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

<sup>1</sup>*Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science RAS, Apatity, Russia*

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

There is growing evidence that the Sun is one of the main drivers of the Earth's climate in the past. Therefore, question about the Sun's role in modern and even in future climate variability is now a hot subject of discussion, especially in the context of the problem of modern global warming and the possible approaching new Grand Solar Minimum with Little Ice Age climate conditions. To investigate the possible Sun-climate connection during the Holocene the super-long tree-ring chronology covering the period from 5634 BC and 2007 AD was analyzed. The chronology consists of more than 1200 series including ones from sedimentary archives of small lakes in the region of northern Fennoscandia (68°- 70°N, 20° - 30°E). All series were dendrochronologically dated to calendar years. As indicator of solar activity we've used a reconstruction of total solar irradiance (TSI) covering 9300 years which is based on the cosmogenic radionuclide Be<sup>10</sup> measured in ice cores. The application of MTM-spectrum and wavelet decomposition analysis showed significant ( $p > 0.01$ ) solar periodicities in tree-ring width variability such as the Gleissberg cycle (~ 50-140 yr), the Suess/de Vries cycle (~200 yr), the Eddy cycle (~ 1000 yr) and as well as the Hallstatt cycle (~ 2300 yr). To examine the relationship between tree's growth and solar activity, the cross-wavelet transform and wavelet coherence analysis were applied to the time series. The strongest cross-wavelet correlation was discovered between the millennium-cycle components of TSI and tree-ring width variations. This Eddy cycle, which was recently discovered in solar activity, remains both strong and stable during the mid Holocene and almost dissipated during the past two millennia. What does it mean: the end of the Holocene and transition to the next glacial period? The answer to this question requires additional studies of millennial-scale variations in the Sun-climate relationships using different reconstructions of solar activity and climate changes. In any case, the results presented confirm the complex and nonlinear nature of the Sun-climate relationship during the Holocene epoch.

## **Sensitive plants and some random processes monitoring during calm space weather months**

P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva

*Polar Alpine Botanical Garden-Institute, RAS*

According to S. Shnoll discovery the external effects presumably of cosmic provenance capable to influence terrestrial physical events including random processes in terms of so called macroscopic fluctuations. On the other hand, the numerous data obtained by plethora of authors suggest that Solar and cosmic influence can directly or indirectly via atmospheric processes etc. to modulate various biological systems. To explore the question the diurnal observation of the physiological reactions in the plant meteosensitive species was carried out in parallel with a number of physical processes. The *Marantha leuconeura* stem - petiole angles were measured twice daily throughout 2020-2021 yrs. To detect the plausible exogenous influence among the nonliving objects the various physical systems and random processes run were used. Those were as follows: hourglass, generator of random numbers by SRP-285II "CITIZEN", two kind coins tossing. The data obtained analysis showed the presence of eigen temporal structure particular in each class of objects as well as common features. In physiological performance of the biological objects and in the physical systems the specific temporal structures were revealed. Among the common features the day-to-day cycles are found, among those the fortnight, ceptan, semiceptan were pronounced most. The signature of the rhythms in turn points on external cosmic modulation of the both systems, those are presented in plant long-term physiological activity and in repeatedly occurred random processes.

## Tree growth response to large eruptions of Icelandic volcanoes at Fennoscandia during the Holocene

O.I. Shumilov<sup>1</sup>, E.A. Kasatkina<sup>1</sup>, M. Timonen<sup>2</sup> and D.V. Makarov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science RAS, Apatity, Russia*

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

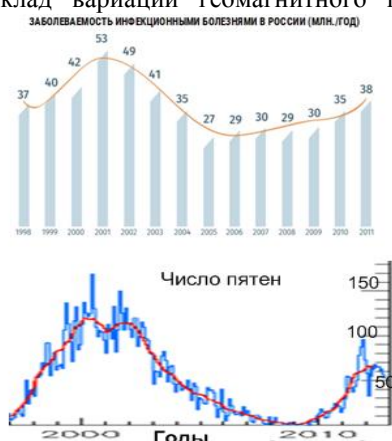
Major volcanic eruptions can inject huge amounts of volcanic dust, sulfur dioxide and water vapor into the atmosphere reducing the transparency and preventing the penetration of solar radiation to the earth's surface. Our previous findings established a significant decrease (over 7 years) in polar tree growth after the most powerful ( $VEI \geq 5$ , *Volcanic Explosivity Index*) volcanic eruptions over a period of 1445-2005. The analysis was based on the tree-ring chronology developed from pine samples collected near the northern tree line on the Kola Peninsula (Loparskaya station: 68.6°N, 33.3°E). It was shown that the low and mid-latitude eruptions had the greatest impact on tree growth in polar region. By contrast, the eruptions of high-latitude Icelandic volcanoes did not affect significantly on tree growth at Kola Peninsula. However, the recent eruption ( $VEI=4$ ) of the Eyjafjallajökull volcano in southern Iceland in March 2010 produced an ash plume that disrupted air traffic throughout most parts of Europe. Super-long (~ 7500 yr) tree-ring chronology from subfossil pine wood taken from northern Fennoscandia (68°-70°N, 20°-30°E) give us a possibility to expand the analysis further back into the Holocene. A superposed epoch analysis indicated an absence of any significant impact of powerful ( $VEI \geq 5$ ) high-latitude Icelandic eruptions on tree growth over the last millennia. Cluster analysis allowed us to identify areas of Fennoscandia with different tree-ring width responses to the Icelandic Laki ( $VEI=4+$ , 1783 AD) and low-latitude Huaynaputina ( $VEI=6$ , 1600 AD) volcanic eruptions. Possible reasons and mechanisms are discussed.

## COVID-19: особенности пандемии в условиях глобального минимума солнечной активности

М.В. Рагульская

*ИЗМИРАН, Москва, Россия, ra\_mary@mail.ru*

Солнечная активность и интенсивность УФ-излучения имеют периоды различной длительности, из которых наибольшее эпидемиологическое значение имеют около 11-летний цикл и около-100 летний цикл динамики. Такая же цикличность характерна для космических лучей. Регуляторные механизмы биосферы откликаются как на высокие, так и на низкие периоды солнечной активности (СА), меняется только удельный вклад основных действующих факторов космической погоды [1]. В максимуме СА существенным оказывается вклад вариаций геомагнитного поля, вариаций ультрафиолетового излучения Солнца и солнечных космических лучей, а в минимуме на роль основного регуляторного биотропного фактора претендуют галактические космические лучи [2]. В России разница заболеваемости ОРВИ и гриппом в максимуме и минимуме СА составляет более 26 миллионов человек (Рисунок 1, данные РОССТАТ и ИЗМИРАН).



В 2019-2020 годах наблюдался одновременный глубокий минимум квази-столетнего и минимум 11-летнего цикла солнечной активности. Это сказалось на эпидемиологической обстановке в мире, и особенностях течения пандемии COVID-19. В докладе рассматриваются три основных фактора, модулирующих развитие пандемии: динамика солнечной активности и галактических космических лучей, геногеографическое распределение населения (в частности, характерные для данной местности гаплогруппы), и температурный режим окружающей среды. Особенностью пандемии COVID-19 является значительная вариабельность числа летальных исходов на 1 млн населения в разных странах. Максимальные значения летальности наблюдаются в благополучных странах с высоким уровнем развития и организации медицины. При этом самые строгие карантинные меры оказываются неэффективными: в первую волну относительная смертность в Швеции без локдауна была в 4-5 раз ниже, чем в Испании и Италии с жестким локдауном. А относительная летальность в Иране и России и сейчас в 5 раз меньше, чем в Великобритании и Бельгии (в первую волну разница

составляла больше порядка). Парадоксальная разница в летальности требует поиска факторов, не связанных с эпидемиологическими мерами и медицинским обслуживанием в конкретной стране[3].

Анализ статистических данных показал, что текущая пандемия COVID -19 наиболее тяжело протекает в странах с доминантной гаплогруппой R1b (Испания, Бельгия, Великобритания, Франция, северная Италия, Швейцария, частично – США). Генетические вариации объясняют различия в силе иммунных реакций лейкоцитарных антигенов [4]. На европейской территории России доминантной гаплогруппой является R1a, для которой оказалось характерно быстрое развитие эпидемии при низкой летальности и большом количестве бессимптомных больных (Россия, частично –Германия, Индия, Иран). В северных областях России удельный вес R1a сокращается почти вдвое, уступая место гаплогруппе Nc1. Различия в генетическом составе населения может объяснить существенную разницу развития первой волны эпидемии COVID-19 в Москве и Санкт-Петербурге.

В ближайшие 30 лет предполагается сохранение крайне низкой солнечной активности. В этих условиях можно ожидать двукратное увеличение числа пандемий (каждые 5-6 лет вместо 10-11 лет) с выраженными геноеграфическими отличиями в развитии локальных эпидемий.

*Ключевые слова: пандемии гриппа, SARS-CoV-2, гаплогруппы R1b и R1a, экстремумы солнечной активности, ультрафиолетовое излучение, космические лучи*

1. Рагульская М.В., Обридко В.Н., Храмова Е.Г. Галактические факторы, молодое Солнце, Земля и биофизика живых систем // Биофизика, 2020, Т.65, №4, С.804–817
2. Рагульская М.В., Белищева Н.К. Космические лучи как фактор эволюционного отбора // Физика авроральных явлений, 2019, С.250-252
3. Ragulskaia M.V. Space weather and COVID-19 pandemic genogeography // J Nov Physiother Phys Rehabil, 2020, V.7, Is.1, P.031-032
4. Nguyen A., David J.K., Maden S.K., Wood M.A., Weeder B.R., Nellore A., Thompson R.F. Human leukocyte antigen susceptibility map for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, J Virol, 2020, V.94, DOI: 10.1128/JVI.00510-20

## AUTHOR INDEX

### A

Abunin A.A. ....	67
Abunina M.A. ....	67
Akhmetov O.I. ....	37
Aksenovich T.V. ....	19
Andreeva V.A. ....	27
Andriyanov A.F. ....	68
Antonenko O.V. ....	53
Antonova E.E. ....	25, 27
Apatenkov S.V. ....	17, 24
Artemyev A.V. ....	14, 26, 30, 33, 40
Asamura K. ....	37
Aslam O.P.M. ....	42
Atanassov A. ....	18

### B

Babaykina K.V. ....	61
Baddeley L. ....	36
Baishev D.G. ....	30
Balabin Yu.V. ....	46, 47, 49, 50, 51, 68, 69, 71
Barkhatov N.A. ....	19
Barkhatova O.M. ....	20
Baryshev P.E. ....	64
Baše J. ....	54
Bekker S.Z. ....	53
Belakhovsky V.B. ....	37, 38, 61, 69
Belisheva N.K. ....	73
Bespalov P.A. ....	29
Bessarab F.S. ....	55, 60
Bhargawa Asheesh ....	45
Bland E.C. ....	36
Bojilova R. ....	15, 18
Borisenko A.V. ....	44
Budnikov P.A. ....	64
Burtsev A.V. ....	72
Bychenkov P.A. ....	53

### C

Cherniakov S.M. ....	58, 65
Chernyaeva S.A. ....	24
Chernyshov A.A. ....	29, 34, 60
Chugunin D.V. ....	29, 34, 60
Chum J. ....	54
Comedi E.S. ....	41

### D

Danilova O.A. ....	41
Dashkevich Zh.V. ....	54
de Haro Barbas B.F. ....	41
Demekhov A.G. ....	30, 31, 36, 37
Demin V.I. ....	68, 69, 70

Demkin V.M. ....	68
Despirak I.V. ....	12, 13, 15
Divin A.V. ....	18
Dolgacheva S.A. ....	55
Dolgovala D.S. ....	20

### E

Efishov I.I. ....	17
Elias A.G. ....	41
Ermakova E.N. ....	38
Eselevich M.V. ....	22
Eselevich V.G. ....	22

### F

Fedorenko Yu.V. ....	23, 35, 53, 64
Fedorov E.N. ....	35
Fedorov I.E. ....	14
Fedotova E.A. ....	71
Filatov M.V. ....	17, 23, 59, 62, 64
Frantsuzov V.A. ....	30
Fujii R. ....	31, 59

### G

Germanenko A.V. ....	46, 47, 49, 50, 51, 68, 69, 71
Gonzalez J. ....	25
Gordeev E.I. ....	17, 24, 57
Grach V.S. ....	31
Gromov S.V. ....	14, 47
Gromova L.I. ....	12, 14, 47
Guinea V. ....	12, 13, 15, 18, 55
Gutierrez Falcon A.R. ....	41
Gvozdevsky B.B. ....	42, 46, 47, 50, 51, 68, 69

### H

Hajoš M. ....	30
Hori T. ....	37
Hosokawa K. ....	16, 31, 59

### I

Ievenko I.B. ....	25
Ismagilov V.S. ....	39
Ivanov V.E. ....	54

### J

Jin Y. ....	61
-------------	----

### K

Kalacheva N.V. ....	74
---------------------	----

Kalashnikov Yu.V.	20
Kalegaev V.V.	26
Kalinin M.S.	42, 48
Kalishin A.S.	63, 64, 65
Kamaletdinov S.R.	33
Kapustin V.E.	23
Karpachev A.T.	55
Kasaba Y.	31
Kasahara S.	37
Kasahara Y.	29, 30, 31, 34, 37
Kasatkina E.A.	74, 75
Kashulin P.A.	74
Kataoka R.	31
Keika K.	37
Khalipov V.L.	32
Khomutov S.Yu.	22
Kim H.	37
Kirillov A.S.	53, 55, 68, 69
Kirpichev I.P.	25, 27
Kiselev A.V.	65
Kleimenova N.G.	12, 13, 14, 35
Klimenko M.V.	55
Klimenko V.V.	55
Klimov P.A.	62
Kolpak V.I.	29
Kopytenko Yu.A.	39
Kostov M.	41
Kozelov B.V.	13, 21, 54, 56, 62, 63, 64, 65, 69, 70
Kozelova T.V.	13
Kozlovsky A.E.	53
Kozyreva O.V.	36
Kraïnev M.B.	42, 48
Krashenninnikov I.V.	63, 65
Kshevetskii S.P.	56
Kugusheva A.D.	26
Kulikov Y.Y.	68
Kumamoto A.	29, 31, 34, 37
Kurdyayeva Y.A.	56
Kurita S.	16, 31, 59
Kuznetsova M.V.	35

## L

Larchenko A.V.	23, 35, 64
Leonovich A.S.	32
Losev A.V.	12, 13, 70
Lubchich A.A.	12, 13, 18, 36, 37
Lubchich V.A.	39
Lukin A.S.	33
Lunyushkin S.B.	23

## M

Makarov D.V.	75
Makarov G.A.	15
Malova H.V.	22
Malysheva L.M.	12, 14
Manev A.P.	42

Manninen J.K.	30, 34, 35, 36
Manninen J.T.	34
Martinez-Calderon C.	30, 34
Matsuda S.	30, 31
Matsuoka A.	30, 37
Maurchev E.A.	46, 47, 49, 50, 51, 69, 71
Mazur N.G.	35
Melnik M.N.	22
Merzlyi A.M.	63, 65
Meshalkina N.S.	44
Mihalko E.A.	46, 47, 68, 71
Miloch W.J.	60, 61
Mingalev I.V.	22, 37, 63, 65, 70, 71
Mingalev O.V.	22, 37
Mingalev V.S.	70, 71
Mirmovich E.G.	63
Miyoshi Y.	16, 30, 31, 37, 38, 56, 59
Mogilevsky M.M.	29, 34, 60
Moiseenko I.L.	34
Moldavanov A.V.	43
Muravieva T.A.	69

## N

Nair Devi R.	44
Ngobeni M.D.	42
Nikitenko A.S.	30, 35, 36
Nikolaev A.V.	16, 55, 57, 64
Nikolaeva V.D.	57
Noh S.J.	37
Novikov S.V.	64

## O

Obridko V.N.	52
Ogawa Y.	16, 31, 59
Oinats A.V.	20
Orlov K.G.	70, 71
Ovchinnikov I.L.	25
Oyama Sh.-I.	16, 31, 56, 57, 59
Ozaki M.	30, 31

## P

Panchenko V.A.	66
Parkhomov V.A.	22
Parnikov S.G.	25
Pasmanik D.L.	30
Penskikh Yu.V.	23
Petrov M.O.	65
Petrukovich A.A.	26, 33
Pilgaev S.V.	23, 35, 64
Pilipenko V.A.	35, 36, 38
Pipin V.V.	52
Plaksina M.O.	58
Podgorny A.I.	44
Podgorny I.M.	44



Podolská K. ....	54
Popova T.A. ....	37
Potgieter M.S. ....	42
Prince P.R. ....	44
Ptitsyna N.G. ....	41
Pulinets M.S. ....	25

## R

Radievsky A.V. ....	60
Ragul'skaya M.V. ....	75
Raita T. ....	16, 22, 31
Rakhmatulin R.A. ....	22
Ratovsky K.G. ....	55
Raykova L. ....	15, 18, 45
Revunov S.E. ....	20
Revunova E.A. ....	19
Rogov D.D. ....	16, 57, 64, 67
Rojas Gamarra M. ....	25
Roldugin A.V. ....	12, 21, 23, 56, 58, 62, 64
Roldugin V.C. ....	58
Romanova N.Yu. ....	66
Romantsova T.V. ....	34
Rozanov E.V. ....	55
Rozhdestvenskaya V.I. ....	52
Rozhdestvenskii D.B. ....	52
Rusz J. ....	54
Ryabov A.V. ....	38
Ryskin V.G. ....	68

## S

Safargaleev V.V. ....	59
Sakharov Ya.A. ....	17, 63, 65, 72
Santolik O. ....	30
Schur L.I. ....	47
SDI-3D project members ....	57
Sdobnov V.E. ....	41
Selivanov V.N. ....	19, 72
Semenov V.S. ....	18
Serebrennikova S.A. ....	65
Sergeev V.A. ....	16, 27
Sergienko T.I. ....	59
Setsko P.V. ....	12, 13, 22
Shagimuratov I.I. ....	17, 23, 59
Shapovalova Yu.A. ....	23
Sheiner O.A. ....	60, 67
Shevelev M.M. ....	40
Sheveleva D.A. ....	17
Shibalova A.S. ....	52
Shinohara I. ....	30, 31, 37
Shiokawa K. ....	30, 31, 38
Shishaev V.A. ....	68, 69
Shoji M. ....	37
Shubin V.N. ....	63, 65
Shukhtina M.A. ....	16
Shumilov O.I. ....	74, 75
Shustov P.I. ....	14, 26, 30

Shvets M.V. ....	23
Sibeck D.G. ....	32
Sigaeva K.F. ....	62
Sinevich A.A. ....	60
Singh A.K. ....	45
Skotis E.I. ....	62
Sokoloff D.D. ....	52
Solovievskaya N.L. ....	73
Sormakov D.A. ....	27
Sotnikov N.V. ....	25
Stepanov N.A. ....	16, 27
Stepanova M.V. ....	25
Stoev A. ....	41, 45
Stoeva P. ....	41, 45
Sukhodolov T.V. ....	55
Suvorova Z.V. ....	37, 65
Svirzhevskaya A.K. ....	48
Svirzhevsky N.S. ....	48

## T

Taishiro M. ....	16
Takashima T. ....	31
Talalaev A.B. ....	63, 65
Telegin V.A. ....	52, 66
Tepenitsyna N.Yu. ....	17, 59
Tikhonov M.V. ....	63, 65
Tikhonov V.V. ....	63, 65
Timchenko A.V. ....	60
Timonen M. ....	74, 75
Titova E.E. ....	36
Tsegmed B. ....	22
Tsuchiya F. ....	29, 31, 34, 37
Turunen E. ....	31
Turunen T. ....	34
Tyasto M.I. ....	41

## U

Ugryumov Yu.V. ....	64
Uliev V.A. ....	67
Undalova I.S. ....	19

## V

Valev D. ....	18
Vasilyev R.V. ....	20
Vasko I.Yu. ....	33, 40
Vesnina A.M. ....	65
Vorobjev V.G. ....	19, 20, 25, 27, 66
Vybornov F.I. ....	60

## W

Wang R. ....	33
Werner R. ....	12, 13, 15, 18, 55

## Y

Yagitani S. ....	31
Yagodkina O.I. ....	19, 20, 25, 27, 66
Yahnin A.G. ....	22, 28, 37
Yahnina T.A. ....	28
Yakimova G.A. ....	59
Yanakov A.T. ....	63, 65
Yasyukevich Yu.V. ....	55, 65
Yokota S. ....	37
Yurik R.Yu. ....	23
Yushkov E.V. ....	33

## Z

Zagainova Yu.S. ....	47
Zaitsev I.V. ....	18
Zakharenkova I.E. ....	17, 59
Zelenyi L.M. ....	22
Zhang X.-J. ....	26
Zhbankov G.A. ....	66
Zossi B.S. ....	41



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

---

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

