

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

Polar Geophysical Institute

PGI-20-01-140

**PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA**

43<sup>rd</sup> Annual Seminar

Abstracts

10 – 13 March 2020

Apatity  
2020

The organizing committee:  
Andris Lubchich (chair)  
Irina Despirak  
Konstantin Orlov  
Nadezhda Semenova  
Victor Yurov  
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, 2020

## CONTENTS

### SESSION 1. GEOMAGNETIC STORMS AND SUBSTORMS

I.V. Despirak, N.G. Kleimenova, L.I. Gromova, S.V. Gromov, L.M. Malysheva, A.V. Roldugin	Longitudinal distribution of the westward electrojets during supersubstorms	13
I.V. Despirak, T.V. Kozelova, B.V. Kozelov, A.A. Lubchich, A.V. Roldugin	Westward propagation of substorm by THEMIS and ground-based observations	13
R.F. Oloruntola, A.K. Ogundele, A.F. Akinfoyeku, S.M.A. Shittu	Ionospheric response to intense geomagnetic storms and pre-storms	14
S. Oyama, A. Aikio, H. Vanhamäki, A. Shinbori, M. Rietveld, Y. Ogawa, M. Kellinsalmi, T. Raita, K. Shiokawa, I. Virtanen, L. Cai, A. Workayehu, M. Pedersen, K. Kauristie, B. Kozelov, A. Demekhov	SAR arc at 68° geomagnetic (71° geographic) North for K <sub>p</sub> = 0+	14
M.A. Evdokimova, A.A. Petrukovich	Analysis of methods for estimating equivalent ionospheric current from meridian magnetometer chain data	15
E.I. Gordeev, S.V. Apatenkov, V.A. Sergeev	Substorm growth phase: the role of azimuthal convection in development of magnetotail current sheet with local B <sub>z</sub> minimum	15
Ya.A. Sakharov, N.V. Yagova, V.A. Pilipenko	Pc5/Pi3 pulsations and geomagnetically induced currents	15
O.I. Yagodkina, V.G. Vorobjev, A.V. Roldugin	Observations of aurorae over the Kola Peninsula	16
В.Б. Белаховский, В.А. Пилипенко, Я.А. Сахаров, В.Н. Селиванов	Вклад суббуревых возмущений в рост геомагнитно-индуцированных токов, регистрируемых в линиях электропередач	16
Л.А. Дремухина, Ю.И. Ермолаев, И.Г. Лодкина	Различия в динамике индекса <i>ASY-H</i> в интервалы магнитных бурь, инициированных разными типами солнечного ветра	16
Б.В. Ефимов, В.Н. Селиванов, Я.А. Сахаров, В.А. Билин	Мониторинг воздействия электромагнитных сигналов природного происхождения на энергосистемы Кольского полуострова	17
Ю.В. Пенских, С.Б. Лунюшкин	Автоматический метод диагностики границ авроральных овалов в двух полушариях на основе техники инверсии магнитограмм	17
В.А. Пилипенко, А.В. Воробьев	Нужны ли новые геомагнитные индексы?	18
В.В. Сафаргалеев, В.Н. Митрофанов	Триангуляционные измерения высоты локальных неоднородностей в авроральных дугах перед началом суббури	18
Н.В. Сотников, Е.Е. Антонова, И.Л. Овчинников, В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, М.С. Пулинец, С.С. Знаткова, С.К. Мить, П.С. Казарян	Связь формирования внешнего радиационного пояса во время геомагнитных бурь с адиабатическим механизмом падения и возрастания потоков релятивистских электронов	19

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

S.R. Kamaletdinov, E.V. Yushkov, A.V. Artemyev, A.S. Lukin, A.A. Petrukovich	Superthin current sheets supported by anisotropic electrons	20
M.B. Krainev, G.A. Bazilevskaya, B.B. Gvozdevsky, A.S. Dyussembekova	Comparison between the high energy electron precipitations in Murmansk and Moscow regions according to the regular balloon monitoring of cosmic rays	20
V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, E.E. Antonova	Solar wind kinetic pressure influence on the plasma pressure in dayside precipitation regions	20
В.А. Любич, А.В. Роскуляк	Исследование распространения электромагнитных волн КНЧ-диапазона в высокоширотных районах Западно-Арктической континентальной окраины по результатам эксперимента FENICS-2019	21
О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.М. Мерзлый, В.С. Мингалев, О.В. Хабарова	Система уравнений Максвелла для плазмы в приближении квазинейтральности	21
О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, П.В. Сецко, М.Н. Мельник, А.В. Артемьев, О.В. Хабарова, Л.М. Зелёный	Силовой баланс в токовых слоях в плазме из протонов и замагниченных электронов	22

## SESSION 3. WAVES, WAVE-PARTICLE INTERACTION

A.G. Demekhov, B.V. Kozelov, T.A. Popova, A.G. Yahnin, A.S. Nikitenko, Yu.V. Fedorenko, A.V. Roldugin, E.E. Titova, J. Manninen	Observations of auroras and low-frequency electromagnetic waves at Kola Peninsula and Scandinavia during Arase/ERG flybys	23
A.G. Demekhov, U. Taubenschuss, M. Hanzelka, O. Santolík	Frequency dependence of VLF chorus Poynting flux in the source region: THEMIS observations and a model	23
Y. Kawamura, K. Hosokawa, S. Oyama, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, S. Kurita, R. Fuji	Spatial distribution of multiple temporal variations of pulsating aurora: multi-point high-speed optical observations in Scandinavia	24
N.G. Kleimenova, J. Manninen, T. Turunen, Yu.V. Fedorenko, A.S. Nikitenko, L.I. Gromova, O.M. Lebed	Non-understood high-frequency “birds”-type VLF emissions	24
A.S. Lukin, A.V. Artemyev, E.V. Panov, A.A. Petrukovich, R. Nakamura	Electron anisotropy driven by kinetic Alfvén waves in the Earth magnetotail	25
T.A. Popova, A.G. Demekhov, A.G. Yahnin, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, Y. Kasahara, A. Matsuoka, M. Shoji, Y. Miyoshi, I. Shinohara, T. Raita	EMIC waves and proton precipitation related to the westward drift of energetic protons in the evening sector	26

V.C. Roldugin, A.V. Roldugin	The cases of weak auroras during Pc1-2 pulsations in Lovozero	26
V.C. Roldugin, A.V. Roldugin	Pc5 pulsation layout during SC event on 24 January 2012	26
P.I. Shustov, I.V. Kuzichev, I.Y. Vasko, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich	Electron holes in the Earth's magnetotail current sheet: role of magnetic field gradients and electron anisotropy	27
E.E. Titova, A.G. Demekhov, A.A. Lubchich, J. Manninen, D.L. Pasmanik, A.S. Nikitenko, A.V. Larchenko	Conjugate ground-spacecraft observations of quasiperiodic VLF emissions	27
M.B. Volkov, E.V. Yushkov, A.V. Artemyev, A.S. Lukin, P.I. Shustov, A.A. Petrukovich	Large-amplitude Alfvén waves in the solar wind: ion kinetic effects	28
N.V. Yagova, O.V. Kozyreva, V.A. Pilipenko	Spectral parameters of high latitude Pi3 pulsations, ULF index in two hemispheres and space weather	28
N.V. Yagova, V.A. Pilipenko, E.N. Fedorov, N.G. Mazur, N.S. Nosikova	Atmospheric and magnetospheric control of natural geomagnetic noise in ULF-ELF frequency range in the ionosphere	29
T.A. Yahnina, A.G. Yahnin, T. Raita, J. Manninen	Sources of Pc1 pulsations during the September 11, 2017 event	29
I.V. Zaitsev, A.V. Divin, V.S. Semenov	Cold ion energization on separatrices during magnetic reconnection	29
О.И. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, В.Б. Белаховский, З.В. Суворова	Распространение электромагнитных волн в условиях магнитной суббури 11.12.2015 на частотах российской радионавигационной системы РСДН-20 (Альфа)	30
В.Б. Белаховский, В.А. Пилипенко, К. Шиокава, Е. Миоши	Оценка вклада УНЧ и ОНЧ волновых возмущений в рост потоков электронов до релятивистских энергий	30
А.С. Никитенко, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко, Ю. Маннинен, Н.Г. Клейменова, Л.И. Громова	Наблюдения аврорального хисса в пространственно разнесенных точках в высоких широтах и оценка эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера	31
С.В. Пильгаев, А.В. Ларченко, Ю.В. Федоренко, А.С. Никитенко, М.В. Филатов, О.М. Лебедь, И.Е. Фролов, Б.В. Козелов	Наблюдения естественных СНЧ/ОНЧ излучений во время экспедиции "Трансарктика - 2019"	31
П.Е. Терещенко	Квазистатическое приближение в задаче возбуждения КНЧ электромагнитного поля горизонтальной заземленной антенной	32
П.Е. Терещенко	Оценка эффективной проводимости подстилающей поверхности волновода Земля-ионосфера по результатам эксперимента FENICS-2019	32

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

M.S. Kalinin, M.B. Krainev, A.K. Svirzhevskaya, N.S. Svirzhevsky	Three-component model of heliospheric magnetic field and modulation of galactic cosmic rays	33
M.B. Krainev, G.A. Bazilevskaya, M.S. Kalinin, V.S. Makhmutov, Yu.I. Stozhkov, A.K. Svirzhevskaya, N.S. Svirzhevsky	The long-term variations of the galactic cosmic ray intensity in solar cycles 19-24 according to the regular balloon and spacecraft monitoring of cosmic rays	33
A.I. Podgorny, I.M. Podgorny, A.V. Borisenko	MHD simulation of flare situation above the active region AR 10365 in the real time scale	33
S. Poluianov, G. Kovaltsov, I. Usoskin	Galactic cosmic rays and solar energetic particles reconstructed from lunar Al-26	34
V.I. Shematovich, D.V. Bisikalo	Proton aurora at Mars: simulations with the kinetic Monte Carlo model for the high-energy proton and hydrogen atom precipitation into the upper atmosphere	34
A.A. Vinogradov, A.V. Artemyev, I.Yu. Vasko, A.A. Vasiliev, A.A. Petrukovich	Non-adiabatic interaction of ions with solar wind discontinuities	35
A.A. Абунин, М.А. Абунина, А.В. Белов, С.П. Гайдаш, О.Н. Крякунова, Н.Ф. Николаевский, И.И. Прямушкина	Анализ суточного хода потока электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите	36
A.A. Абунин, М.А. Абунина, А.В. Белов, С.П. Гайдаш, И.И. Прямушкина, И.М. Черток	Исследование параметров протонных возрастных на основе анализа соответствующих солнечных источников	36
М.А. Абунина, А.А. Абунин, А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, В.Г. Янке	Метод кольца станций	36
Ю.В. Балабин	Изучение возможных мест размещения новых нейтронных мониторов	37
Ю.В. Балабин, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.Г. Янке	Об особенностях модуляции космических лучей в 23-24 циклах солнечной активности	37
Ю.В. Балабин, А.А. Луковникова, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, И.В. Янковский	Новая секция НМ в Восточных Саянах	38
Ю.В. Балабин, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.Г. Янке	Особенности минимума солнечной активности в текущем цикле	38

Н.А. Бархатов, В.Г. Воробьев, Е.А. Ревунова, И.С. Ундалова	Статистическое исследование связи КВМ с солнечными вспышками	38
А.В. Борисенко, И.М. Подгорный, А.И. Подгорный	Применение параллельных вычислений на графических процессорах для МГД моделирования солнечной вспышки в реальном масштабе времени	39
А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин	Компактные счетчики ионизирующего излучения для верификации RUSCOSMICS	40
С.В. Громов, Ю.С. Загайнова, В.Г. Файнштейн, Л.И. Громова	Связь временных вариаций корональных выбросов массы и крупномасштабных событий в солнечном ветре с появлением $SC$ в 23 и 24 циклах солнечной активности	40
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко	Перспективы использования параллельных вычислений для ускорения расчетов скорости ионизации атмосферы Земли частицами космических лучей	41
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин	Моделирование нуклон-нуклонных взаимодействий в атмосфере Земли для частиц космических лучей с $Z>2$	41
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Моделирование прохождения протонов СКЛ с энергетическим спектром для событий GLE42 и GLE44	42
Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский	Расчет скорости ионизации во время события GLE с использованием глобальной модели атмосферы Земли	42
Е.А. Михалко, Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский	Мобильный детектор для регистрации нейтронной компоненты	42
Е.А. Михалко, Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин	Влияние углового распределения первичных космических лучей на положение максимума высотного профиля в атмосфере Земли	43
В.А. Оленева, А.В. Белов, В.Г. Янке	Долгопериодная вариация северо-южной анизотропии космических лучей по данным нейтронных мониторов	43
Л.А. Трефилова, П.Г. Кобелев, А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, А.А. Мелкумян, В.А. Оленева, В.Г. Янке	Понижение интенсивности космических лучей в мае 2019 года в 24ом солнечном цикле	43
Л.А. Трефилова, П.Г. Кобелев, А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, В.Г. Янке	Метод опорных станций для исключения эффекта снега на основе данных за 2018-2019 год	44
В.И. Шематович	Убегание атомов кислорода из атмосферы при протонных полярных сияниях на Марсе	44

## SESSION 5. IONOSPHERE AND UPPER ATMOSPHERE

E.S. Andreeva, M.O. Nazarenko, A.M. Padokhin, N.A. Tereshin, Yu.S. Tumanova	Plasma structures detected by radio tomography in high- and midlatitude ionosphere in 23rd and 24th solar cycles	45
R. Atulkar	Ionosphere variability in equatorial latitude of India using GPS-TEC during extreme low solar activity period	45
S.Z. Bekker, I.A. Ryakhovskiy	Modeling of the lower ionospheric response to the C-, M- and X-class solar flares	46
V.B. Belakhovsky, Y. Jin, W.J. Miloch, A.V. Koustov, A. Reimer	Influence of the substorm precipitations and polar cap patches on the GPS signals at polar latitudes	46
Sh. Bhattarai	Langmuir probe in CubeSat for low Earth orbit ionosphere scientific investigation	46
S.M. Cherniakov, V.A. Turyansky	Variations in mesospheric temperature during Polar Mesospheric Summer Echo	47
S.A. Dolgacheva	High-latitude vertical incidence soundings scaling using neural networks: Es and F2 layers	47
V.E. Ivanov, Zh.V. Dashkevich, B.V. Kozelov	Finding the energy spectrum of the auroral electrons by the optical data of the MAIN system	47
M.V. Klimenko, V.V. Klimenko, I.E. Zakharenkova, K.G. Ratovsky, R.Yu. Lukianova, I.V. Cherniak, R.V. Vasilyev, B.G. Shpynev, M.A. Chernigovskaya, A.S. Yasyukevich	Formation of the polar tongue of ionization and mid-latitude ionospheric disturbances during the 2015 St. Patrick's Day storm: Role of thermospheric perturbations	48
M.V. Klimenko, V.B. Ovodenko, I.E. Zakharenkova, A.V. Oinats, K.G. Ratovsky, D.S. Kotova, A.V. Nikolaev, I.V. Tyutin, D.D. Rogov, A.V. Dmitriev, D.V. Chugunin, A.A. Chernyshov, V.V. Klimenko, J.C. Coxon	Multi-scale ionospheric irregularities at high-latitudes during geomagnetic storm on 27-28 May 2017: morphology, development and interpretation	48
P.A. Klimov, K.F. Sigaeva	UV radiation measurements in the polar regions by the TUS telescope onboard the Lomonosov satellite	49
D.S. Kotova, I.A. Nosikov, M.V. Klimenko, P.F. Bessarab	Comparison of two approaches for a point-to-point radio wave ray tracing in anisotropic medium	50
B.V. Kozelov, A.V. Roldugin	Extracting information about ionosphere-magnetosphere plasma from auroral observations	50
A.V. Larchenko, Yu.V. Fedorenko, O.M. Lebed'	Peculiarities of the generation and propagation ELF/VLF waves emitted by EISCAT/heating facility	50



E.E. Leonenko, Yu.A. Shmelev, A.S. Kalishin	Methods of quality control of GNSS data for TEC estimation	51
O.V. Nikiforov, A.A. Petrukovich, I.A. Uvarov	Development of the "Aurora Arctic" GIS	51
A.V. Podlesnyi, A.A. Naumenko, M.V. Cedrik	Antenna coupling factor for topside ionosphere sounding by chirp signals	52
Yu.V. Poklad, B.G. Gavrilov, V.M. Ermak, V.A. Rybakov, I.A. Ryakhovskiy	The characteristic of the ULF radiation received in the geophysical observatory "Mikhnevo" during the "FENICS-2019" experiment	52
D.D. Rogov	A riometric empirical model of the HF radiowave absorption during the solar X-ray flares	52
D.D. Rogov	HF radio conditions operational monitoring in the Russian Federation Arctic region	53
Yu.A. Shmelev, E.E. Leonenko, A.S. Kalishin	Approximate estimation of foF2 from TEC values received using GNSS measurements	53
T.E. Syrenova, A.B. Beletsky, R.V. Vasilyev, A.V. Mikhalev	Reconstruction of long-lived meteor track spatial characteristics on all-sky cameras	53
I.A. Uvarov, O.V. Nikiforov, A.A. Petrukovich	Using the GEOSMIS technology for ionospheric data representation and analysis	54
A.V. Zhukov, Y.V. Yasykevich, S.A. Serebrennikova, A.M. Vesnin, A.V. Kiselev	A machine learning model for estimating energy entering the magnetosphere in the auroral zone based on GPS/GLONASS data	54
О.В. Антоненко, А.С. Кириллов, Ю.Н. Куликов	Моделирование спектра свечения ночного неба Земли для систем полюсов, излучаемых при спонтанных переходах между различными состояниями молекулы электронно – возбуждённого кислорода	54
О.М. Бархатова, В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, Д.С. Долгова, Н.В. Косолапова	Ночная ионосферная УНЧ возмущенность, обусловленная турбулентными оболочками магнитных облаков солнечного ветра	55
В.Б. Белаховский	Вклад суббуревых высыпаний в полное электронное содержание ионосферы	56
В.Е. Иванов, Ж.В. Дашкевич	О возможности использования ПЗС матриц с широким спектральным диапазоном в исследовании полярных сияний	56
С.А. Калашникова, А.М. Падохин, Е.С. Андреева	Влияние поглощения на определение скорости объемной эмиссии OI 135.6нм в задаче спутниковой УФ-томографии ионосферы	56
Е.А. Козловцева, С.А. Калашникова, Н.А. Терешин, Ю.С. Туманова	Сравнение методов D1-Geo и SADM-Geo в задаче определения параметров ПИВ на основе экспериментальных данных приема сигналов COMPASS/BeiDou	57
А.М. Мерзлый, А.Б. Талалаев, Л.Г. Устименко, В.В. Тихонов, А.Т. Янаков, Я.А. Сахаров, И.В. Мингалев, З.В. Суворова	Организация радиотрасс Тверь-Ловозеро и Ловозеро-Земля Франца-Иосифа	57

И.В. Мингалев, З.В. Суворова, А.М. Мерзлый, А.Б. Талалаев, В.В. Тихонов, А.Т. Янаков, В.С. Мингалев	Анализ зон засветки односкачковыми лучевыми траекториями для передатчиков в КВ-диапазоне и обеспечение радиосвязи в Арктическом регионе	57
В.Д. Николаева, Е.И. Гордеев, А.В. Николаев	Стационарная модель E-слоя авроральной ионосферы Auroral Ionospheric Model (E-AIM)	58
И.А. Носиков, М.В. Клименко, Д.С. Котова, П.Ф. Бессараб	Вариационный метод расчета радиолучей в анизотропной ионосфере	58
К.Г. Орлов, И.В. Мингалев, Е.А. Федотова, В.С. Мингалев	Результаты моделирования общей циркуляции атмосферы Земли для условий января с детальным учетом радиационного нагрева	59
Н.Ю. Романова	Влияние горизонтального нейтрального ветра F-области ионосферы на ориентацию поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей (по данным 2008 – 2012 гг., Москва)	59
И.А. Ряховский, Б.Г. Гаврилов, Ю.В. Поклад, С.З. Беккер	Сравнение результатов расчёта локальных вариаций абсолютного значения ПЭС с данными мировых геофизических сетей	59
А.Е. Степанов, В.Л. Халипов, А.Ю. Гололобов, И.А. Голиков, С.Е. Кобякова, Е.Д. Бондарь	Субавроральные потоки ионов из ионосферы в области развития поляризационного джета	60
Н.А. Терешин, Е.А. Козловцева, С.А. Калашникова, Ю.С. Туманова	Использование глобальной оптимизации на основе симплицальной гомологии для трассировки лучей в ионосфере методом пристрелки	61
В.А. Ульев, Д.Д. Рогов, А.В. Франк-Каменецкий	Сезонная зависимость проявления эффекта утреннего понижения поглощения в явлениях ПППШ	61
В.П. Урядов, В.И. Куркин, Ф.И. Выборнов, А.В. Першин, О.А. Шейнер	Результаты наблюдений частного солнечного затмения 11 августа 2018 года на сети трасс наклонного зондирования ионосферы в Евроазиатском регионе	61
И.И. Шагмуратов, М.В. Филатов, И.Е. Захаренкова, И.И. Ефишов, Н.Ю. Тепеницина	Проявления GPS-ТЕС флуктуаций и ошибок GPS позиционирования, обусловленные полярными сияниями во время аврорального возмущения 27 сентября 2019 года	62
О.А. Шейнер, Ф.И. Выборнов	О роли солнечных корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра в динамике характеристик ионосферы	62

## SESSION 6. LOW ATMOSPHERE, OZONE

N.V. Bakhmeti'eva, Y.Y. Kulikov, V.L. Frolov	Mesospheric ozone in artificial modification of lower ionosphere	63
A.V. Karagodin, E.V. Rozanov, E.A. Mareev, I.A. Mironova, E.M. Volodin, K.S. Golubenko	The representation of ionospheric potential in the global chemistry-climate model SOCOL	63
A.S. Kirillov, R. Werner, V. Guineva	The simulation of vibrational populations of electronically excited N <sub>2</sub> and O <sub>2</sub> in the middle atmosphere of the Earth during precipitations of high-energetic particles	64
Y.Y. Kulikov, A.F. Andriyanov, V.I. Demin, V.M. Demkin, A.S. Kirillov, V.G. Ryskin, V.A. Shishaev	Results of microwave monitoring of the middle atmosphere ozone in polar latitudes for two winter seasons 2017-2018 and 2018-2019	64
V.C. Roldugin, A.V. Roldugin	High altitude polar stratospheric clouds at Lovozero in 2020	65
E.A. Shirokova, A.G. Razuvaev, A.V. Mayorov, B. Aradi, T. Frauenheim, S.K. Ignatov	Neutral water clusters in the Earth's atmosphere: The effect of orientational isomerism on their concentrations and thermodynamic parameters	65
S.V. Veretenenko	Influence of powerful solar proton events on intensity of the stratospheric polar vortex	66
R. Werner, B. Petkov, D. Valev, V. Guineva, A. Atanassov, D. Danov, A. Kirillov	UVI forecast over Bulgaria – First results	66
В.И. Демин, Б.В. Иванов	Восстановление длинных рядов температуры воздуха на архипелаге Шпицберген	66
В.И. Демин, Б.В. Козелов	Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген)	67
А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский	Исследование процессов образования электронно-возбужденных молекул N <sub>2</sub> и O <sub>2</sub> в атмосфере Земли во время высыпания высокоэнергичных электронов	67
Б.В. Козелов, В.И. Демин	Влияние микроклимата на температуру искусственных поверхностей	67
А.В. Лосев, В.И. Демин, Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин, А.А. Галкин	Особенности стратосферной циркуляции зимой 2019/20 г. в поле температуры воздуха и озона	68
И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, Е.А. Федотова	Учет нарушения локального термодинамического равновесия в верхней атмосфере Земли в колебательных полосах CO <sub>2</sub> в радиационном блоке модели общей циркуляции атмосферы Земли	68

## SESSION 7. HELIOBIOSPHERE

N.K. Belisheva	Phenomenology and analysis of the possible causes of the association of the population incidence dynamics with variations of geocosmic agents	69
P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva, E.Y. Zhurina	Physiological responses in plants followed the background EMF vector potential change	69
P.A. Kashulin, N.V. Kalacheva, E.Y. Zhurina, O.I. Shumilov, E.A. Kasatkina, V.K. Zhirov	Environment and long-term dynamics of northern flora photosynthetic competence for the current solar cycle since maximal to low activity years	70
O.I. Shumilov, E.A. Kasatkina, D.B. Denisov	Diatom shift in Lake Rabbvatn (Northern Norway): Response to climate and solar variability?	71
O.I. Shumilov, E.A. Kasatkina, D.V. Makarov	Possible role of cosmophysical factors in rockbursts and earthquake occurrence	71
N.L. Solovievskaya, N.K. Belisheva	Prospects for the use of Gas-Discharge Visualization (GDV method) for assessing the impact of Geocosmic Agents on the human body	71
G.N. Zvereva, I.Yu. Kirtsideli	Features of preservation at the viability of microfungi during vacuum UV exposure in the polar regions	72
Author index		73

## **Longitudinal distribution-of the westward electrojets during supersubstorms**

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

The term supersubstorms (SSS) is used for the extremely strong substorms with intensity higher 1500-2000 nT, i.e. an order of magnitude more the greatest values of the Dst index. The SSSs are mainly observed during magnetic storms caused by magnetic clouds (MC) and in the SHEATH plasma compression regions ahead of MCs. Here we analyzed the appearance of SSSs observed during the strong magnetic storms on 7-8 September 2017, 25-26 August 2018 and 24 November 2011. For this purpose, we used data from magnetometers of the SuperMAG global network, the Scandinavian IMAGE magnetometers network and the magnetic station in Lovozero, and the maps of the distribution of ionospheric equivalent electric currents obtained by the MIRACLE system and global maps of the magnetic field vectors calculated by SuperMAG data. The analyze showed, that SSSs were characterized by the development of strong geomagnetic disturbances at the auroral latitudes (~2000-3000 nT) and simultaneously the appearance of small magnetic bays (~400-1000 nT) observed at the polar latitudes. We supposed that daytime polar bays observed simultaneously with SSS events may be caused by the westward electrojet expansion to the day side of the high latitude region. Thus, it was revealed that during SSS, the westward electrojet usually developed on a global scale, from the evening side to the day side.

The work of A.V. Roldugin was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## **Westward propagation of substorm by THEMIS and ground-based observations**

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

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The spatial-temporal dynamic of the substorm was analyzed by data of large observational complex: magnetometers data by the IMAGE network and by the longitudinal chain of the Russian auroral stations, the auroras dynamics in Apatity and data of THEMIS satellites. During the interval under study the THEMIS-E and THEMIS-D satellites were located in the midnight sector of the magnetosphere at  $r \sim 8.5-10.3 R_E$  and then passed over Siberia toward to Kola Peninsula. We show that the substorm onset in the magnetosphere was in the region between the THE and THD satellites, and, according ground-based observations, it was projected to near Amderma station. Despite a rare observational network in Siberia, the substorm intensification was possible to trace from the point of the origin at the longitude  $\sim 50^\circ E$  to the Scandinavia region at the longitude  $\sim 30^\circ E$ . Our estimations of the propagation velocities of the westward traveling surge (WTS) and so-called "auroral horn" (the arc ahead WTS) confirmed the values, obtained in the previous works. The occurrence of several precursors of substorm in auroras (first small, localized auroral arc; so-called "beads" structure in the auroras and the "auroral horn") manifestates the propagation of the disturbances from the onset region to the West. It is shown also, that the fronts of dipolarization (DF) and injection of energetic electrons in the magnetosphere accompanied by activations.

The work of A.R. was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No.19-52-50025 YaF\_a).

## **Ionospheric response to intense geomagnetic storms and pre-storms**

R.F. Oloruntola<sup>1</sup>, A.K. Ogundele<sup>2</sup>, A.F. Akinfoyeku<sup>1</sup>, S.M.A. Shittu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Physics unit, Science Laboratory Technology Department, Federal College of Animal Health and Production Technology, Moor Plantation, Ibadan, Oyo State Nigeria*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Faculty of Pure and Applied Science, Southwestern University Nigeria Okunowa, Ogun State, Nigeria*

In this study, the investigation of the ionospheric response to the geomagnetic and interplanetary, pre-storm and storm phenomena is concerned with variation in  $foF2$  during Oct. 19-23, 2001 covering the three phases of the storm. The storm was chosen on the criteria of its intensity and also it is a double step storm. Analysis of the changes in  $foF2$  was conducted using a normalized deviation of critical frequency ( $\delta(foF2)$ ) on the ionosphere of 3 low and 6 mid-latitude stations from 3 sectors of the earth ionosphere. Analysis of a vertical error bar on  $\delta(foF2)$  was also used to investigate the vivid effect of positive and negative storm on the aforementioned parts of the ionosphere. The upper error bar represents the positive storm while the lower error bar presents the negative storm. The result of the study showed that the enormity of  $Bz$  turning into southward from northward direction and the variation in  $F2$  layer parameter at the time of geomagnetic storm strongly depends on the intensity of the storm. There was no significant difference between the ionospheric  $F2$  response of low and middle latitude ionosphere any newly burst of storm activity is associated with a newly generated disturbance at the ionospheric  $F2$  layer of the ionosonde stations. The pre-storm period was preceded by intense positive and negative ionospheric storms. Furthermore, the variations in ionospheric  $F2$  in the pre-storm period suggest the impending large ionospheric disturbances at the main phase and increase ionospheric variation exceeding the main phase signified the storm recovery. Also, the record intense ionospheric storm was recorded at the initial phase despite the low geomagnetic storm activity in the period. Correspondingly, the error bar showed clearly the contribution of both negative and positive storm to the stations along the same narrow longitude.

**Keywords:** Ionospheric response, geomagnetic storms, pre-storm, Ionospheric  $F2$ .

## **SAR arc at 68° geomagnetic (71° geographic) North for Kp = 0+**

S. Oyama<sup>1,2,3</sup>, A. Aikio<sup>2</sup>, H. Vanhamäki<sup>2</sup>, A. Shinbori<sup>1</sup>, M. Rietveld<sup>5</sup>, Y. Ogawa<sup>3</sup>, M. Kellinsalmi<sup>4</sup>, T. Raita<sup>2</sup>, K. Shiokawa<sup>1</sup>, I. Virtanen<sup>2</sup>, L. Cai<sup>6</sup>, A. Workayehu<sup>2</sup>, M. Pedersen<sup>2</sup>, K. Kauristie<sup>4</sup>, B. Kozelov<sup>7</sup>, A. Demekhov<sup>7</sup>

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

<sup>2</sup>*Space Physics and Astronomy Research Unit, University of Oulu, Finland*

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

<sup>4</sup>*Finnish Meteorological Institute, Finland*

<sup>5</sup>*EISCAT, Norway*

<sup>6</sup>*KTH Royal Institute of Technology, Sweden*

<sup>7</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

Stable Auroral Red (SAR) arc has been studied for more than half century since its academic discovery in Southern France in 1958 as one of the typical optical features occasionally seen at subauroral latitudes. Generation mechanism of the SAR arc is related to storm-time interactions at the overlapped region between the plasmasphere and the ring current. Thus most events have been found out of the auroral oval such as ~60 deg in geomagnetic latitude. In this study, however, we will present a SAR arc event at 68 deg geomagnetic (71 deg geographic) north in the Scandinavian sector during period of geomagnetically quiet condition of Kp = 0+. The SAR arc, which was captured with cameras (630 nm) at Abisko and Kirpisjärvi, appeared coinciding with a pseudo substorm onset at 71-72 deg geomag. N and rapid equatorward expansion of the polar cap potential estimated with the SuperDARN. However, the SAR arc disappeared in about 7 minutes along with a sudden shrinking of the polar cap potential. Conjunction measurement with the Swarm A/C suggests that the SAR arc was located at poleward slope of the ionospheric trough or slightly its outside. These experimental evidences suggest that, in the early stage of this SAR arc generation, the magnetosphere compressed the ring current region inward, resulting in a contact of the ring current region to the plasmasphere but expansion of the polar cap potential was too short to coalescent the ring-current hot ions and plasmaspheric electrons at the plasmopause, which corresponds to the trough minimum in the ionosphere.

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

M.A. Evdokimova, A.A. Petrukovich

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

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

## **Substorm growth phase: the role of azimuthal convection in development of magnetotail current sheet with local Bz minimum**

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

*Saint-Petersburg State University, evgeny.i.gordeev@spbu.ru*

Recent development of the growth phase concept revealed an exceptional role of azimuthal convection in redistribution of magnetic fluxes in the near and middle magnetotail. It is became obvious that traditional 2D models based on quasy-adiabatic plasma sheet compression by an open magnetic flux from the tail lobes cannot adequately describe the evolution of magnetic and plasma configuration in the course of growth phase. In the frame of the new concept we use the results of global MHD simulation to explore how the interplay between azimuthal convection in the near tail and earthward convection in the middle tail can lead to formation of CS with the tailward Bz gradient.

The work is supported by RFBR according to the research project 19-05-00257.

## **Pc5/Pi3 pulsations and geomagnetically induced currents**

Ya.A. Sakharov<sup>1</sup>, N.V. Yagova<sup>2,3</sup>, V.A. Pilipenko<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (IPE RAS)*

<sup>3</sup>*The Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (GC RAS)*

Geomagnetically induced currents (GIC) registered at the VKH station are analyzed during the intervals of Pc5/Pi3 activity at IMAGE network during the year 2015, near the maximum of 24-th Solar cycle. It is shown that geomagnetic pulsations, developing at recovery phase of geomagnetic storms and at non-storm intervals lead to long-lasting intervals of potentially dangerous GICs. Interdependence of GIC and pulsation parameters are analyzed under different space weather conditions, including the influence of pulsations' spectra, polarization, and spatial distribution.

The study is supported by RSF, grant #16-17-00121.

## **Observations of aurorae over the Kola Peninsula**

O.I. Yagodkina, V.G. Vorobjev, A.V. Roldugin

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

Observations of aurorae realized by the Polar Geophysical Institute on the Kola Peninsula, and a brief description of methods of primary processing of observations, and ways to produce information are presented. Results of the primary processing of observations in the Lovozero observatory, located in the central part of the Kola Peninsula, were used to study the diurnal distribution of aurora appearance. It is shown that in the years of solar activity maximum (2000-2002), aurorae are most likely registered in the interval from 21:30 MLT to 03:30 MLT with a maximum in 00:30-01:30 MLT. Histograms of the probability of aurorae observations in different parts of the Kola Peninsula during the years of both maximum (2000-2002) and minimum (2007-2009) solar activity depending on the local K-index of magnetic activity are constructed. The obtained results can be used to select the time intervals and the level of magnetic activity of the most favorable for the observation of aurorae in different areas of the Kola Peninsula.

The work of A.V. Roldugin was done in the frame of a grant RFBR 19-52-50025 ЯФ-а.

## **Вклад суббуревых возмущений в рост геомагнитно-индуцированных токов, регистрируемых в линиях электропередач**

В.Б. Белаховский<sup>1</sup>, В.А. Пилипенко<sup>2</sup>, Я.А. Сахаров<sup>1</sup>, В.Н. Селиванов<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Центр физико-технической проблем энергетики Севера КНЦ РАН, г. Апатиты

В данной работе произведена оценка вклада суббуревых геомагнитных возмущений в рост геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), регистрируемых в линиях электропередач на Кольском полуострове и в Карелии, во время магнитных бурь. Система регистрации ГИТ создана Полярным геофизическим институтом совместно с ЦФТПЭС КНЦ РАН и является единственной в России. Для регистрации геомагнитных возмущений использованы данные магнитометров IMAGE. Показано, что рост ГИТ определяется суммарным вкладом как вихревых токовых систем, так и аврорального электроджета. В отдельных случаях может преобладать вклад аврорального электроджета, в других случаях – вклад вихревых токовых систем. Різ пульсации на фоне суббури с вихревой структурой ионосферных токовых систем способны приводить к дополнительному росту величины ГИТ. Поэтому генерация интенсивных ГИТ в значительной степени связана не с глобальными геомагнитными возмущениями большой амплитуды, а с локальными быстрыми вариациями сравнительно небольшой амплитуды, наложенными на глобальные возмущения.

Работа Я.А. Сахарова поддержана грантом РФФИ р-а № 17-48-510199.

## **Различия в динамике индекса ASY-H в интервалы магнитных бурь, инициированных разными типами солнечного ветра**

Л.А. Дремухина<sup>1</sup>, Ю.И. Ермолаев<sup>2</sup>, И.Г. Лодкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия; e-mail: dremukh@izmiran.ru

<sup>2</sup>ИКИ РАН, г. Москва, Россия

В работе проведен анализ динамики индекса ASY-H в интервалы магнитных бурь, инициированных разными межпланетными источниками: областями сжатия во взаимодействующих разно-скоростных потоках CIR; межпланетными СМЕ, включающими магнитные облака MC и «поршни» Ejecta; областями сжатия Sheath перед межпланетными СМЕ. Идентификация межпланетного источника проводилась на основе Каталога



крупномасштабных структур солнечного ветра (сайт <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/>). Для анализа были отобраны 58 интенсивных магнитных бурь с  $-270 \leq Dst_{min} \leq -90$ , зарегистрированных за период 1995-2017 гг., с однозначно определенным источником в солнечном ветре. Использовались среднечасовые значения индексов *ASY-H* и *SYM-H*, полученные усреднением 5-минутных данных, и индекса *Dst*, представленные в базе данных OMNI. К данным по выбранным бурям был применен двойной метод наложенных эпох с опорными моментами в часы начала резкого понижения *Dst* и достижения  $Dst_{min}$ , что позволило анализировать средние характеристики магнитных бурь с разными длительностями главных фаз. Проведенный анализ показал, что для всех групп магнитных бурь максимальные значения индексов *SYM-H* и *Dst* наступают одновременно и близки по амплитуде. Значения *ASY-H* достигают максимальных значений, в среднем, на 1-3 часа раньше момента  $Dst_{min}$  в интервалы Sheath- и MC-бурь, в то время как для CIR- и Ejecta-бурь эти моменты совпадают. Для магнитных бурь, инициированных областями Sheath, значения индекса *ASY-H*, в среднем, на 40% выше, чем для бурь трех остальных групп.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 19-02-00177а.

### **Мониторинг воздействия электромагнитных сигналов природного происхождения на энергосистемы Кольского полуострова**

Б.В. Ефимов<sup>1</sup>, В.Н. Селиванов<sup>1</sup>, Я.А. Сахаров<sup>2</sup>, В.А. Билин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Мурманск, Россия; e-mail: sakharov@pgia.ru*

Внешние электромагнитные воздействия на проводные коммуникации в высоких широтах создаются, в первую очередь, геомагнитно-индуцированными токами и разрядами молний. Эти явления представляют значительную опасность для высоковольтной сети и способны вызвать нарушения работы систем защиты и автоматики, а также повреждения электрооборудования. В настоящее время в России нет единой системы мониторинга электромагнитных воздействий природного происхождения на высоковольтные электрические сети. Единственная в стране система регистрации геоиндуцированных токов в магистральных электрических сетях создана на Кольском полуострове силами ПГИ и ФИЦ КНЦ РАН. В 2019 г. нами также начато развитие региональной сети грозопеленгации, основанной на международном проекте Blitzortung. Установлены шесть детекторов молний на территории Мурманской области. Выполнен анализ грозовой активности на Кольском полуострове в 2019 г., выявивший наиболее часто поражаемые участки энергосистемы. В тесном взаимодействии с электросетевыми предприятиями локализованы места повреждения молниями воздушных линий, что позволило значительно снизить расходы на восстановление электроснабжения потребителей. Сформулированы направления развития и расширения сети грозопеленгации для увеличения точности и эффективности обнаружения ударов молний в наземные проводные коммуникации (воздушные линии электропередачи, связи и контактной сети железных дорог).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Мурманской области (проект № 17-48-510199 p\_север\_a).

### **Автоматический метод диагностики границ авроральных овалов в двух полушариях на основе техники инверсии магнитограмм**

Ю.В. Пенских, С.Б. Лунюшкин

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

Разработан новый наземный метод автоматической диагностики основных границ аврорального овала по выходным данным техники инверсии магнитограмм (ТИМ) мировой сети магнитных обсерваторий обоих полушарий Земли. На основе карт распределений эквивалентной токовой функции и плотности продольных токов, рассчитанных на первом этапе ТИМ в приближении однородной проводимости полярной ионосферы, определяются следующие параметры аврорального овала: граница полярной шапки, граница обращения

## *Geomagnetic storms and substorms*

ионосферной конвекции, экваториальная граница овала и линия максимумов плотности токов Холла западной и восточной авроральных электроструй.

Указанные границы аврорального овала ранее определялись визуально-ручным методом: анализом карт продольных и эквивалентных токов на экране монитора и проведением заданных границ в специальной программе с помощью мыши – это занимало очень много времени (недели и месяцы). Сравнение границ, полученных старым ручным и новым автоматическим методами, показало, что коэффициент корреляции между двумя границами составляет в среднем 0.77 по двум полушариям, а среднеквадратичное отклонение не превышает двух градусов по широте. Обеспечивая достаточную точность определения границ, автоматический метод сокращает время обработки необходимых объемов данных на 2–3 порядка (до минут и часов), освобождая исследователя от трудоёмкой визуальной работы. Новый наземный автоматический метод одновременной диагностики основных границ авроральных овалов в полярных ионосферах двух полушарий Земли реализован как один из важнейших блоков в модернизированном комплексе программ ТИМ.

Новый метод успешно апробирован в обоих полушариях Земли на среднестатистических картах токовой функции и продольных токов для разных уровней геомагнитной активности, а также на мгновенных картах в ходе избранной изолированной суббури. Полученные в методе ТИМ границы аврорального овала качественно соответствуют одновременным снимкам овала полярных сияний со спутника IMAGE, а граница обращения ионосферной конвекции – картам электрического потенциала ионосферы по модели SuperDARN-RG90.

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

## **Нужны ли новые геомагнитные индексы?**

В.А. Пилипенко<sup>1,2</sup>, А.В. Воробьев<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли РАН, Москва; e-mail: pilipenko\_va@mail.ru

<sup>2</sup>Геофизический Центр РАН, Москва

<sup>3</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

Геоэффективность космической погоды, как правило, характеризуется геомагнитными индексами. Однако существующие планетарные индексы рассчитываются по выбранной сети станций, которые распределены по поверхности Земли крайне неравномерно. Предложено ввести в исследования по космической погоде новые региональные геомагнитные индексы, характеризующие среднечасовые значения возмущения геомагнитного поля и его вариабельности (т.е.  $dB/dt$ ) в российском секторе на авроральных широтах. Индексы рассчитываются по данным российских магнитных станций. Проведено сравнение региональных индексов со стандартными планетарными индексами *Dst*, *AE*, *PC*, *ULF* во время сильнейших магнитных бурь 2015 г. Рассмотренные события показывают, что использование планетарных индексов для оценки региональных возмущений космической погоды может привести к ложным выводам. В свободный доступ выложена база данных рассчитанных индексов за 2003-2018 гг. для апробации.

## **Триангуляционные измерения высоты локальных неоднородностей в авроральных дугах перед началом суббури**

В.В. Сафаргалеев, В.Н. Митрофанов

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

E-mail: Vladimir.Safargaleev@pgia.ru; valmetr@yandex.ru

Представлены предварительные результаты исследования динамики авроральных дуг в период, предвещающий развитие суббури. По данным двух камер японского Национального Института Полярных Исследований, установленных в пунктах Кируна и Чаучас на севере Швеции, оценивалась высота локальных неоднородностей в процессе изменения интенсивности их свечения. Высота определялась методом триангуляции. Проанализированы две различных ситуации: появление яркого пятна в существующей дуге в процессе формирования складки и появление новой дуги в виде цепочки пятен

(*beading*-структура). По литературным источникам, эти авроральные особенности рассматриваются как предвестники суббури. В ходе исследований заметных изменений высоты свечения не обнаружено. Делается предположение, что локальная интенсификация свечения в дуге обусловлена волновой активностью в области генерации и не сопровождается ускорением частиц. Результат важен для понимания механизма запуска суббури.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 19-52-50025 ЯФ-а.

### **Связь формирования внешнего радиационного пояса во время геомагнитных бурь с адиабатическим механизмом падения и возрастания потоков релятивистских электронов**

Н.В. Сотников<sup>1</sup>, Е.Е. Антонова<sup>1,2</sup>, И.Л. Овчинников<sup>2</sup>, В.Г. Воробьев<sup>3</sup>,  
О.И. Ягодкина<sup>3</sup>, М.С. Пулинец<sup>2</sup>, С.С. Знаткова<sup>2</sup>, С.К. Мить<sup>2</sup>, П.С. Казарян<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт космических исследований РАН*

<sup>3</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт»*

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

Характерной особенностью динамики внешнего радиационного пояса во время магнитных бурь является падение на порядки величины потоков релятивистских электронов. При анализе такого падения обычно рассматриваются высыпания в конус потерь в результате взаимодействия волна-частица и уход частиц через магнитопаузу в результате искажения магнитного поля. Данный подход не позволяет объяснить существование магнитных бурь, при которых потоки релятивистских электронов восстанавливаются после бури до предбурового уровня.

Развитие кольцевого тока приводит к уменьшению магнитного поля в экваториальной плоскости. Поэтому падение потоков частиц при сохранении адиабатических инвариантов (*Dst* эффект) обусловлен адиабатическим замедлением за счет изменения поля в экваториальной плоскости и уходом частиц на большие геоцентрические расстояния для сохранения третьего инварианта. При рассмотрении динамики внешнего пояса необходимо учитывать, как эффекты взаимодействия волна-частица, так и *Dst* эффект, что не удастся сделать в рамках разработанных моделей формирования пояса, использующих модели магнитного поля с фиксированной геометрией токовых систем. Такие модели не учитывают последние результаты, в соответствии с которыми основная часть аврорального овала проецируется не на плазменный слой, а на внешнюю часть кольцевого тока, а граница захвата электронов внешнего пояса локализована внутри аврорального овала.

Результаты анализа динамики внешнего пояса во время ряда магнитных бурь с использованием данных наблюдений отечественного проекта *METEOR* и миссии *RBSP/Van Allen Probes* приводят к существенной модификации сложившихся представлений. Показано, что во время бури полярная граница аврорального овала в ряде пролетов спутника *METEOR-M* № 2 совпадает с границей захвата энергичных электронов. Анализ изменений наклонов спектров вблизи максимума пояса во время главной фазы бури продемонстрировал доминирующую роль *Dst* эффекта в падении потоков релятивистских электронов. Обсуждается необходимость пересмотра процессов ускорения релятивистских электронов с учетом адиабатического эффекта и авроральной активности в области внешнего пояса во время магнитных бурь.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-05-00362.

## **Superthin current sheets supported by anisotropic electrons**

S.R. Kamaletdinov<sup>1,2</sup>, E.V. Yushkov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>, A.S. Lukin<sup>1,4</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

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

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

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

<sup>4</sup>*Faculty of Physics, National Research University, Higher School of Economics, Moscow, Russia*

The field-aligned electron anisotropy is usually observed in the Earth's magnetotail current sheet. This anisotropy is carried by subthermal electron population that may contribute significantly to the current density generation around the equatorial plane where magnetic field lines are very stretched and magnetic curvature radius drops to few hundreds km. In this presentation we discuss the simple 1D current sheet model that accounts for such field-aligned electron anisotropy. Using observed (not Maxwellian) electron energy distributions, we calculate electron currents generated by anisotropic electron population. This population forms quite narrow current layer around equatorial plane. We also compare theoretical estimates with the MMS observations.

## **Comparison between the high energy electron precipitations in Murmansk and Moscow regions according to the regular balloon monitoring of cosmic rays**

M.B. Krainev<sup>1</sup>, G.A. Bazilevskaya<sup>1</sup>, B.B. Gvozdevsky<sup>2</sup>, A.S. Dyussebekova<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>*L.N. Gumilev Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

The regular balloon monitoring (RBM) of cosmic rays in the Earth's atmosphere provides one of the longest homogeneous time series not only on the galactic cosmic ray intensity but also, recording of X-ray radiation generated in the atmosphere by precipitating magnetospheric electrons with energies above ~300 keV, i.e., on the high energy electron precipitations (HEEPs). Up to now only the HEEPS from the high-latitude boundary of the Outer Electron Belt recorded in Murmansk region (now in Apatity) have been put in catalogue (see *Makhmutov V.S., Bazilevskaya G.A., Stozhkov Yu.I. et al.*, J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., 2016, V. 149, P. 258) and studied. However, there are many HEEP-like cases recorded also in Dolgoprudny (Moscow region), which position corresponds to the gap between the Inner and Outer Belts (L~2.5?).

In the talk we compare characteristic features of the HEEP-like cases recorded in RBM experiment in Murmansk and Moscow regions in 2015-2019: their season and solar cycle distributions, position in the flight, correspondence to the geomagnetic disturbances etc.

This work was supported in part by RFBR grant No. 18-02-00582a.

## **Solar wind kinetic pressure influence on the plasma pressure in dayside precipitation regions**

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

Ion pressure in different dayside precipitation regions was studied for dependence on IMF  $B_z$  component and solar wind dynamic pressure ( $P_{sw}$ ). For the aim of our investigation DMSP F6 and F7 spacecraft observations during periods of magnetic quietness ( $AL > -200$  nT) for whole 1986 were used. The average ion pressure in the plasma mantle was found to be  $P_{mant} = 0.02 \pm 0.01$  nPa, which doesn't depend on neither IMF  $B_z$  nor  $P_{sw}$ . It was discovered that cusp pressure  $P_{cusp}$  was near to 1.0 nPa and it in common with  $P_{mant}$  doesn't depend on  $B_z$  and under northward IMF on  $P_{sw}$ . However, under southward IMF the pronounced enhancement of  $P_{cusp}$  with the increasing in  $P_{sw}$  was observed from about 0.6 nPa during  $P_{sw} = 1.5$  nPa up to about 1.7 nPa during  $P_{sw} = 6.0$  nPa. The ion pressure in the

region identified as the LLBL likewise to more high latitude regions mantle and cusp doesn't depend on interplanetary  $B_z$ , while  $P_{sw}$  substantially affected the LLBL pressure. In the noon hours (11:00-13:00 MLT) the  $P_{LLBL}$  pressure changed from about 0.2 to 0.6 nPa along with  $P_{sw}$  increasing from 1.0 to 6.0 nPa. The longitudinal profile of  $P_{LLBL}$  shows the local hump of pressure near magnetic noon. This striking effect becomes most pronounced under high level of solar wind dynamic pressure: when  $P_{sw}=6.0$  nPa the average LLBL pressure was about 0.6 nPa near 12:00 MLT whereas only 0.3 nPa in the neighbor 10:00-11:00 MLT and 13:00-14:00 MLT. The average ion pressure in the region of structured auroral oval precipitation (AOP) was estimated to be 0.2 nPa and changed from about 0.08 nPa to 0.25 nPa with  $P_{sw}$  increasing from 1.0 to 6.0 nPa. The level of  $P_{AOP}$  slightly increased from noon toward both 08:00 MLT and 16:00 MLT under high solar wind dynamic pressure. The isobar of  $P_{AOP}=0.2$  nPa is closed in the ionosphere through the poleward part of nighttime AOP.

The work of E.E. Antonova in this project is supported by the RFBR grant No 18-05-00362.

## **Исследование распространения электромагнитных волн КНЧ-диапазона в высокоширотных районах Западно-Арктической континентальной окраины по результатам эксперимента FENICS-2019**

В.А. Любич, А.В. Роскуляк

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

В докладе рассмотрены результаты экспериментальных измерений электромагнитного поля от контролируемого источника на полуостровах Рыбачий и Средний, проведенных в рамках проекта FENICS-2019 по электромагнитному зондированию земной коры Балтийского щита с использованием промышленных ЛЭП. Район полуостровов Рыбачий и Средний относится к Западно-Арктической континентальной окраине и представляет собой зону перехода от кристаллического архейского Балтийского щита к породам осадочного чехла южной окраины Баренцевской плиты. Исследование геологической структуры осадочного чехла переходной зоны вызывает интерес с точки зрения выявления закономерностей изменения глубинного строения литосферы, построения геодинамических реконструкций эволюции региона и моделирования процессов, ответственных за формирование углеводородного и минералогического потенциала исследуемого сегмента Арктического шельфа. По результатам выполненных измерений электромагнитного поля от мощного контролируемого источника были построены геоэлектрические разрезы для верхней части земной коры полуостровов Рыбачий и Средний. Полученные результаты хорошо согласуются с имеющейся геолого-геофизической информацией о строении литосферы исследуемой переходной зоны.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Мурманской области (проект № 17-45-510956 p\_a).

## **Система уравнений Максвелла для плазмы в приближении квазинейтральности**

О.В. Мингалев<sup>1</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, А.М. Мерзлый<sup>3</sup>, В.С. Мингалев<sup>1</sup>, О.В. Хабарова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Анапиты; e-mail: 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

<sup>4</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк, Россия

Получена модификация системы уравнений Максвелла для плазмы в приближении квазинейтральности, которая описывает электромагнитное поле в крупномасштабных безызлучательных процессах в космической плазме ионосферы, магнитосферы и солнечного ветра, а также схема ее замыкания системой уравнений переноса плазмы. В полученной системе уравнений происходит следующая трансформация исходной системы:

## *Fields, currents, particles in the magnetosphere*

- 1) уравнение Гаусса сохраняется;
- 2) уравнение Пуассона заменяется условием квазинейтральности и условием продольного силового равновесия электронов вдоль линий магнитного поля;
- 3) уравнение Фарадея сохраняется, но для расчета соленоидальной части электрического поля используется вытекающее из него и из уравнения Ампера уравнение для двойного ротора электрического поля, в котором частная производная по времени от плотности тока выражается из обобщенного закона Ома через поля, а также концентрацию, плотность тока, тензор давления и их пространственные производные каждой компоненты плазмы.

Рассмотрено замыкание полученной системы уравнений для 6-ти наиболее актуальных вариантов системы уравнений переноса плазмы, и получены соответствующие замкнутые системы уравнений, в каждой из которых для определения полей получается система уравнений эллиптического типа, не содержащая частных производных по времени и определяющая поля по текущему пространственному распределению гидродинамических параметров плазмы и граничным условиям в рамках мгновенного дальнего действия. Такой подход позволяет разрабатывать глобальные полностью самосогласованные численные модели ионосферы и магнитосферы с физически корректным описанием электрического поля. Также он позволяет разрабатывать модели крупномасштабных процессов в магнитосфере и солнечном ветре с пространственным разрешением на уровне гирорадиуса тепловых ионов.

Работа Х.В. Маловой и О.В. Хабаровой поддержана грантом РФФИ 19-02-00957.

## **Силовой баланс в токовых слоях в плазме из протонов и замагниченных электронов**

О.В. Мингалев<sup>1</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, П.В. Сецко<sup>1</sup>,  
М.Н. Мельник<sup>1</sup>, А.В. Артемьев<sup>3</sup>, О.В. Хабарова<sup>4</sup>, Л.М. Зелёный<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Апатиты; e-mail: 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

<sup>4</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Москва, Россия

Для бесстолкновительной плазмы, состоящей из протонов и замагниченных электронов получена новая форма уравнения силового баланса протонов, в которой электрическое поле выражено через магнитное поле и дивергенцию тензора давления электронов. Последнее уравнение необходимо для правильной постановки граничных условий в моделях токовых слоев и для контроля силового баланса в этих моделях. Из этих уравнений впервые получена общая форма уравнения силового баланса в стационарном пространственно одномерном токовом слое с учетом анизотропии давления электронов. Это уравнение имеет важное значение для моделей стационарных токовых слоев. Также приведены результаты применения полученного уравнения в численных моделях стационарных тонких токовых слоев.

Работа Х.В. Маловой и О.В. Хабаровой поддержана грантом РФФИ 19-02-00957.

## **Observations of auroras and low-frequency electromagnetic waves at Kola Peninsula and Scandinavia during Arase/ERG flybys**

A.G. Demekhov<sup>1,2</sup>, B.V. Kozelov<sup>1</sup>, T.A. Popova<sup>1</sup>, A.G. Yahnin<sup>1</sup>, A.S. Nikitenko<sup>1</sup>,  
Yu.V. Fedorenko<sup>1</sup>, A.V. Roldugin<sup>1</sup>, E.E. Titova<sup>1</sup>, J. Manninen<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Novgorod, Russia*

<sup>3</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

We present results of ground-based observations of electromagnetic low-frequency waves and optical emissions performed by Polar Geophysical Institute (PGI) at Kola Peninsula and Scandinavia during conjugate flybys of ERG/Arase spacecraft. Capabilities of the instruments are discussed and example observations are shown. A catalogue of observations for various types of phenomena is briefly characterized. (1) In particular, we observe pulsating auroras and try to triangulate them in order to determine their altitude. These results can be compared with ERG data on energetic electrons. (2) Very-low frequency (VLF) measurements are performed by using wideband receiver for two horizontal magnetic field components and vertical electric field. We use such data from two locations, namely, Lovozero at Kola Peninsula and Kannuslehto in Finland that are located about 500 km from each other. We give examples of chorus and quasi-periodic VLF emissions for which the regions of their exit to the ground could be identified. (3) The third part of the catalogue contains magnetic pulsations in the Pc1 frequency range that correspond to electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves in the magnetosphere. Their possible source regions can be identified by studying energetic ion fluxes measured by low-orbiting spacecraft, and compared with ERG and Van Allen Probe data on energetic ions and EMIC waves at high altitudes.

The work of A.D., T.P., A.Ya., A.N., and A.R. was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## **Frequency dependence of VLF chorus Poynting flux in the source region: THEMIS observations and a model**

A.G. Demekhov<sup>1,2</sup>, U. Taubenschuss<sup>3</sup>, M. Hanzelka<sup>3,4</sup>, Ondrej Santolík<sup>3,4</sup>

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

<sup>2</sup>*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Novgorod, Russia*

<sup>3</sup>*Department of Space Physics, Inst. Atmospher. Phys., Czech Acad. Sci., Prague, Czechia*

<sup>4</sup>*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, Czechia*

We discuss results of observations of very-low frequency (VLF) chorus emissions detected by the THEMIS spacecraft within the source region. Using multicomponent wave data of quasi-parallel propagating chorus elements measured at some distance from the magnetic field minimum, we have found that the elements propagating equatorward had systematically higher frequencies and smaller amplitudes compared with simultaneously observed elements propagating away from the equator. This feature is revealed both in individual events and statistically. The exponential growth rates of the elements propagating in both directions had close or equal values.

We demonstrate a similar feature in the results of self-consistent simulations performed by using the backward wave oscillator equations for chorus generation. We propose a qualitative explanation of the observed feature on the basis of a spatio-temporal nonlinear evolution of the energetic electron distribution function in the course of VLF wave generation. The parallel velocities of electrons moving from the equator is decreased due to both, the adiabatic mirror force and nonlinear wave-particle interaction, which causes an increase in the wave frequency of the chorus elements generated by such electrons and propagating equatorward. The elements propagating away from the equator, are thus formed by electrons with a higher field aligned velocity component. As a result, such electrons generate waves with lower frequencies.

## **Spatial distribution of multiple temporal variations of pulsating aurora: multi-point high-speed optical observations in Scandinavia**

Y. Kawamura<sup>1</sup>, K. Hosokawa<sup>1</sup>, S. Oyama<sup>2,3,5</sup>, Y. Miyoshi<sup>2</sup>, Y. Ogawa<sup>3</sup>, S. Kurita<sup>2</sup>, R. Fuji<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*University of Electro-Communications, Japan*

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

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

<sup>4</sup>*Research Organization of Information and Systems, Japan*

<sup>5</sup>*University of Oulu, Finland*

Pulsating aurora (PsA) is a kind of diffuse aurora which almost always appears in the morning side during the recovery phase of auroral substorm. PsA typically has two distinct temporal variations. One is so-called main pulsation whose period ranges from a few to a few tens of seconds. The other is a few Hz modulation (internal modulation), which is occasionally seen during the ON phase of the main pulsation. Previous studies have suggested that the temporal variation of PsA is characterized by wave-particle interaction between whistler-mode chorus waves and high energy electrons in the magnetosphere. Especially, it has been indicated that there is one to one correspondence between the amplitude variation of chorus waves and the luminosity modulation of PsA. However, there have been no studies which analyzed the spatial distribution of multi-scale temporal variations of PsA (i.e. the main pulsation and internal modulation).

To reveal the spatial characteristics of the multi-scale temporal variation of PsA, we need to perform frequency analyses on multi-scale temporal variations of PsA by using data from high speed optical cameras capable of providing a wide spatial coverage.

For this purpose, we make use of highly sensitive EMCCD cameras, which have been in operation in Sodankylä and Kevo, Finland, Tromsø, Norway, and Tjautjas, Sweden. All-sky aurora images are taken with the temporal resolution of 0.01 sec. The temporal resolution of these cameras is sufficient to identify the multi-scale temporal variation of PsA. Note that in this study, to make the analysis easily, the images have been down-sampling to 25 Hz.

In the frequency analysis, we have employed all-sky images taken on March 14, 15, and 23, 2018. We computed the average frequency of internal modulation from each pixel of the EMCCD cameras and derived the spatial distribution of their dominant frequencies. Regardless of the magnetic latitude, the luminosity of pulsating patches was fluctuating with a similar frequency. We also derived the frequency spectrum of several pulsating patches existing at different locations in the north-south direction and found that these frequency spectrums of pulsating patches showed peaks at around 3 Hz. These results indicate that the frequency of internal modulation does not depend on latitude, and the frequency of internal modulation is highly collimated on 3 Hz.

Following the method mentioned above, we will also compute the average periodicity of the main pulsation and derive the spatial distribution of main pulsation. In this presentation, we will discuss what factor controls the multi-scale temporal variation of PsA by taking into account their latitudinal and longitudinal dependences.

## **Non-understood high-frequency “birds”-type VLF emissions**

N.G. Kleimenova<sup>1</sup>, J. Manninen<sup>2</sup>, T. Turunen<sup>2</sup>, Yu.V. Fedorenko<sup>3</sup>, A.S. Nikitenko<sup>3</sup>, L.I. Gromova<sup>4</sup>, O.M. Lebed<sup>3</sup>

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

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

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

<sup>4</sup>*IZMIRAN, Troitsk, Russia*

The whistler-mode VLF emissions play a very important role in the dynamics of the ring current electrons. A vast amount of VLF data collected at Finish station Kannuslehto (L~ 5.5) during ~50 months of the 2005-2020 registration provides the great opportunities to study many different types of VLF signals. Since 2012, the similar VLF registration has been carried out in the Russian observatory Lovozero, located at the similar L-shell about 400 km to the East. Here we present some peculiar daytime high-frequency VLF emissions observed under quiet



geomagnetic conditions. These high-frequency waves cannot be attributed to typical well known VLF chorus and hiss. They became visible on the spectrograms only after the applying the filtering out sferics originating in lightning discharges and hiding all natural high-frequency signals. After this procedure, it was found a large collection of different natural VLF signals usually observed as a sequence of right-polarized short (less than 1-2 minutes) bursts of emissions at frequencies above 5-6 kHz, i.e. at higher frequency than equatorial electron gyrofrequency at the L-shell of Kannuslehto and Lovozero. These emissions were called “birds” due to their chirped sounds. It was established that the “birds” are typically occur during the daytime only under quiet space weather conditions. However, simultaneously small or moderate magnetic substorms were often observed in the night sector of the Earth. Here we also show the recently observed series of the “bird-mode” emissions with various bizarre dynamic spectra, sometimes consisting of two (and even more) frequency bands. The simultaneous “birds-type” VLF emissions observed at Kannuslehto and Lovozero are discussed. It seems that the “birds” emissions can be generated deep inside the magnetosphere the low L-shells. But the real nature, the generation region and propagation behaviour of these VLF emissions remain still unknown. Moreover, nobody can explain how the waves could-reach the ground at the auroral latitudes like Kannuslehto and Lovozero as well as which magnetospheric driver could generate this very complicated spectral feature of the emissions.

The study by A.S. Nikitenko was partly supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## **Electron anisotropy driven by kinetic Alfvén waves in the Earth magnetotail**

A.S. Lukin<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>3,1</sup>, E.V. Panov<sup>4</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>, R. Nakamura<sup>4</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*

<sup>4</sup>*Space Research Institute of Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria*

Thermal and subthermal electron populations in the Earth’s magnetotail is usually characterized by pronounced field-aligned anisotropy that contributes to generation of strong electric currents within the magnetotail current sheet. Formation of this anisotropy requires electron field-aligned acceleration, and thus likely involves field-aligned electric fields. Such fields can be carried by various electromagnetic waves generated by fast plasma flows interacting with ambient magnetotail plasma. In this presentation we consider one of the most intense observed wave emissions, kinetic Alfvén waves, that accompany all fast plasma flows in the magnetotail.

Using two tail seasons (2018, 2019) of MMS observations we have collected statistics of 80 fast plasma flows (or BBF) events with distinctive enhancement of intensity of broadband electromagnetic waves sharing properties of kinetic Alfvén waves. We show that a direct correlation the intensity of electric fields of kinetic Alfvén waves and electron anisotropy distribution: the parallel electron anisotropy significantly increases with magnitude of the wave parallel electric field. The energy range of this electron anisotropic population is well within the range of resonant energies for observed kinetic Alfvén waves. Our results show that kinetic Alfvén waves can significantly contribute to shaping the magnetotail electron population.

## **EMIC waves and proton precipitation related to the westward drift of energetic protons in the evening sector**

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

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

<sup>2</sup>*Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

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

<sup>4</sup>*The University of Tokyo, Tokyo, Japan*

<sup>5</sup>*Nagoya University, Nagoya, Japan*

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

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

<sup>8</sup>*JAXA, Tokyo, Japan*

<sup>9</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

We consider some effects of the westward drift of protons during the interval of 16-17 UT on 1 December 2018 on the basis of data from the ERG/Arase and Van Allen Probes A and B spacecraft located at L~5-6 and MLT = 19 (ERG), MLT=20 (Van Allen Probe B), and MLT=21.7 (Van Allen Probe A). The Van Allen Probe A detected a dispersionless injection of energetic protons related to the onset of a substorm in the night sector. The proton “cloud” was subsequently detected by Van Allen Probe B and ERG as a dispersive enhancement of the energetic proton flux. We show that the proton “cloud” arrival at every spacecraft location coincides with the detection of the EMIC waves signal by those spacecraft. Pc1 pulsations having frequencies in the range of the EMIC waves observed in the magnetosphere were detected by ground stations at Kola Peninsula and in Finland during the passage of the proton cloud across the meridian of those stations. Low-orbiting POES satellites observed localized precipitation of energetic protons in the region conjugate with the EMIC wave observation region in the magnetosphere. The precipitating proton energy is in agreement with the estimates based on the cyclotron resonance condition.

This study was supported by JSPS-RFBR bilateral project (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## **The cases of weak auroras during Pc1-2 pulsations in Lovozero**

V.C. Roldugin, A.V. Roldugin

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

In the morning on 6 March 2019 the magnetic field in Lovozero was quietly, between 0h – 6h UT it changed in limits of 20 nT. The sky was clear, and no aurora was seen in usual all-sky camera. However TV-observations in 5577 emission with big exposition showed an auroral arc 300 km to the south from Lovozero. This strange aurora was accompanied by Pc1-2 pulsations in Lovozero, Kiruna, Sodankula, and also by VLF emission at 2 kHz.

The work of A.V. Roldugin was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## **Pc5 pulsation layout during SC event on 24 January 2012**

V.C. Roldugin, A.V. Roldugin

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

On 24 January 2012 during SC time and after it the Pc5 pulsations were observed in Lovozero and Scandinavian observatories. Using auroral data we make more exact location of magnetospheric shell which generates this pulsation. Some peculiarities of the Pc5 evolution are connected with geometry of the shock wave in interplanetary magnetic field.

The work of A.V. Roldugin was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## Electron holes in the Earth's magnetotail current sheet: role of magnetic field gradients and electron anisotropy

P. Shustov<sup>1,2</sup>, I. Kuzichev<sup>3</sup>, I. Vasko<sup>4,1</sup>, A. Artemyev<sup>5,1</sup>, A. Petrukovich<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>*New Jersey Institute of Technology, Newark, New Jersey*

<sup>4</sup>*Space Sciences Laboratory, University of California at Berkeley, USA*

<sup>5</sup>*Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, USA*

Electron holes are nonlinear electrostatic structures that are often observed in the vicinity of the magnetotail energy release regions, e.g. magnetic reconnection. In this work we develop 1.5D Vlasov code simulations of the electron hole dynamics in the magnetic field configuration typical of the current sheet of the Earth's magnetotail. We consider the propagation of electron holes along magnetic field lines in the inhomogeneous magnetic field of the current sheet with realistically anisotropic electron distribution function. We demonstrate that electron holes generated near the equatorial plane of the current sheet brake as they propagate toward the boundaries of the current sheets. This effect is stronger for higher magnetic field gradient and larger electron field-aligned anisotropy. These simulations demonstrate that slow electron holes observed in the plasma sheet boundary layer may appear due to that effect of electron hole braking.

## Conjugate ground-spacecraft observations of quasiperiodic VLF emissions

E.E. Titova<sup>1</sup>, A.G. Demekhov<sup>1,2</sup>, A.A. Lubchich<sup>1</sup>, J. Manninen<sup>3</sup>, D.L. Pasmanik<sup>2</sup>, A.S. Nikitenko<sup>1</sup>, A.V. Larchenko<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland*

We use multiple conjugate observations of quasiperiodic (QP) VLF emissions in space and on the ground to localize the source region of these emissions. Ground-based observations of VLF signals were carried out at ground-based stations Kannuslehto (67.74°N, 26.27°E;  $L = 5.45$ ) and Lovozero (67.98°N, 35.08°E;  $L = 4.96$ ).

More than twenty conjugate ground-spacecraft QP events were analyzed, and one-to-one correspondence between the quasiperiodic elements detected on the ground and by Van Allen Probe satellites was found in a wide range of  $L$  shells from 2 to 6. This correlation of QP elements was observed when the field-aligned projections of Van Allen Probes orbits were at a distance of up to 3000 km from the observatories, both eastward and westward.

Since these VLF waves are believed to be generated by the cyclotron instability, their source should be in the equatorial region, and the growth rate maximum of whistler waves propagating along the magnetic field. Therefore, along the satellite trajectories, we identified the areas where: (a) the Poynting vector of QP emissions was directed away from the equator, (b) the angle between the wave vector and the magnetic field was low ( $<20^\circ$ ), and (c) the growth rate band matched the QP emission band. These regions formed a small part of the trajectories where the QP emissions were observed. They have radial dimensions  $\Delta L \approx 0.1 - 0.3$  and were located at  $L = 4-6$ . We assume that these small areas may correspond to the satellite passing through the regions of QP emission generation regions.

In some cases, these localized regions of possible sources of QP emissions were associated with localized plasma density enhancements, which are able to guide the VLF waves in the magnetosphere and to ensure their exit to the Earth-ionosphere waveguide. The directions of wave propagation determined at the ground-based stations are used to localize the areas of their sources in the magnetosphere.

This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 19-02-00179.

## **Large-amplitude Alfvén waves in the solar wind: ion kinetic effects**

M.B. Volkov<sup>1,2</sup>, E.V. Yushkov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>, A.S. Lukin<sup>1,4</sup>, P.I. Shustov<sup>1,4</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

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

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

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

<sup>4</sup>*Faculty of Physics, National Research University, Higher School of Economics, Moscow, Russia*

Large amplitude Alfvén waves contribute significantly to the spectrum of magnetic field fluctuations in the solar wind. These waves are believed to be responsible for solar wind turbulent heating at large scale. Previous investigations demonstrated that Alfvén wave magnetic field variations (often estimated in an amplitude of Alfvén speed oscillations in the solar wind) well exceed variations of the plasma speed, what indicates on internal instability of the wave configuration. In this presentation we consider possible sources of the observed difference between magnetic field and plasma energies (amplitude of fluctuations of Alfvén and plasma speeds) of Alfvén waves in the solar wind. We suggest that the effect of a finite ion gyroradius and the corresponding plasma pressure anisotropy should be taken into account to decrease the Alfvén speed variations, what should results in stable Alfvén wave structure.

## **Spectral parameters of high latitude Pi3 pulsations, ULF index in two hemispheres and space weather**

N.V. Yagova, O.V. Kozyreva, V.A. Pilipenko

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

Original ULF index was suggested (Kozyreva et al., 2007) for Pc5 frequency range and verified for auroral latitudes in the Northern hemisphere. Typical for polar caps ULF are broadband and their frequencies are somewhat lower (1–4 mHz), than for classical auroral Pc5s. They are denoted as Pi3cap pulsation (Yagova et al., 2004). Their spectral parameters depend on magnetic local time and latitude and they can demonstrate a precursor behavior before substorms without evident external trigger (Yagova et al., 2010, 2017). However, Pi3 properties in polar caps under different space weather conditions are not known in details. The present study is aimed on systematic study of Pi3 polar cap properties in dependence of space weather conditions. For that, the ULF index is modified for the southern hemisphere. The behavior of the index under different variants of boundaries in magnetic latitudes and MLT is studied and an optimal choice is found. Spectral slope, quality factor, and higher moments of spectral distribution of polar cap Pi3s in two hemispheres are analyzed for different space weather conditions.

Kozyreva O., V. Pilipenko, M.J. Engebretson, K. Yumoto, J. Watermann, N. Romanova, In search of a new ULF wave index: Comparison of Pc5 power with dynamics of geostationary relativistic electrons, *Planetary Space Science*, 55, N6, 755-769, 2007.

Yagova N., N. Nosikova, L. Baddeley, O. Kozyreva, D.A. Lorentzen, V. Pilipenko, M.G. Johnsen, Non-triggered auroral substorms and long-period (1–4 mHz) geomagnetic and auroral luminosity pulsations in the polar cap, *Ann. Geophys.*, 35, 365-376, doi:10.5194/angeo-35-365-2017, 2017.

Yagova N.V., V.A. Pilipenko, L.N. Baransky, M.J. Engebretson, Spatial distribution of spectral parameters of high latitude geomagnetic disturbances in the Pc5/Pi3 frequency range, *Ann. Geophys.*, 28, 1761-1775, 2010.

Yagova N.V., V.A. Pilipenko, L.J. Lanzerotti, M.J. Engebretson, A.S. Rodger, S. Lepidi, V.O. Papitashvili, Two-dimensional structure of long-period pulsations at polar latitudes in Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 109, A03222, doi:10.1029/2003JA010166, 2004.

## **Atmospheric and magnetospheric control of natural geomagnetic noise in ULF-ELF frequency range in the ionosphere**

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

Geomagnetic noise and pulsations at frequencies about several Hz in the ionosphere remain weakly studied. Research of Schumann and IAR features at the altitudes above the maximum of electron concentration, answer of Hertz geomagnetic fluctuations in the ionosphere to thunderstorms, are at the initial stage. Almost no results on magnetospheric control of Hertz magnetic field fluctuations in the ionosphere have been reported. Even morphological properties of background geomagnetic noise and pulsations are unknown. This makes ambiguous any interpretation of found events.

The present study is aimed on study of geomagnetic fluctuations in the frequency range 3-15 Hz, recorded by SWARM satellites, including

- 1) Morphological properties of background fluctuations
- 2) Possible association with thunderstorms (observations and model)
- 3) Possible magnetospheric control, as estimated from synchronous SWARM and THEMIS data

## **Sources of Pc1 pulsations during the September 11, 2017 event**

T.A. Yahnina<sup>1</sup>, A.G. Yahnin<sup>1</sup>, T. Raita<sup>2</sup>, J. Manninen<sup>2</sup>

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

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

Rather complex structure and dynamics of the pulsation spectrum in the Pc1 range were observed by a network of Finnish induction magnetometers within the interval 00-07 UT on September 11, 2017. These pulsations were recorded at a late stage of magnetic storm recovery, which took place on September 7-8, 2017, (minimum Dst = -142 nT). We compared the characteristics of the pulsation spectrum with the dynamics of localized precipitation of energetic protons (LPEP). Previously, it was shown that LPEP is an indicator of the EMIC wave source. Proton precipitation data were revealed from low-orbiting POES satellites (NOAA, MetOp). Considering the LPEP situated near the ground stations detecting the pulsations, we selected three groups of sources. Two of them were observed at  $L \sim 3$  and  $L \sim 4$ , respectively. Comparison of the equatorial gyrofrequency of helium ions  $f_{He^+}$ , estimated from the latitude of the source, with the pulsation frequency showed that the two group of sources can be responsible for strongest Pc1 emissions, and these emissions belong to the helium band ( $f < f_{He^+}$ ). This may indicate that the sources of these pulsations can relate to the dense plasmaspheric plasma. Indeed, the results of modeling the plasmasphere for this case, presented on the website <http://enarc.space.swri.edu>, showed the presence of the plasmopause at  $L \sim 3$ , the residual plasmopause at  $L \sim 4$ , and an additional, detached plasma structure between  $L \sim 4$  and  $\sim 5$ . Some LPEP were observed outside the plasmopause ( $L > 5$ ). These sources can produce the emissions in the hydrogen band ( $f_{He^+} < f < f_{H^+}$ ), and this fact helps in interpretation of some elements in the pulsation spectrum. Our analysis shows the importance of using information about the location of the emission source revealed from the proton precipitation data to explain the structure and dynamics of Pc1 spectra.

## **Cold ion energization on separatrices during magnetic reconnection**

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

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

Separatrices of magnetic reconnection host intense perpendicular Hall electric field produced by decoupling of ion and electron components and associated with the in-plane electrostatic potential drop between inflow and outflow regions. The width of these structures is several local electron inertial lengths, which is small enough to demagnetize ions as they cross the layer. We investigate temperature dependence of ion acceleration at separatrices by means of 2D Particle-in-Cell (PIC) simulations of magnetic reconnection with only cold or hot ion background population.

The separatrix Hall electric field is balanced by the inertia term in cold background simulations, the effect indicative of the quasi-steady local perpendicular acceleration. The electric field introduces a cross-field beam of unmagnetized particles which makes the temperature strongly non-gyrotropic and susceptible to sub-ion scale instabilities. This acceleration mechanism nearly vanishes for hot ion background simulations. Particle-in-Cell simulations are complimented by one-dimensional test particle calculations, which show that the hot ion particles experience scattering in energies after crossing the acceleration layer, whereas cold ions are uniformly energized up to the energies comparable to the electrostatic potential drop between the inflow and outflow regions.

### **Распространение электромагнитных волн в условиях магнитной суббури 11.12.2015 на частотах российской радионавигационной системы РСДН-20 (Альфа)**

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

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

В работе представлены результаты моделирования распространения электромагнитной волны с частотой, соответствующей несущей, в сети передатчиков радиотехнической системы дальней навигации (РСДН-20), работающих на территории СНГ в диапазоне сверхдлинных волн. Система RSDN-20 состоит из четырех передатчиков, которые расположены в Новосибирске (55°45'31" с.ш. 84°26'45" в.д.), Краснодаре (45°24'12" с.ш. 38°09'30" в.д.), Комсомольске-на-Амуре (50°04'21" с.ш. 136°36'34" в.д.) и в Мурманской области в поселке Ревда (68°02'13" с.ш. 34°40'43" в.д.). Эти передатчики передают 3,6 секундные сигнальные последовательности на частотах 11905 Гц, 12649 Гц и 14881 Гц. Численный эксперимент был проведен с параметрами ионосферы, соответствующими магнитной суббури 11.12.2015. Профили ионосферных параметров были получены на основе данных радара некогерентного рассеяния EISCAT на архипелаге Шпицберген и двухпараметрического экспоненциального профиля Вейта для D-области ионосферы.

### **Оценка вклада УНЧ и ОНЧ волновых возмущений в рост потоков электронов до релятивистских энергий**

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 исследован вклад УНЧ и ОНЧ волновых возмущений в ускорение электронов до релятивистских энергий (несколько МэВ) во внешнем радиационном поясе Земли. Регистрация потоков электронов осуществлялась по данным геостационарных спутников GOES, японского спутника Arase (ERG), запущенного в конце 2016 года, спутника RBSP. Для характеристики ОНЧ волновой активности в магнитосфере использованы данные спутников Arase, RBSP. Анализ показал, что наземная регистрация ОНЧ волн не может быть надежным индикатором увеличения мощности ОНЧ волн в магнитосфере вследствие их затухания в ионосфере. Использован УНЧ индекс для характеристики волновой активности магнитосферы в Pc5 диапазоне. Необходимым условием ускорения электронов до релятивистских энергий является длительная суббуревая активность, сопровождающаяся инъекцией “затравочных” электронов (50-100 кэВ). Корреляция роста потоков релятивистских электронов с высокой скоростью солнечного ветра подтверждает важную роль дрейфового резонанса магнитосферных электронов с МГД колебаниями Pc5 диапазона. Анализ показывает, что рост потоков релятивистских электронов на 1.5-2 порядка происходит через 1-3 дня после роста УНЧ индекса, а также мощности ОНЧ волн. То есть вклад данных механизмов преобладает на начальной стадии ускорения электронов. Синергетическое влияние мощности УНЧ и ОНЧ излучений на потоки релятивистских электронов выше, чем сумма отдельных вкладов этих факторов.

## **Наблюдения аврорального хисса в пространственно разнесенных точках в высоких широтах и оценка эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера**

А.С. Никитенко<sup>1</sup>, О.М. Лебедь<sup>1</sup>, Ю.В. Федоренко<sup>1</sup>, Ю. Маннинен<sup>2</sup>, Н.Г. Клейменова<sup>3,4</sup>, Л.И. Громова<sup>5</sup>

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

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

<sup>3</sup>ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>ИКИ РАН, г. Москва, Россия

<sup>5</sup>ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия

*E-mail: alex.nikitenko91@gmail.com*

Проведен анализ всплесков аврорального хисса, зарегистрированных в трех пространственно разнесенных точках – Баренцбург (Архипелаг Шпицберген, Россия), Каннуслахто (Финляндия) и Ловозеро (Россия). Показано, что в рассматриваемых случаях область выхода локальна и всегда расположена южнее самой северной точки наблюдений – обс. Баренцбург. С использованием методов численного моделирования проведена оценка эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера излучениями типа авроральный хисс с представлением нижней стенки волновода в виде бесконечно проводящей плоскости и в виде среды с проводимостью 10-5 См/м, типичной для Фенноскандии. Показано, что наиболее благоприятные условия для распространения аврорального хисса в волноводе Земля-ионосфера наступают в условиях ночной ионосферы. Отмечено значительное уменьшение эффективности возбуждения волновода при учете фактической проводимости земной поверхности.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 19-52-50025 ЯФ\_а (Никитенко А.С.).

## **Наблюдения естественных СНЧ/ОНЧ излучений во время экспедиции “Трансарктика-2019”**

С.В. Пильгаев<sup>1</sup>, А.В. Ларченко<sup>1</sup>, Ю.В. Федоренко<sup>1</sup>, А.С. Никитенко<sup>1</sup>, М.В. Филатов<sup>1</sup>, О.М. Лебедь<sup>1</sup>, И.Е. Фролов<sup>2</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (АНИИИ), г. Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: serg\_apes@bk.ru*

В апреле 2019 года на научно-исследовательском судне “Академик Трешников” в окрестности архипелага Земля Франца-Иосифа в рамках экспедиции “Трансарктика 2019” были произведены измерения горизонтальной компоненты напряженности магнитного поля (Ht) и вертикальной компоненты напряженности электрического поля (Ez) естественных излучений в СНЧ/ОНЧ диапазоне. В работе отражены некоторые особенности проведения измерений в полярных условиях и специфика аппаратуры, используемой для регистрации электромагнитных полей. Представлены результаты наблюдений нескольких случаев регистрации аврорального хисса и низкочастотных шипений. Для исследования особенностей генерации и распространения зарегистрированных СНЧ/ОНЧ излучений было проведено их сопоставление с одновременными наблюдениями на стационарных российских станциях Полярного геофизического института: Баренцбург (78.07° N, 14.21° E) и Ловозеро (67.97° N, 35.02° E), а также финской станции Каннуслахто (67.74° N, 26.27° E), расположенной на 400 км западнее обс. Ловозеро. Показано, что зарегистрированный 11 апреля 2019 года 17:00 – 18:00 UT на судне авроральный хисс был также зарегистрирован и в обс. Баренцбург, расположенной на ~ 600 км западнее и ~ 160 км южнее положения судна. Однако, на более низких широтах в обс. Ловозеро и Каннуслахто эти излучения не наблюдались. В отличие от аврорального хисса низкочастотные шипения (< 1.5 кГц), зарегистрированные 25 апреля 2019 года 06:00 – 07:00 UT, наблюдались во всех четырех точках одновременно. По-видимому, результаты наблюдений свидетельствуют о том, что область выхода аврорального хисса в рассматриваемых случаях локальна, однако в случае регистрации низкочастотных шипений в ионосфере “засвечивается” достаточно большая область.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 19-52-50025 ЯФ\_а (Никитенко А.С.).

### **Квазистатическое приближение в задаче возбуждения КНЧ электромагнитного поля горизонтальной заземленной антенной**

П.Е. Терещенко (*Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург*)

Квазистатическое приближение используется в задачах электроразведки Земной коры. В его рамках теоретически рассчитанное отношение тангенциальных составляющих электромагнитного поля на поверхности Земли на расстояниях от излучающей антенны, превышающих скин-слой, совпадает для однородной среды с импедансом плоской электромагнитной волны. Это позволяет связать изменения с частотой поверхностного импеданса, наблюдаемые в измерениях, с глубинной проводимостью Земли.

В настоящей работе проанализирована зависимость поля от безразмерного волнового числа  $k_0\rho = r_0$ , где  $k_0$  - волновое число, а  $\rho$  - расстояние от источника до точки наблюдения. Найдены ограничения на использование квазистатического приближения ( $k_0 = 0$ ) для электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля. Оценена возможность применения квазистатического приближения в экспериментах с активными источниками, в частности, для измерений, выполненных в 2019 г. вблизи с. Варзуга в рамках эксперимента FENICS-2019.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-05-00823).

### **Оценка эффективной проводимости подстилающей поверхности волновода Земля-ионосфера по результатам эксперимента FENICS-2019**

П.Е. Терещенко (*Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург*)

В ходе эксперимента FENICS-2019 по зондированию Земной коры полем контролируемого источника в КНЧ диапазоне (0.3-94 Гц.) регистрировалось пять компонент электромагнитного поля в средней зоне линейных антенн. В данной работе рассматриваются поля субширотной антенны, крайние точки которой были расположены у г. Мурманска и г. Заполярного. Расстояние между центром антенны и приемником составило более 350 километров, что почти в два раза более удвоенной высоты волновода.

По измеренным компонентам электрического и магнитного поля были рассчитаны приведенные поверхностные импедансы, используемые в методиках электромагнитного зондирования литосферы. Было показано, что частотные изменения импеданса в основном объясняется простой двухслойной моделью Земной коры. Для более детального исследования Земной коры необходимо использовать не только амплитуды полей, но и их поляризационные характеристики. При этом необходимо учитывать вклад ионосферы на распространение поля.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 19-05-00823 и 18-05-00528).



### **Three-component model of heliospheric magnetic field and modulation of galactic cosmic rays**

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

*P.N. Lebedev physical Institute RAS, Moscow, Russia*

The paper proposes a three – component model of heliospheric magnetic field (HMF), based on measurements of long-range spacecraft. The presence of a third  $B_\theta$  component does not require the introduction of the appropriate components  $v_\theta$  in the speed of the solar wind and is caused by spatial gradients of the radial component  $v_r$ . In the tasks of solar modulation of galactic cosmic rays (GCR), the presence of components leads to a reduction in latitude gradients of intensity in the Earth's orbit in accordance with the measurement data. The role  $\theta$  – components of HMF is especially important on a time scale  $t \leq T_S$  – the period of solar turnover, and when considering long – period variations is less significant, due to the small average values of this component for solar turnover. The patterns of the presented model were studied using the description of stratospheric variations of the adron component of the GCR from stratospheric measurements.

The work was carried out with partial financial support of the RFBR (grant 18-02-00582 - a).

### **The long-term variations of the galactic cosmic ray intensity in solar cycles 19-24 according to the regular balloon and spacecraft monitoring of cosmic rays**

M.B. Krainev, G.A. Bazilevskaya, M.S. Kalinin, V.S. Makhmutov, Yu.I. Stozhkov, A.K. Svirzhevskaya, N.S. Svirzhevsky

*Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russia*

The regular balloon monitoring (RBM) of cosmic rays in the Earth's atmosphere provides one of the longest homogeneous time series on the galactic cosmic ray (GCR) intensity (in Murmansk and Moscow regions since 1957). Recently we correlated the count rates of the RBM detectors of the secondary cosmic rays with the primary GCR characteristics measured near the Earth in PAMELA (in 2006-2016) and AMS-2 (since 2011) space experiments and reported the first results in Apatity-2019 seminar.

The some refinements of the RMB results were made to make the above correlation better. In the talk we shall describe these refinements, discuss the long-term (1957-2020) time series of the primary GCR integral intensities received using the above correlation and then compare the GCR intensity time profiles during 5 sunspot minima including the last one (2018-2020).

This work was supported in part by RFBR grants No. 18-02-00582a, 19-52-60003 SA-t.

### **MHD simulation of flare situation above the active region AR 10365 in the real time scale**

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

Observations of soft X-ray emission and of highly ionized iron lines, as well as other observational data, indicate the appearance of a solar flare in the corona at altitudes of 15 000 – 30 000 km. The appearance of flares above active regions with a strong magnetic field (several thousand Gs) gives an indication of the rapid release of magnetic energy during solar flares. The slow change in the magnetic field on the solar surface before the flare after the flare and during the flare means that the flare energy slowly accumulates in a stable configuration in the corona, and then is fast released when the configuration transfers into an unstable state. Such an accumulation of energy can occur in the magnetic field of the current sheet that appears in the vicinity of X-type singular line in the corona under the influence of small disturbances. Further, during quasi-stationary evolution, the current sheet transfers into unstable state. Since the configuration of the magnetic field in the corona cannot be determined from observations, to study

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

the flare situation above the active region, a numerical magnetohydrodynamic (MHD) simulation is carried out in which the magnetic field observed on the photosphere is used as the boundary condition. Despite specially developed numerical methods that allow one to increase the time step at which the finite-difference scheme remains stable, MHD simulation takes a rather long time, and therefore it was previously performed only on a greatly reduced (10 000 times) time scale. The results were obtained on the study of the solar flare mechanism, but the magnetic field configuration was distorted, especially near the photospheric boundary, due to the unnaturally rapid change in the field on the photosphere. For a more accurate study of the flare situation, simulation in the real time scale was performed above the active region of AO 10365, which was made possible through the use of parallel calculations on the supercomputer. The simulation confirmed the formation of the current sheet, as well as more complex structures obtained near the field singularities, in which there is a superposition of the field near X-type singular line and a diverging magnetic field. In such structures, the plasma motion under the action of magnetic forces of a diverging field does not contribute to the accumulation of a large amount of magnetic energy. Such formations can explain the appearance of low power flares and micro-flares. When performing MHD simulation in the real scale of time, due to a careless specification of the free exit condition on the boundary, instability appeared, causing to disturbance at the boundary which introduced some distortion into the solution. An analysis of the obtained results permit to select correctly an approximation of the free exit conditions, which will make it possible to get rid of numerical instability in further calculations.

## **Galactic cosmic rays and solar energetic particles reconstructed from lunar Al-26**

Stepan Poluianov<sup>1,2</sup>, Gennady Kovaltsov<sup>3</sup>, Ilya Usoskin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, Finland*

<sup>2</sup>*Space Physics and Astronomy Unit, University of Oulu, Finland*

<sup>3</sup>*Ioffe Physical-Technical Institute, St. Petersburg, Russia*

In contrast to the Earth, the Moon has no geomagnetic and atmospheric shielding from incident energetic particles. Therefore, its surface is exposed to galactic cosmic rays (GCR) and solar energetic particles (SEP) including lower energy (tens of MeV) ones. Those can produce cosmogenic nuclides in rocks and soil. Nuclide depth distribution in such objects is a useful tool to study cosmic ray energy spectra.

This work is based on measurements of Al-26 (half-life 0.717 Myr) in lunar soil and rock samples brought by the Apollo missions. We developed a model of cosmogenic production of Al-26 using the Geant4 Monte Carlo toolkit and experimental cross-section data. As a result of fitting measured and modelled concentrations of Al-26, we evaluated the mean heliospheric modulation potential representing the GCR spectrum at the Earth's orbit over the megayear time scale. Its value ( $496 \pm 40$  MV) is in good agreement with the mean modulation over the last 11 000 years ( $449 \pm 70$  MV) reconstructed using the terrestrial cosmogenic isotopes.

Earlier works, which reconstructed the SEP flux in the past from lunar data, used prescribed spectral shapes (exponent, power law or more sophisticated ones) of particles to model the nuclide production. We developed a new non-parametric method to reconstruct the mean SEP spectrum in the energy range 20-80 MeV without any a priori assumptions on the spectral shape. The result covering the megayear time scale shows a good consistency with data for the last several decades (space-borne measurements), though the mean solar activity levels for those periods differ dramatically.

## **Proton aurora at Mars: simulations with the kinetic Monte Carlo model for the high-energy proton and hydrogen atom precipitation into the upper atmosphere**

V.I. Shematovich, D.V. Bisikalo

*Institute of Astronomy, RAS, Moscow, Russia*

Observations with the SPICAM and ASPERA-3 instruments onboard the ESA Mars Express and the IUVS spectrograph onboard the NASA MAVEN spacecraft have identified three types of aurorae on Mars, two of them (electron diffuse and proton aurorae) profoundly different from comparable types on Earth and other planets. In contrast to previous auroral detections, proton aurorae are exclusively observed on the dayside of Mars, and are

characterized by enhanced hydrogen Ly $\alpha$  emission (121.6 nm) confined to altitudes 120–150 km for the limb observations. The peak emissions are up to 50% brighter than the optically thick dayglow background across the dayside, and typically last a few hours or less. These events appear strongly correlated with solar-wind activity and the population of penetrating solar wind protons in the day-time thermosphere previously identified by the Solar Wind Ion Analyzer (SWIA) onboard MAVEN spacecraft.

In this report we presented the results of model computations of the interaction of precipitating high-energy protons and hydrogen atoms (H/H<sup>+</sup>) and gas in the Martian atmosphere. We used a modification of a kinetic Monte Carlo model developed earlier for the analysis of the data from the ASPERA-3 instrument onboard Mars Express and from SWIA onboard MAVEN. In this modification of the model, an arbitrary (three-dimensional) structure of the magnetic field of Mars was taken into account for the first time. When local measurements of all three components of the induced magnetic field are available, the model can describe not only the flux of protons penetrating into the atmosphere, but also the degradation of the H/H<sup>+</sup> particle fluxes along the spacecraft orbit and the formation of upward fluxes of protons and hydrogen atoms scattered by the atmosphere. We carried out test computations, which showed agreement with estimates of the upward fluxes of protons and hydrogen atoms obtained in the earlier studies. Comparison of the calculations and measurements of proton fluxes at low altitudes received by the MAVEN/SWIA instrument during the MAVEN deep-dip maneuvers allowed us to conclude about the efficiency of charge exchange processes between the solar wind protons and the extended hydrogen corona of Mars. It was also found that induced magnetic field plays an important role in the formation of the upward (scattered by the atmosphere) proton flux and actually controls its magnitude.

The developed kinetic Monte Carlo model of proton and hydrogen atom precipitation into the atmosphere of Mars will be used to calculate the brightness and line profiles of the atomic hydrogen emission in the Ly- $\alpha$  line for comparison with the observations of the recently discovered proton aurora at Mars.

This work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 19-12-00370.

### **Non-adiabatic interaction of ions with solar wind discontinuities**

A.A. Vinogradov<sup>1,2</sup>, A.V. Artemyev<sup>1,3</sup>, I.Yu. Vasko<sup>1,4</sup>, A.A. Vasiliev<sup>1</sup>, A.A. Petrukovich<sup>1</sup>

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

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

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

<sup>4</sup>*Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, USA*

According to Helios, Ulysses, New Horizons measurements at a wide range of distances from the Sun, radial evolution of solar wind ion temperature significantly deviates from the adiabatic expansion model: additional heating of the solar wind plasma is required to describe observational data. Solution of the solar wind heating problem is extremely important both for understanding the structure of the heliosphere and for adequately describing the atmospheres of distant stars. Solar wind magnetic field is turbulent and this turbulence is dominated by numerous small-scale high-amplitude coherent structures – such as quasi-1D discontinuities. Modern theoretical models predict that quasi-1D discontinuities can play important role in solar wind heating. We collected the statistics of MMS observations of thin quasi-1D discontinuities in the solar wind to reveal their characteristics. Analyzing observational data, we construct the discontinuity model and use it to consider non-adiabatic interaction of ions with solar wind discontinuities. We mainly focus on discontinuity roles in solar wind ion scattering and thermalization. This presentation shows how discontinuity configuration affects the scattering rates.

## **Анализ суточного хода потока электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите**

А.А. Абунин<sup>1</sup>, М.А. Абунина<sup>1</sup>, А.В. Белов<sup>1</sup>, С.П. Гайдаш<sup>1</sup>,  
О.Н. Крякунова<sup>2,3</sup>, Н.Ф. Николаевский<sup>3</sup>, И.И. Прямушкина<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан*

<sup>3</sup>*ФИАН, г.Москва, Россия*

Одной из основных задач солнечно-земной физики является прогнозирование суточного флюенса электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите. На данный момент существует достаточно много научных работ, которые посвящены исследованиям в этой области.

Цель данной работы заключается в том, чтобы исследовать суточный ход потока рассматриваемых частиц. Это позволит более точно прогнозировать поведение этих релятивистских частиц магнитосферного происхождения.

## **Исследование параметров протонных возрастаний на основе анализа соответствующих солнечных источников**

А.А. Абунин, М.А. Абунина, А.В. Белов, С.П. Гайдаш, И.И. Прямушкина, И.М. Черток

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

Изначально возрастания солнечных космических лучей изредка наблюдались наземными детекторами. Долгое время считалось, что генерация этих частиц происходит в результате различных процессов, протекающих в области вспышек на Солнце. После начала космической эры спутниковые наблюдения показали, что солнечные ускорительные явления достаточно часты. Кроме того, мнение научного сообщества резко изменилось – большинство ученых стало связывать солнечные космические лучи с ускорениями на ударной волне, создаваемой соответствующим корональным выбросом массы.

Целью данной работы является исследование связи параметров протонных возрастаний с различными характеристиками соответствующего солнечного источника.

## **Метод кольца станций**

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

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

Метод кольца станций позволяет получать свойства углового распределения космических лучей без разложения на гармоники и ежечасное долготное распределение интенсивности космических лучей, не прибегая к его моделированию. Использование метода кольца станций наглядно показывает поведение вариаций космических лучей на различных станциях, что дает возможность исследовать такие особенности Форбуш-эффектов как предвестники, анизотропное начало, необычное поведение вариаций космических лучей внутри возмущений солнечного ветра и др..

## **Изучение возможных мест размещения новых нейтронных мониторов**

Ю.В. Балабин

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт»,  
г. Апатиты, Россия; e-mail: Balabin@pgia.ru*

На территории России имеется дюжина нейтронных мониторов (НМ), но расположены они очень неравномерно. По этой причине при решении обратной задачи в некоторых событиях GLE возникает большая невязка, приводящая к возрастанию ошибки определения параметров спектра солнечных космических лучей (СКЛ). Такое случается, когда поток СКЛ приходит на Землю из северной полусферы. Связано это с тем, что имеется протяженная слепая область (в угловых координатах), не перекрываемая ни одной из существующих станций. Поскольку в ПГИ создан портативный детектор нейтронов (аналог бесвинцовой секции НМ) с энергиями от тепловых до единиц МэВ, который может быть размещен на любой метеостанции или ином техническом пункте, то был проведен анализ возможных мест размещения такого детектора. Были выбраны более десятка мест, расположенных как в средних, так и в высоких широтах. Основываясь на IGRF-модели магнитного поля Земли, вычислены асимптотические конусы приема указанных мест. При этом конусы вычислялись как для разного времени суток, так и для разных сезонов. Сравнение положения конусов приема новых станций с существующими, а также их изменений в течение суток и года позволило выбрать наиболее выгодное расположение новой точки наблюдений с точки зрения перекрытия слепых областей. Предложено несколько мест возможного размещения детекторов.

## **Об особенностях модуляции космических лучей в 23-24 циклах солнечной активности**

Ю.В. Балабин<sup>1</sup>, А.В. Белов<sup>2</sup>, Р.Т. Гущина<sup>2</sup>, В.Г. Янке<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт»,  
г. Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*ИЗМИРАН, Троицк, Россия*

Наблюдаемый значительный тренд магнитного поля Солнца - основного источника солнечной активности (СА) - начало которого отмечается при переходе от конца 22-го цикла, продолжается до настоящего времени (конец 24-го цикла). Ослабление солнечного магнитного поля через солнечный ветер распространяется и на гелиомагнитосферу. Основные характеристики солнечного магнитного поля и связанного с ним ММП, имеют определяющее значение для модуляции космических лучей (КЛ). В долгопериодных вариациях КЛ в 23-24 циклах СА отображается это ослабление солнечного магнитного поля, а сравнение вариаций в этот период с вариациями в предыдущих циклах (21-22-ом), позволяет выявить новые, не наблюдавшиеся до последних двух десятилетий, особенности такой модуляции КЛ, оказавшейся самой слабой за всё время работы нейтронных мониторов. Этот факт приводит к необходимости подробного исследования взаимосвязи КЛ и СА в этот период. В разработанной нами модели модуляции учтены воздействие полярного магнитного поля Солнца (*Hpol*), характеристики крупномасштабных полей Солнца (*Bss*), наклона нейтрального слоя (*hcst*), влияние площади корональных дыр (*A13*) и спорадической активности Солнца (индекс *SME*). Модельные расчеты модуляции КЛ для анализируемых двух временных интервалов (21-22 и 23-24 циклов СА) показали: при небольшом отличии полученных регрессионных характеристик (и времен запаздывания вариаций КЛ относительно индексов СА) распределение вкладов в создаваемую модуляцию КЛ от воздействия вышеуказанных индексов СА сильно различается в анализируемые периоды. Обсуждаются возможные причины отличий двух последних циклов СА от предыдущих.

## **Новая секция НМ в Восточных Саянах**

Ю.В. Балабин<sup>1</sup>, А.А. Луковникова<sup>2</sup>, Б.Б. Гвоздевский<sup>1</sup>, А.В. Германенко<sup>1</sup>, Е.А. Михалко<sup>1</sup>, И.В. Янковский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия*

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

<sup>3</sup>*Кабардино-Балкарский государственный университет, г. Нальчик, КБР, Россия*

На Саянском спектрографическом комплексе космических лучей в 2019 году на станции космических лучей Иркутск-3 (гора Хулугайша, Восточные Саяны, 3000 м) была запущена в работу дополнительная секция нейтронного монитора (НМ). Ее особенностью является оснащенность скоростной системой сбора данных, созданной в ПИИ. Скоростная система фиксирует время появления каждого электрического импульса от НМ с точностью 1 мкс. Созданные программы обработки позволяют находить в общем массиве данных различные события (кластеры импульсов). Это могут быть события множественности числом  $M = 3-100$ , появления адронного ливня широкого атмосферного ливня и др. Эта система сбора уже работает на ряде НМ. Впервые скоростная система сбора установлена на высокогорном НМ. Обнаружены некоторые отличия событий множественности, которые связаны именно с высокогорным расположением НМ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626.

## **Особенности минимума солнечной активности в текущем цикле**

Ю.В. Балабин<sup>1</sup>, А.В. Белов<sup>2</sup>, Р.Т. Гущина<sup>2</sup>, В.Г. Янке<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*ИЗМИРАН, Троицк, Россия*

Двадцать четвертый цикл солнечной активности (СА) оказался во многом необычным. К настоящему времени солнечная активность приближается к очередному минимуму, а 24-й цикл к завершению. При этом прошлый минимум в 2009 г был необычно глубоким, поток космических лучей превысил максимумы предыдущих циклов. По мере приближения к очередному минимуму СА на мировой сети нейтронных мониторов отмечен интересный эффект. Некоторая часть станций НМ (четверть от всего количества) достигла и превысила максимум 2009 г, тогда как на остальных станциях пока еще уровень 2009 г. не достигнут. Для сравнения также проанализированы вариации космических лучей по стратосферным измерениям. Предложена гипотеза, объясняющая подобный эффект.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-32-00626.

## **Статистическое исследование связи КВМ с солнечными вспышками**

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

<sup>3</sup>*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

Работа посвящена статистическому исследованию связи КВМ со вспышечной солнечной активностью. КВМ и часто сопровождающие их вспышки, являются самыми высокоэнергетическими солнечными явлениями. Существует мнение, что КВМ могут опережать вспышки [1]. Однако конкретные сценарии этих процессов до конца не выяснены, хотя до 40% КВМ сопровождались вспышками и 90% вспышек были связаны с КВМ [2]. Важность такого исследования обусловлена необходимостью разработки новых прогностических инструментов, учитывающих солнечную вспышечную активность для предсказания геомагнитных возмущений. При этом, особого внимания заслуживает такой вид наиболее геоэффективных КВМ, как магнитное облако (МО).

В настоящем исследовании случаи возникновения КВМ проверены на предмет их корреляции с солнечными вспышками, что может стать основой создания нового метода прогноза КВМ. Для этого в работе использованы данные общедоступного обновляемого каталога <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm>. В нем подробно рассмотрены события КВМ вблизи Солнца, зарегистрированные коронографом LASCO (<https://www.swpc.noaa.gov/products/lasco-coronagraph>). В этом случае задержка между возможной вспышкой и таким событием регистрировалась в часах. События типа М0 в каталоге представлены данными с КА ACE (<http://www.srl.caltech.edu/ACE/>) вблизи Земли. Задержка между возможной вспышкой и таким событием регистрировалась в сутках, поскольку существенно время переноса события на 1AU. Для исследования отобраны случаи регистрации КВМ, трансформировавшиеся в магнитные облака за период с 1996 по 2012 г. В ассоциированные с КВМ временные интервалы ( $\pm 2$  сут) отобраны данные по солнечным вспышкам слабой (В, С), умеренной (М) и экстремальной (Х) интенсивности по каталогам [http://umtof.umd.edu/sem/sem\\_figs.html](http://umtof.umd.edu/sem/sem_figs.html) и <http://vso.nso.edu/cgi/catalogui>. Всего обработано 116 событий М0, для которых удалось сопоставить 79 вспышек различной интенсивности. Среди обработанных 116 событий М0 21 событие определено нами ранее с применением алгоритма поиска М0 в потоке данных [3].

Показано, что регистрация КВМ может наблюдаться как раньше, так и позднее вспышки. При этом ситуации, когда вспышка наблюдалась раньше КВМ существенно преобладают. Самые большие задержки в 10 и более часов между вспышками и КВМ всегда соответствуют экстремальным вспышкам класса Х. При этом наблюдаемые КВМ трансформируются в классические М0. Замечено, что экстремальные вспышечные события ответственные за появление высокоскоростных М0. Полученная статистическая связь КВМ с солнечной вспышечной деятельностью демонстрирует фундаментальные зависимости между явлениями солнечной активности, что позволяет делать выводы о вероятности сопровождения КВМ вспышками.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект №18-35-00430 (Ревунова Е.А., Ундалова И.С.).

1. Harrison R.A. The nature of solar flares associated with coronal mass ejection // *Astronomy and Astrophysics*. 1995. V. 304. P. 585.
2. Nitta N.V., Hudson H.S. Recurrent flare/CME events from an emerging flux region // *Geophysical Research Letters*. 2001. V. 28. P. 3801.
3. Бархатов Н.А., Левитин А.Е., Ревунова Е.А. Прогноз интенсивности геомагнитных бурь, вызываемых магнитными облаками солнечного ветра // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2014. Т. 54. № 6. С. 718–726.

## **Применение параллельных вычислений на графических процессорах для МГД моделирования солнечной вспышки в реальном масштабе времени**

А.В. Борисенко<sup>1</sup>, И.М. Подгорный<sup>2</sup>, А.И. Подгорный<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФИАН, г. Москва, Россия; e-mail: [podgorny@lebedev.ru](mailto:podgorny@lebedev.ru)

<sup>2</sup>ИНАСАН, г. Москва, Россия

Прогноз солнечных вспышек и появления солнечных космических лучей (СКЛ) является важной научно-технической задачей. СКЛ генерируются во время солнечных вспышек в результате ускорения заряженных частиц в токовом слое в солнечной короне электрическим полем Лоренца  $\mathbf{E}=\mathbf{V}\times\mathbf{B}/c$ , они представляют серьезную радиационную опасность для людей и технических систем в космосе. Магнитогидродинамическое моделирование (МГД) вспышечных процессов на Солнце позволяет найти появление токовых слоев в солнечной атмосфере - источников магнитной энергии вспышек. Найденные при помощи МГД моделирования электрические и магнитные поля вблизи токового слоя позволяют промоделировать ускорение заряженных частиц. Применяемая ранее последовательная версия программы решения системы МГД уравнений позволяла получить решение МГД уравнений в короне над реальной активной областью, однако такое решение в реальном масштабе времени заняло бы несколько лет. Результаты МГД моделирования в реальном масштабе времени, полученные с помощью параллельных вычислений на GPU - графических процессорах Nvidia Tesla при помощи CUDA технологии показали существенное, на несколько порядков, ускорение расчета по сравнению со старой последовательной версией программы решения системы МГД уравнений. Полученные первые результаты GPU МГД моделирования вспышки в реальном масштабе времени АО 10365 показали появление значительно меньшего количества максимумов плотности тока, маскирующих реальные токовые слои, по сравнению с результатами ранее проведенного МГД моделирования в сильно сокращенном масштабе времени. Появление таких максимумов плотности тока затрудняет определение координат источника вспышки.

## **Компактные счетчики ионизирующего излучения для верификации RUSCOSMICS**

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

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

Для верификации вычислений прохождения космических лучей через атмосферу Земли нами используются самые различные экспериментальные установки. Одна из ведущих – это обыкновенные счетчики заряженной компоненты космических лучей. Несмотря на то, что мобильная версия, разработанная нами ранее, имеет весьма компактные размеры, ее транспортировка и запись профилей сопряжены с некоторыми трудностями, такими как, к примеру, обязательное оформление сопроводительной документации. К тому же этот прибор состоит из относительно дорогостоящих компонентов и не может быть выпущен серийно. В представленной работе рассматривается возможность изготовления компактного счетчика ионизирующего излучения, работающего от небольшой аккумуляторной батареи и обладающий расширенным функционалом, который можно было бы изготовить партией и произвести ряд измерений для разных географических координат и периодов времени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626.

## **Связь временных вариаций корональных выбросов массы и крупномасштабных событий в солнечном ветре с появлением SC в 23 и 24 циклах солнечной активности**

С.В. Громов<sup>1</sup>, Ю.С. Загайнова<sup>1</sup>, В.Г. Файнштейн<sup>2</sup>, Л.И. Громова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия; e-mail: sgromov@izmiran.ru*

<sup>2</sup>*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Важным направлением исследований солнечной активности является сопоставление изменений циклических вариаций различных характеристик магнитного поля Солнца с числом или параметрами геомагнитных возмущений. В рамках нашего исследования было проведено сравнение вариаций корональных выбросов массы (КВМ) и крупномасштабных событий в солнечном ветре с суммарным числом внезапных импульсов в геомагнитном поле SI и внезапных начал геомагнитных бурь SSC в 23 и 24 циклах солнечной активности. Сопоставлены вариации чисел Вольфа  $W(t)$  с циклическими вариациями появления КВМ за каждый месяц наблюдений коронографов LASCO в 23 и 24 циклах солнечной активности. Так же было исследовано соотношение изменений суммарного числа КВМ различного углового размера с суммарным числом зарегистрированных приходов к Земле межпланетных ударных волн, вызвавших внезапные импульсы в геомагнитном поле (SI) или внезапные начала геомагнитных бурь (SSC), и с суммарным числом крупномасштабных событий в солнечном ветре таких, как EJECTA и MC (Magnetic cloud). Установлено, что временные вариации чисел Вольфа  $W(t)$  и общего числа зарегистрированных КВМ близки на фазе роста и в максимуме 23 солнечного цикла и существенно различаются с середины спада солнечной активности. Кроме того, в затянувшемся минимуме между 23 и 24 солнечными циклами есть период, когда число зарегистрированных SSC и SI превышает число гало КВМ и КВМ типа полугало. Выдвинуто предположение, что в генерацию SSC и SI также могут вносить вклад КВМ с малым угловым размером ( $<180^\circ$ ). Результаты нашего исследования могут быть использованы для анализа и прогноза геоэффективности солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 20-02-00151.



## **Перспективы использования параллельных вычислений для ускорения расчетов скорости ионизации атмосферы Земли частицами космических лучей**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты; e-mail: maurchev1987@gmail.com*

Одной из самых важных и актуальных даже на сегодня научных задач физики космических лучей является исследование каскадов частиц в атмосфере Земли, возникающих под воздействием первичных космических лучей (КЛ). Информация о параметрах этих частиц (суммарный поток, энергетический спектр и угловые характеристики) позволяет изучать особенности спектров первичных КЛ высоких и сверхвысоких энергий, а также их влияние на нижнюю атмосферу Земли. Немаловажную роль в решении этой проблемы занимает численное моделирование при помощи методов Монте-Карло, которое стало перспективным сравнительно недавно вследствие стремительного развития информационных технологий. Основная проблема такого подхода - большое время вычислений. В этой работе представлена как техническая часть, включающая в себя описание методологии интеграции сопроцессора Xeon Phi в инструменты вычислений в области физики взаимодействия частиц, так и научно-прикладная, показывающая на примере расчета основных характеристик потоков частиц в каскаде и скорости ионизации целесообразность используемого метода.

Отдельная секция работы посвящена вопросу публикации результатов исследований. На сегодня существует множество ресурсов, где можно представить свою работу, это могут быть периодические издания, труды конференций и т.д. С развитием информационных технологий все более популярным становится метод оформления полученных данных при помощи Интернет-ресурсов. Такой подход имеет ряд неоспоримых преимуществ, особенно когда речь идет об больших массивах информации. В таком случае можно, к примеру, опубликовать обзорную статью в тематическом научном журнале и сделать отсылку к ресурсу, на котором можно получить полный доступ к рядам данных. В представленной работе рассматривается такое решение публикации исследовательских результатов на сайте [www.ruscosmics.ru](http://www.ruscosmics.ru), разработанном и поддерживаемом сектором космических лучей г. Апатиты (ПГИ).

## **Моделирование нуклон-нуклонных взаимодействий в атмосфере Земли для частиц космических лучей с $Z>2$**

Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты; e-mail: maurchev1987@gmail.com*

В состав галактических лучей входят не только протоны, но также и ядра тяжелых элементов, имеющие зарядовое число  $Z>2$ . Эти частицы при прохождении верхних слоев атмосферы Земли (от 30 км и выше), имеющих низкую плотностью вещества, теряют свою энергию на ионизацию. Однако предполагается, что при достаточно высокой энергии (от 1 ГэВ на нуклон) возможно возникновение неупругих соударений, в ходе которых будут рождаться каскады вторичных космических лучей. В представленной работе приводятся результаты моделирования, полученные при помощи RUSCOSMICS в случае прохождения ядер кислорода и углерода через атмосферу Земли, производится оценка их вклада в скорость образования пар ионов в диапазоне высот от 0 до 80 км.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-77-10018.

## **Моделирование прохождения протонов СКЛ с энергетическим спектром для событий GLE42 и GLE44**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты; e-mail: maurchev1987@gmail.com*

События GLE (Ground level enhancement) представляют собой возрастания скорости счета нейтронных мониторов, вызванное увеличением числа протонов (в основном с энергией до 1 – 10 ГэВ) в потоке первичных космических лучей. Этому явлению, естественно, сопутствует увеличение скорости образования ионов на высотах от 0 до 80 км. В ПГИ разработана методика, позволяющая получать энергетические спектры во время событий GLE методом решения обратной задачи с использованием данных сети станций нейтронных мониторов. Полученные спектры применяются нами как входные параметры при моделировании программным комплексом RUSCOSMICS прохождения частиц через атмосферу Земли, в ходе которого получают точные оценки скорости образования пар ионов, в частности в области высоких широт. В этой работе представлены такие результаты, полученные для двух независимых событий, произошедших в различное время (соответственно, спектры имеют разные параметры). Проводится анализ полученных зависимостей, принимая во внимание особенности, обусловленные характеристиками каждого спектра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-77-10018.

## **Расчет скорости ионизации во время события GLE с использованием глобальной модели атмосферы Земли**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты; e-mail: maurchev1987@gmail.com*

В представленной работе используется программный комплекс RUSCOSMICS для расчета прохождения протонов солнечных космических лучей через атмосферу Земли. Особенностью здесь является реализация разработанного нами модуля, позволяющего применять не обычную вертикальную жесткость геомагнитного обрезания для каждой точки географических координат, а вычислять непосредственно энергетический спектр с учетом конуса приема. Для этого используется методика, разработанная в ПГИ и данные сети станций нейтронных мониторов. В качестве результата приводится скорость ионизации атмосферы на высотах от 0 до 80 км.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626.

## **Мобильный детектор для регистрации нейтронной компоненты**

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

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

Представленная работа посвящена описанию возможностей малогабаритного детектора, изготовленного для изучения вариаций потока нейтронов вторичных космических лучей (ВКЛ). Данный детектор входит в состав мобильного комплекса для постоянного мониторинга ВКЛ в лаборатории космических лучей ПГИ (г. Апатиты). Портативный детектор нейтронной компоненты ( $E < 1$  МэВ), собран на гелиевых счетчиках СНМ-18, введен в эксплуатацию с начала прошлого года, и работает параллельно с основной аппаратурой для регистрации ВКЛ. В зависимости от поставленных задач, прибор может работать индивидуально или с подключением других мобильных детекторов, таких как сцинтилляционный спектрометр и детектор заряженной компоненты на основе счетчиков Гейгера-Мюллера, разработанных в ПГИ. При разработке мобильного нейтронного детектора (НД) использовались современные и быстродействующие компоненты, регистрирующие каждый импульс с высокой точностью (2 мкс). Это позволяет наблюдать воздействие адронной компоненты ШАЛ во время прохождения КЛ через атмосферу, увеличив область получаемых результатов за счет установки прибора в труднодоступных местах.

## **Влияние углового распределения первичных космических лучей на положение максимума высотного профиля в атмосфере Земли**

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

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

В представленной работе рассматривается зависимость положения максимума потока вторичных космических лучей в профиле скорости счета на высотах от 0 до 80 км, возникающих вследствие развития ядерных каскадов. Ранее для программного комплекса RUSCOSMICS нами был разработан специальный детектирующий модуль, позволяющий собирать информацию об угловых распределениях вторичных космических лучей в атмосфере Земли (относительно перпендикулярного направления падения частиц), поэтому здесь также представлены эти результаты, полученные при условии, что генератор первичных частиц испускает протоны не перпендикулярно верхней границе, а изотропно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626.

## **Долгопериодная вариация северо-южной анизотропии космических лучей по данным нейтронных мониторов**

В.А. Оленева, А.В. Белов, В.Г. Янке

*ИЗМИРАН, Троицк, Москва, Россия*

Выделение северо-южной анизотропии космических лучей, из-за малости эффекта, очень чувствительно к качеству данных и к особенностям используемой методики. Это одна из причин существенного разброса результатов различных авторов. Задача настоящей работы - максимально расширить исследуемый период и сравнить результаты применения различных методик.

Для выделения составляющих вектора анизотропии (суточной и северо-южной асимметрии) применялся метод глобальной съёмки с привлечением данных мировой сети нейтронных детекторов. В полученных вариациях северо-южной анизотропии за 2000-2018 гг. наблюдается явно выраженная годовая волна, максимум которой, как правило, приходится на июль-август. В среднем разница минимальных и максимальных среднемесячных значений северо-южной анизотропии в году составляет 0.9%. Для сравнения проводилась также оценка северо-южной анизотропии методом парных станций.

## **Понижение интенсивности космических лучей в мае 2019 года в 24ом солнечном цикле**

Л.А. Трефилова, П.Г. Кобелев, А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, А.А. Мелкумян, В.А. Оленева, В.Г. Янке

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия; e-mail: trefilova@izmiran.ru*

На фоне минимума 24го цикла солнечной активности, с небольшими вариациями космических лучей, в мае 2019 года на нейтронных мониторах наблюдалось понижение интенсивности космических лучей на ~4%, которое длилось около одного периода вращения Солнца.

Данное понижение достаточно долгое и пологое. В сравнении с обычно наблюдаемым восстановлением после Форбуш-эффектов время восстановления в нашем случае более продолжительное. Также определённое сходство удалось найти и в другие периоды – апрель 1980, июль 2000 и июль 2006 с амплитудами 6%, 11% и 3,5% соответственно. За период с 28 апреля по 12 мая зафиксировано 9 достаточно мощных выбросов из 22 наблюдавшихся в течение 1,5 лет, что составляет более 40%. Все выбросы исходили из двух областей, которые существовали достаточно долгое время в активном состоянии.

## **Метод опорных станций для исключения эффекта снега на основе данных за 2018-2019 год**

Л.А. Трефилова, П.Г. Кобелев, А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, В.Г. Янке

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова,  
Троицк, Москва, Россия; e-mail: trefilova@izmiran.ru*

Объектом исследования работы являются данные нейтронных мониторов за 2018-2019 год. Некоторые станции, особенно расположенные в горах на средних и низких широтах, подвержены влиянию снега, который накапливается над детектором и вокруг него, что искажает наблюдаемые вариации. Поэтому данные мониторинга нейтронной компоненты требуют соответствующей корректировки.

В работе применен метод опорной станции. Суть метода заключается в сравнении изотропных вариаций на исследуемой и опорной станции, на которой снег заведомо отсутствует. Предполагается, что различие вариаций обусловлено влиянием снежного покрова на скорость счета исследуемого детектора.

## **Убегание атомов кислорода из атмосферы при протонных полярных сияниях на Марсе**

В.И. Шематович

*Институт астрономии РАН, Москва*

В докладе представлены результаты модельных расчетов скорости потери атомов кислорода из атмосферы Марса, вызванные высыпанием протонов и атомов водорода ( $H/H^+$ ) с высокими энергиями из плазмы солнечного ветра. Проникновение протонов и атомов водорода ( $H/H^+$ ) из плазмы солнечного ветра в верхнюю атмосферу Марса сопровождается переносом количества движения и энергии в столкновениях с основной компонентой - атомарным кислородом. Данный процесс рассматривается как разбрызгивание атмосферного газа при протонных полярных сияниях и сопровождается образованием убегающих из атмосферы потоков надтепловых атомов водорода и кислорода [1]. В расчетах скорости образования надтепловых атомов кислорода использована модификация кинетической модели Монте-Карло [2], разработанной ранее для анализа данных измерений инструментов MEX/ASPERA-3 на борту космического аппарата (КА) Mars Express и MAVEN/SWIA на борту КА MAVEN. Исследованы процессы кинетики и переноса горячих атомов кислорода в переходной области (от термосферы к экзосфере) верхней атмосферы Марса. Рассчитаны функции распределения надтепловых атомов кислорода по кинетической энергии. Показано, что при протонных полярных сияниях на Марсе экзосфера населяется значительным количеством надтепловых атомов кислорода с кинетическими энергиями вплоть до энергии убегания 2 эВ, т.е., формируется дополнительная к фотохимическим источникам горячая фракция кислородной короны, и образуется дополнительный нетепловой поток убегания атомарного кислорода из атмосферы Марса. Хотя протонные полярные сияния являются спорадическими авроральными событиями, однако индуцированный процессами высыпания поток убегания горячих атомов кислорода может становиться доминантным в условиях экстремальных солнечных событий - солнечных вспышек и корональных выбросов массы, - как показали недавние наблюдения КА NASA MAVEN [3].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-02-00721а).

1. V. I. Shematovich, M. Ya. Marov, *Physics - Uspekhi* **61** (3), 217 (2018)
2. V.I. Shematovich, D.V. Bisikalo, J.-C. Gérard, B. Hubert, *Astronomy Reports* **63**, 835 (2019)
3. B. M. Jakosky, D. Brain, M. Chaffin, and 129 more, *Icarus* **315**, 146 (2018)

## **Plasma structures detected by radio tomography in high- and midlatitude ionosphere in 23rd and 24th solar cycles**

Elena Andreeva, Marina Nazarenko, Artem Padokhin, Nikita Tereshin, Yulia Tumanova

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

We present and discuss a series of radio tomographic images of electron density distributions in the high- and midlatitude ionosphere during different phases of the 23rd and 24th solar cycles. The images were obtained using the methods of low orbiting and high orbiting radio tomography which employ the signals from the low-orbiting navigational satellite systems (Tsikada, Parus, Transit) and high-orbiting global navigation satellite systems GPS/GLONASS. The capability of the RT methods to reconstruct spatial 2D (altitude–latitude) and 3D distributions of ionospheric electron density above large spatial regions makes these methods an efficient instrument for studying irregular structure of the ionospheric plasma. The main focus of the presentation is in analyzing the RT reconstructions based on the measurements by the Russian transcontinental RT chain Moscow–Karelia–Kola Peninsula–Svalbard. The observations cover the ionospheric region from the polar cap to midlatitudes. There is a strong relationship between the high latitude ionosphere and the magnetosphere which are linked through the electric fields and currents as well as through the fluxes of energetic particles precipitating from the magnetosphere and the ascending flows of the ionospheric plasma. During the geomagnetic storms, the dynamic regime of the ionosphere changes drastically, and strong perturbations are observed in the ionospheric parameters. We present the examples and discuss structural features revealed by RT methods in the ionosphere. The RT reconstructions demonstrate a variety of ionospheric responses to the variations in the geomagnetic activity, which appear in the form of the troughs in the ionization, local irregularities, large-scale anomalies on electron density, narrow structures, multi-extremum patchy distributions, etc. The ionization gradients are steepest and have most complicated morphology during strong geomagnetic disturbances. The RT results can be used for refining the existing ionospheric models, for solving a wide range of radio communication, radio navigation, and radar location problems.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 19-05-00941).

## **Ionosphere variability in equatorial latitude of India using GPS-TEC during extreme low solar activity period**

Roshni Atulkar

*National Institute of Technical Teachers' Training and Research, Bhopal – 462002, MP, India*

The most significant ionospheric parameter Total Electron Content (TEC), determined by analyzing dual frequency signals from the Global Positioning System (GPS) recorded close to the Indian equatorial anomaly locale, Bengaluru (13.020 N, 77.570 E) situated inside 0-15°N of the equatorial anomaly region. We contemplated diurnal, monthly, seasonal and annual changeability just as geomagnetic and sun oriented impacts on the Equatorial Ionospheric Anomaly (EIA) during the solar minimum period from January 2009 to December 2009. The monthly highest values of TEC are recorded during the March, April and October While the minimum TEC is observed during the month of June, July, December and January. Additionally, it is discovered that the daily maximum TEC close equatorial anomaly crest yield their maximum qualities for the time of the Equinox months and their minimum qualities throughout the summer. Utilizing monthly averaged peak magnitude of TEC, a clear semi-annual variety is seen with two maxim happening in both spring and autumn. Relative standard deviation for VTEC demonstrates high an incentive at around morning and before Sunrise. From the comparison of GPS-TEC with various Solar Indices, for example Sun powered EUV flux (26–34 nm and 0.1–50 nm), F10.7 cm sunlight based radio flux and Zurich Sunspot Number (SSN), it is concluded that the Solar Index EUV motion is a superior controller of GPS-TEC, contrasted with F10.7 cm and SSN.

**Keywords:** Total Electron Contents (TECs); Equatorial Ionization Anomaly (EIA); Global Positioning System (GPS)

## **Modeling of the lower ionospheric response to the C-, M- and X-class solar flares**

S.Z. Bekker, I.A. Ryakhovskiy

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

The paper presents the results of lower ionosphere modeling during the solar X-ray flares of C-, M- and X-class. The model is based on a 5-component ionization–recombination cycle of the ionospheric D-region. The input parameters of the plasma-chemical model were determined using the data from the AURA, SDO, GOES satellites under various heliogeophysical conditions. Verification of the results was carried out on 6 European VLF paths with use of radiophysical measurements obtained in the GPO Mikhnevo. Comparison of the theoretical and experimental results of radio wave propagation showed that the standard deviation of the difference between the values does not exceed 1 dB on 5 paths out of 6 during the 7 considered C- and M-class flares. Qualitative and quantitative agreement during the X-class flares was obtained only for signals with a frequency  $f < 23$  kHz.

## **Influence of the substorm precipitations and polar cap patches on the GPS signals at polar latitudes**

V.B. Belakhovskiy<sup>1</sup>, Y. Jin<sup>2</sup>, W.J. Miloch<sup>2</sup>, A.V. Koustov<sup>3</sup>, A. Reimer<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Department of Physics and Engineering Physics, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada*

<sup>4</sup>*SRI International, Menlo Park, California, USA*

This study investigates the influence of substorm-related energetic particle precipitations and polar cap patches (PCP) on GPS signal scintillations in the high-latitude ionosphere. These ionosphere disturbances are a most powerful at the high-latitude region. A number of events in 2010-2017 are analyzed when the EISCAT radar data on Svalbard was available. We use data collected by the GPS scintillation receiver (University of Oslo) at Ny-Ålesund. Substorms are identified through optical observations in Ny-Ålesund as well as IMAGE magnetometer data. Occurrence of polar cap patches is determined by using electron density data from the EISCAT 42m radar (as a density increase above 200 km) and by considering optical observations at Ny-Ålesund station at 630.0 nm emission line. For some events, we show the onset of PCPs on the dayside and their propagation into the nightside, where the GPS receiver is located, by considering data from the Resolute Bay (Canada) incoherent scatter radar (RISR) and the SuperDARN radars. Our analyze shows that GPS amplitude scintillation index (S4) practically have no changes during considered events. We demonstrate that substorm-associated precipitations can lead to a strong GPS phase ( $\sigma_{\phi}$ ) scintillations up to  $\sim 2$  radians which is much stronger than those usually produced by PCPs. On the other hand, PCPs can lead to a much faster ROT (rate of total electron content) variations. Our observations suggest that the substorms and PCPs, being different types of the high-latitude disturbances, lead to the development of different types and scales of ionospheric irregularities.

## **Langmuir probe in CubeSat for low Earth orbit ionosphere scientific investigation**

Shankar Bhattarai

*Space Technology Synthesis Laboratory, Department of Aerospace Engineering, Chosun University, South Korea*

CubeSats are revolutionary for space exploration and upper atmospheric characteristics due to its low cost and short manufacturing period. CubeSat with a Langmuir probe as a scientific payload allows the in-situ observation of lower atmospheric waves and characteristics. The in-situ measured data are more reliable and can be used as a validation for the other equatorial measurement methods and broadcasting. In this research, the feasibility testing for possible implementation of the Cylindrical Langmuir Probe in CubeSat for the upper atmosphere plasma characterization is analytically studied. The attitude of the CubeSat can be controlled by using different attitude control methods. Therefore, by sending the command through the ground station, we can get access to the particular atmospheric environment. Which improved the resolution in the reconstruction of E-region ion layers and densities, moreover

desire spatial coverage can be provided by CubeSats. Thus, we equipped our newly designed Langmuir probe for electrons, ion density, and temperature variations. Moreover, the receiver antenna receives the information from the ground-based radar and after refining, it will send all the information on that atmosphere. The scientific objective of the proposed Langmuir probe is the in-suit study of low ionosphere-plasma sphere coupling, aurora structures, and multi-scale behaviour of the plasma turbulence.

**Keywords:** CubeSat, Ionosphere, Langmuir probe, Plasma characteristics

### **Variations in mesospheric temperature during Polar Mesospheric Summer Echo**

S.M. Cherniakov, V.A. Turyansky

*Polar Geophysical Institute, Murmansk*

The behavior of the amplitude of the ordinary radio wave at the frequency of 2.66 MHz of the partial reflection radar of the Polar Geophysical Institute (radio physical observatory Tumanny, Murmansk region) is considered. Mesospheric temperature profiles were calculated for selected times during the appearance of the Polar Mesospheric Summer Echo (PMSE) on July 19, 2015 and August 15, 2015. Substantial variations in temperature values near the heights of the mesopause were consistent with dramatic changes in the magnitude of the amplitude of the ordinary wave. Possible mechanisms causing this phenomenon are proposed.

### **High-latitude vertical incidence soundings scaling using neural networks: Es and F2 layers**

S.A. Dolgacheva

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

The Geophysics department of Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) has created an array of geophysical observations based on the network of Roshydromet polar stations. This array includes Canadian Advanced Digital Ionosonde (CADI), which provides real-time monitoring of the auroral ionosphere conditions. The AARI Polar Geophysical Center accepts CADI vertical incidence soundings (ionograms) in real-time mode, where scalars executively interpret hourly ionograms. However, high-resolution ionosphere monitoring (with time cadence about 15 minutes) requires automatic algorithms, which nowadays unable correctly identify ionospheric layer characteristics because of diffusion, multiple reflections, high critical frequencies of sporadic ionization, etc.

The first stage of our current study presents the partial solving of this issue, which consists of Es or F2 identification and estimating their critical frequencies using artificial neural networks. We trained neural network models using data set of ionospheric parameters obtained by AARI scalars above all geophysical array stations for different seasons under different geomagnetic conditions. We show that our neural network models are able to recognize Es / F2 layers and their characteristics with quiet high accuracy.

### **Finding the energy spectrum of the auroral electrons by the optical data of the MAIN system**

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

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The possibility of a study of precipitating electron spectra used optical data obtained by MAIN cameras with sensitivity in the wide range of 350-650 nm is shown. The energetic spectra of the electron fluxes stimulated rayed auroral structures have been derived. We found that the electron fluxes have energy spectra with a power-law dependencies of the flux on the energy  $F(E) \sim E^{-\alpha}$ . The values of parameter  $\alpha$  are calculated for several cases of rayed aurora.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-52-50025 YaF\_a).

## **Formation of the polar tongue of ionization and mid-latitude ionospheric disturbances during the 2015 St. Patrick's Day storm: Role of thermospheric perturbations**

M.V. Klimenko<sup>1</sup>, V.V. Klimenko<sup>1</sup>, I.E. Zakharenkova<sup>1</sup>, K.G. Ratovsky<sup>2</sup>, R.Yu. Lukianova<sup>3</sup>, I.V. Cherniak<sup>4</sup>, R.V. Vasilyev<sup>2</sup>, B.G. Shpynev<sup>2</sup>, M.A. Chernigovskaya<sup>2</sup>, A.S. Yasyukevich<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Space Research Institute (IKI) RAS, Moscow*

<sup>4</sup>*COSMIC Program Office, University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, USA*

We present the observational and modeling study of the ionospheric effects during the 2015 St. Patrick's Day geomagnetic storm. Considering the corresponding ionospheric storm. We are focused on major factors determining the spatio-temporal structure of the high-latitude ionospheric plasma density enhancement - the tongue of ionization (TOI), and the mid-latitude longitudinal asymmetry. We applied the Global Self-consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere and Protonosphere (GSM TIP) model for interpretation the plasma density distribution, and the modeling results were compared with the observational data as deduced from the ground-based GPS TEC, ionosonde and in situ plasma probe measurements at different altitudes. Both the simulation and observation results show that a large-scale TOI-like structure of enhanced plasma density extends from the dayside mid-latitude region towards the central polar cap region along the anti-sunward cross-polar convection flow. We reveal an important role of the clockwise rotation of the convection cells for the modification of TOI structure. According to the model results during the storm main phase, the neutral thermospheric composition, particularly a "tongue" in  $n(N_2)$ , modifies the spatial structure of TOI in such a way that: (1) the near-pole region of enhanced plasma density is shifted to the dusk side; (2) at the F region heights, TOI splits up into the dusk and dawn branches. In the dayside near-pole region, the storm-time poleward thermospheric wind causes a weakening of the storm-time TOI. At night the storm-time equatorward wind in the vicinity of polar cap boundary leads to a strengthening of TOI. One of the interesting phenomena was related with the observed positive after-storm ionospheric disturbances which are likely associated with an increase in the  $n(O)/n(N_2)$  ratio. The after-storm positive ionospheric disturbances occur within a longitudinally limited sector. The revealed model/data differences are explained by competitive electrodynamic and chemical processes.

The study of storm-time variability of high-latitude ionospheric (F-region, topside ionosphere and protonosphere) structure was financially supported by the Russian Science Foundation (grant 17-77-20009: Klimenko M.V., Zakharenkova I.E.). Model study of neutral composition and thermospheric wind influence on ionospheric storm was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 18-05-00594: Ratovsky K.G., Klimenko V.V., Vasilyev R.V.). I. Cherniak was supported in part by the NASA LWS grant NNX15AB83G and National Science Foundation CAS AGS-1033112 grant. The study of ionospheric electric fields was supported by the Russian Science Foundation (grant 16-17-00121: Lukianova R.Yu.). B.G. Shpynev, M.A. Chernigovskaya were partly supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 18-05-00681).

## **Multi-scale ionospheric irregularities at high-latitudes during geomagnetic storm on 27-28 May 2017: morphology, development and interpretation**

M.V. Klimenko<sup>1</sup>, V.B. Ovodenko<sup>1</sup>, I.E. Zakharenkova<sup>1</sup>, A.V. Oinats<sup>2</sup>, K.G. Ratovsky<sup>2</sup>, D.S. Kotova<sup>1</sup>, A.V. Nikolaev<sup>3</sup>, I.V. Tyutin<sup>4</sup>, D.D. Rogov<sup>3</sup>, A.V. Dmitriev<sup>5,6</sup>, D.V. Chugunin<sup>1,7</sup>, A.A. Chernyshov<sup>1,7</sup>, V.V. Klimenko<sup>1</sup>, J.C. Coxon<sup>8</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>4</sup>*JSC Scientific Research Institute for Long Distance Radiocommunication, Moscow, Russia*

<sup>5</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>6</sup>*Institute of Space Science, National Central University, Jhongli, Taiwan*

<sup>7</sup>*Space Research Institute (IKI) RAS, Moscow*

<sup>8</sup>*University of Southampton, Southampton, UK*



In this work, we present new results of the multi-instrumental study of ionospheric irregularities of different scales observed over the Central and East Siberian region of Russia during the geomagnetic storm on 27-28 May 2017. This storm provided us with a great opportunity to investigate ionospheric irregularities by using a unique set of instruments that were in the operational mode during that period: the satellite-borne (SWARM, AMPERE and GPS) and ground-based (ionosondes, riometers, HF and UHF radars) radio physical instruments. We revealed a strong interconnection between different-scale ionospheric irregularities. Rate of total electron content, HF and UHF auroral backscatter revealed similar dynamics during geomagnetic storm. The combined analysis showed that an area of intense irregularities are well connected and located slightly equatorward to Field-Aligned Currents (FACs) and auroral oval at different stages of the geomagnetic storm. Increase of R1/R2 FACs lead to an appearance of ionospheric irregularities through enhancement of horizontal electric field in the auroral and sub-auroral regions. At the storm main phase, the substantial equatorward expansion of the multi-scale irregularities, as observed by the UHF/HF radars, followed after a similar dynamics of FACs and auroral oval (particle precipitation). During downward (upward) R1 FACs and upward (downward) R2 FACs, the eastward (westward) drifts of ionospheric irregularities are occurred. Simultaneous disappearance of UHF/HF auroral backscatter and rate of change of total electron content (ROT) fluctuations decrease are occurred during a prolonged reversal of R1 and R2 FAC directions that are accompanied by R1/R2 FAC degradation and disappearance of high-energy auroral precipitation.

The studies of V. Ovodenko, M. Klimenko, I. Zakharenkova, D. Kotova, D. Chugunin, A. Chernyshov with morphology of different scale ionospheric irregularities and its explanation were supported by the Russian Science Foundation Grant 17-77-20009. The reported study of auroral particle precipitation performed by A. Nikolaev and D. Rogov was funded by RFBR project 18-05-80004. Processing of ionosonde and magnetometers observation data and their interpretation were performed by K.G. Ratovsky, V.V. Klimenko, A.V. Dmitriev with financial support of Russian Foundation for Basic Research (grant 18-55-52006). The work of A. Oinats was performed with budgetary funding of Basic Research program II.12. The EKB HF radar observational results were obtained using the equipment of Center for Common Use «Angara» <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

## **UV radiation measurements in the polar regions by the TUS telescope onboard the Lomonosov satellite**

P.A. Klimov, K.F. Sigaveva

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

The TUS detector was launched in April 2016 aboard the Lomonosov satellite. The device is designed to register the fluorescent signal of extensive air showers (EAS) from ultra-high-energy cosmic rays in the wavelength range of 300-400 nm. EAS fluorescence is a weak and rapidly moving signal in the field of view of the detector; therefore, the TUS detector is a highly sensitive mirror telescope with an entrance pupil area of 2 m<sup>2</sup> and high temporal resolution (0.8 μs). The field of view of the device is 6400 km<sup>2</sup>, the angular resolution is 10 mrad, which corresponds to a 5x5 km square on the Earth's surface.

The Lomonosov satellite has a polar solar-synchronous orbit with an inclination of 97.6°, which allows measurements up to the highest latitudes on the night side of the orbit. The detector electronics implements several operating modes that differ in time resolution (from 0.8 μs to 6.6 ms) and allows recording optical phenomena of different time scales.

In this work, we analyze the UV glow in the polar regions of the northern hemisphere (60°-80° N), carried out in a mode with a temporal resolution of 6.6 ms and a waveform duration of 1.7 s. About 1200 observations were analyzed in a wide range of longitudes. A selection was made of events in which the spatio-temporal dynamics of the signal is observed, while events related to anthropogenic glow (cities) and oscillograms in which the signal represents statistical fluctuations of stationary noise are discarded. An analysis is made of the location of the selected events relative to the auroral oval, the observed spatiotemporal structures depending on the geomagnetic situation, and the characteristic spatial and temporal scales of the regions of increased UV glow are determined.

## **Comparison of two approaches for a point-to-point radio wave ray tracing in anisotropic medium**

D.S. Kotova<sup>1,2</sup>, I.A. Nosikov<sup>1</sup>, M.V. Klimenko<sup>1</sup>, P.F. Bessarab<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>*University of Iceland, Reykjavik, Iceland*

In this study we presented comparison of the method of characteristics and the variational method using anisotropic medium. This both approaches were performed for a HF ionospheric ray tracing. The method of characteristics is used to solve the eikonal equation. The variational method based on optimization of the optical path length with given boundary condition. We have analyzed the features interactions of this both methods used to obtain the full number of solutions in inhomogeneous anisotropic medium. This technique made it possible to find optimally a set of solutions (ray paths) and calculate the parameters of the radio wave at the desired endpoint (signal attenuation) in the anisotropic ionosphere.

This work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists (MK-2584.2019.5).

## **Extracting information about ionosphere-magnetosphere plasma from auroral observations**

B.V. Kozelov, A.V. Roldugin

*Polar Geophysical Institute, Murmansk-Apatity, Russia*

*E-mail: boris.kozelov@gmail.com, roldugin\_a@pgia.ru*

The report discusses the image processing methods aimed to extract information about ionosphere-magnetosphere plasma from routine auroral observations. Main attention devoted to the triangulation technique by data of MAIN (Multiscale Auroral Imaging Network) located in Apatity and camera system installed in Barentsburg observatory (Spitsbergen). The triangulation technique gives experimental information about altitudes of observed auroral structures that gives us possibility to deduce average energy (energy spectrum for some structures) in precipitated electron flux. Additional image processing method such as mathematical morphology and Sobel filtering are also applied to these data to improve the image contrast. The characteristics of precipitated electron are needed to understand dynamics the disturbed high-latitude ionosphere and ionosphere-magnetosphere interaction. Additionally we discuss the application of the methods characterizing the spatial-temporal dynamics of ionosphere-magnetosphere plasma instabilities by auroral data, such as avalanche spatial-temporal analysis and proper orthogonal decomposition.

The work of A.V. Roldugin was done in the frame of a grant RFBR 19-52-50025 ЯФ-a.

## **Peculiarities of the generation and propagation ELF/VLF waves emitted by EISCAT/heating facility**

A.V. Larchenko, Yu.V. Fedorenko, O.M. Lebed'

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

We present the results of multi-station ground-based observations of low-frequency electromagnetic fields from the ionospheric source initiated by powerful high frequency (HF) radio-waves emitted by EISCAT/heating facility in the heating experiment carried out by AARI in October 2016. The components of the ELF/VLF electromagnetic field have been recorded by high-latitude stations, namely "Lovozero", "Verkhnetulomsky" and "Lotta" at the Kola peninsula and also at the "Barentsburg" station located in Svalbard, Norway. It is shown that at the frequencies close to the first transverse resonance frequency of the Earth - ionosphere waveguide under same geomagnetic conditions the amplitude of the horizontal magnetic field at the Barentsburg station (946 km to the North from the

EISCAT/heating facility) often exceeds the amplitude of the magnetic field at the Lotta station (395 km to the East). But, with all conditions being similar, at the frequencies, higher and less than the first transverse resonance frequency was no such effect. To explain the observed effect the numerical model of the electromagnetic ELF/VLF wave generation and propagation in the Earth-ionosphere waveguide was developed. Using this model, the conditions that may induce an enhancement of the ELF/VLF field at the Barentsburg station relative to the Lotta station are considered.

### **Methods of quality control of GNSS data for TEC estimation**

E.E. Leonenko<sup>1,2</sup>, Yu.A. Shmelev<sup>1,2</sup>, A.S. Kalishin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), St. Petersburg, Russia*

*E-mail: ge-leonenko97@yandex.ru*

GNSS receivers gained wide distribution lately, in this regard, it became popular to evaluate some parameters of the ionosphere (TEC, foF2, etc) using GNSS data. However, the question arises about the quality of GNSS data for performing these estimations. This work presents a universal method for testing the suitability of GNSS data for estimating ionospheric parameters. The method was developed by estimating the calculated TEC values by GNSS data obtained from GNSS receivers installed at the Geophysical research station Gorkovskaya and in the village of Svetloe, Leningrad Region, in comparison with TEC data from the same coordinates, but obtained using the IRI-Plas model. The comparison was carried out for certain selected time intervals from October 1, 2019 to December 31, 2019. The results of the comparison showed that for high-quality GNSS data, the TEC calculations will almost coincide with the TEC model values according to IRI-Plas. That allows using this method to select only high-quality GNSS data for calculating ionospheric parameters.

This work was supported by grant №18-05-00343 from Russian Foundation for Basic Research.

### **Development of the "Aurora Arctic" GIS**

O.V. Nikiforov, A.A. Petrukovich, I.A. Uvarov

*Space Research Institute, Moscow*

The "Aurora Arctic" project is aimed at providing researches in the field of the ionosphere studies with online tools for geospatial data access, processing and analysis.

The information system is based on data archives of the DMSP satellite series, solar wind and magnetic fields observations obtained by the DSCOVR satellite, NCEP weather data and Earth remote sensing data from a number of satellites.

Recent development of the system was focused at the analysis of the user's experience, improvement of the interface. Besides that, new thematic data have been added. An experimental version of software for handling coherent radars data provided by the Decameter Band Coherent Radars Russian Segment project (<http://sdrus.iszf.irk.ru/>). Also, visualization of DMSP data is now available both in raster and isolate forms.

Another direction of the system's development is connected with the implementation of the ionospheric conditions forecasting models. The first implemented model is aimed at forecasting of the auroral oval borders based on the algorithm (Starkov, 1994) and assessment of the AL index with use of the model (Petrukovich, 2006) taking the hourly solar wind and interplanetary magnetic field data measured by the DSCOVR as the input. The 2 hour forecast is being updated hourly. The second one is the OVATION Prime model (Newell, 2009) which provides estimates for separate components of the auroral phenomena, including discrete and diffuse intensity fields.

The ongoing development of the system considers improvement of the user interface aimed at better flexibility and customization of the data visualization and analysis tools.

The development has been supported by the "Cosmos-D" theme, registration no. 0024-2019-0014 (Ministry of Education and Science).

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

- Machol J.L., J.C. Green, R.J. Redmon, R.A. Viereck, P.T. Newell (2012), Evaluation of OVATION Prime as a forecast model for visible aurorae, *Space Weather*, 10, S03005, doi:10.1029/2011SW000746
- Newell P.T., T. Sotirelis, S. Wing (2009), Diffuse, monoenergetic, and broadband aurora: The global precipitation budget, *J. Geophys. Res.*, 114, A09207, doi:10.1029/2009JA014326
- Starkov G.V. (1994) Mathematical description of the auroral glow boundaries, *Geomagnetism and Aeronomy*.
- Petrukovich A.A. (2006), Solar wind density effect on the night-side geomagnetic activity (AL index), *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 68, 1843–1849.
- Tolpin V.A., I.V. Balashov, V.Yu. Efremov, E.A. Loupian, A.A. Proshin, I.A. Uvarov, E.V. Flitman (2011), Creating interfaces for working with data of modern remote monitoring systems (GEOSMIS system), *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, V. 8, No. 3, Pp. 93-108.

## **Antenna coupling factor for topside ionosphere sounding by chirp signals**

A.V. Podlesnyi, A.A. Naumenko, M.V. Cedrik

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia; e-mail: pav1986@rambler.ru*

The article presents the results of the use of receiving and transmitting dipole antennas for sounding the ionosphere by a chirp signal, which have a common center. Conclusions are drawn about the possibility of using such facilities for sounding the topside ionosphere with hardware separation of polarizations. During tests conducted on a specially designed antenna stand, we have found that the coupling factor of transmitting and receiving antennas at mutual angles of  $45^\circ$  is no more than  $-10$  dB, and the difference between coupling factors of transmitting and receiving antennas with mutual angles of  $45^\circ$  and  $90^\circ$  is  $\sim 15$  dB.

The work was supported by RFBR grant No. 18-35-00510-mol\_a.

## **The characteristic of the ULF radiation received in the geophysical observatory “Mikhnevo” during the “FENICS-2019” experiment**

Yu.V. Poklad, B.G. Gavrilov, V.M. Ermak, V.A. Rybakov, I.A. Ryakhovskiy

*Institute of Geospheres Dynamics, Moscow, Russian Federation*

The “FENICS-2019” experiment was conducted in September 2019. ULF signals were generated in the Kola Peninsula in the frequency range of 0.4–200 Hz. The paper presents the values of the amplitude and phase of the signals recorded at the “Mikhnevo” geophysical observatory during this experiment.

## **A riometric empirical model of the HF radiowave absorption during the solar X-ray flares**

D.D. Rogov

*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

During solar X-ray flares, a sharp increase in the ion formation rate at the ionospheric D-region and the E-region lower part altitudes is observed. This effect has a significant impact on radio wave propagation at the illuminated ionosphere, causing attenuation. A simple empirical model for calculating this absorption was proposed. The proposed dependencies were derived from the statistical processing of recalculated experimental data obtained using the Canadian riometer chain in the period from 1989 to 2019. More than 3,800 high-intensity solar X-ray flares (M- and X-classes) were recorded during this time interval, which allowed to identify this effect peculiarities in different ionospheric conditions. A good correspondence of modeling results with experimental data is shown.

## **HF radio conditions operational monitoring in the Russian Federation Arctic region**

D.D. Rogov

*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

An algorithm for operational determination of HF radio wave propagation parameters and HF communication conditions by using the ionospheric oblique sounding network in the Russian Arctic region was developed. For the selected radio paths and frequency bands the presence of reflection signals and multi-beam conditions are assessed. Changes in the frequency bands at a number of high latitude HF radio paths in different heliogeophysical conditions have been analyzed. A significant role of reflections from ionospheric sporadic Es layers was shown, especially in night conditions and under geomagnetic disturbance conditions.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No.18-05-80004).

## **Approximate estimation of foF2 from TEC values received using GNSS measurements**

Yu.A. Shmelev<sup>1,2</sup>, E.E. Leonenko<sup>1,2</sup>, A.S. Kalishin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), St. Petersburg, Russia*

*E-mail: shmelev.juri@yandex.ru*

Critical frequency ( $foF2$ ) usually determined by vertical sounding ionosonde data. In connection with the proliferation of GNSS receivers, it becomes possible to determine the value of  $foF2$  using the TEC estimated from the receiver data. In this paper, the results of determination of  $foF2$  by TEC are presented. For this, the proportionality coefficient  $\tau$ , which is the equivalent thickness of the ionosphere ( $TEC = NmF2 * \tau$ ), is used.  $NmF2$  is proportional to the square of  $foF2$ ; therefore, to determine  $foF2$ , it is necessary to have  $\tau$ . The value of  $\tau$  is taken from the IRI-Plas model. Dividing the experimental value of TEC (obs) by  $\tau$  (IRI-Plas), we obtain the  $foF2$  value corresponding to TEC (obs). When comparing the  $foF2$  estimated with this method with  $foF2$  (IRI-Plas) and  $foF2$  (ionosonde), we get a slight error, which indicates the prospects of this method for estimating  $foF2$ .

This work was supported by grant №18-05-00343 from Russian Foundation for Basic Research.

## **Reconstruction of long-lived meteor track spatial characteristics on all-sky cameras**

T.E. Syrenova, A.B. Beletsky, R.V. Vasilyev, A.V. Mikhalev

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

The paper describes an algorithm for determining the spatial characteristics of a long-lived meteor track (LMT). It was observed November 18, 2017 during ~ 35-40 minutes, using two wide-angle cameras with overlapping fields of view and located at a distance of 150 km apart from each other. KEO Sentinel optical system is located in the Geophysical Observatory of the Institute of solar-terrestrial physics SB RAS (ISTP SB RAS) near the Tory, Tunkinsky district, Buryatiya republic. This camera is designed to record the spatial picture of the 630 nm emission intensity. The second wide-angle color camera is located in the Sayan Solar Observatory of the ISTP SB RAS, near Mondy.

Calibration by bright stars was made for each of the all-sky cameras, taking into account spherical distortions. For each pixel of the image, the azimuth and elevation are obtained geographical coordinates. LMT was distributed mainly horizontally in a southward with an average speed of about 60 m/s, in a westward ~ 11 m / s, in an eastward ~ 17 m / s. The height of the observed track was ~ 72-73 km. The characteristics based on optical data are compared with radiophysical ones.

This work was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research N19-35-90093.

## **Using the GEOSMIS technology for ionospheric data representation and analysis**

I.A. Uvarov, O.V. Nikiforov, A.A. Petrukovich

*Space Research institute of RAS*

Space Research institute of RAS has a long experience in development of Earth remote sensing information systems, which are aimed at solution of scientific and applied problems and provide users with on-line access to various types of data, particularly, satellite imagery, and data analysis tools. It resulted in implementation of the unified GEOSMIS technology, designed to handle extra large distributed multidimensional archives of satellite data and derived data products.

The development of the "Aurora Arctic" information system is based on using the GEOSMIS technology which runs the on-line cartographic interface capable of representation of a wide spectrum of geospatial data. The data include the multi-year satellite observations archive obtained using dozens of remote sensing instruments, having total data volume over 2 PB. Earth ionosphere observation data obtained by the DMSP series satellites are available in framework of the system among with solar wind data from NOAA and NCEP meteorological data.

The "Aurora Arctic" information system integrates a number of specialized software solutions for visualization and analysis of ionospheric data, including forecast of the auroral oval boundaries, all-sky cameras, coherent radar measurements, radial currents etc.

The users of the system are enabled to interactively select of all kinds of data based on a number of criteria (temporal, spatial and quantitative), imagery visualization with extra capabilities of RGB synthesis selection and brightness correction fine tuning, image classification, maintenance of users' custom spatial objects databases.

The development has been supported by the "Cosmos-D" theme, registration no. 0024-2019-0014 (Ministry of Education and Science).

## **A machine learning model for estimating energy entering the magnetosphere in the auroral zone based on GPS/GLONASS data**

A.V. Zhukov, Y.V. Yasykevich, S.A. Serebrennikova, A.M. Vesnin, A.V. Kiselev

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

Evaluation of the energy entering the magnetosphere is an urgent task. This paper proposes a new approach to solving this problem. The evaluation of the distribution of incoming energy in the magnetosphere is formed using of machine learning Random Forest based on data from global navigation satellite systems (GNSS), adjusted for the existing model of distribution of the energy density of the auroral zone Ovation Prime. The model is based on a large number of normalized data: a calm day, a magnetic storm, and a strong magnetic storm relative to the Kp index. The model also takes into account several other important parameters, such as seasonality and the solar radio flux F10.7.

## **Моделирование спектра свечения ночного неба Земли для систем полос, излучаемых при спонтанных переходах между различными состояниями молекулы электронно – возбуждённого кислорода**

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

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

Обсуждается различие рассчитанных значений интегральной светимости молекул электронно-возбуждённого кислорода для различных колебательных уровней для состояний возбуждённых молекул  $A^3\Sigma_u^+$  и  $A^3\Delta_u$ . Показано влияние сезонных вариаций атомарного кислорода на значения интенсивности

свечения систем полос Герцберга 1 и Чемберлена. Наблюдается хорошее согласие результатов расчётов интенсивности излучения систем полос Герцберга 1 и Чемберлена с результатами наземных наблюдений.

### **Ночная ионосферная УНЧ возмущенность, обусловленная турбулентными оболочками магнитных облаков солнечного ветра**

О.М. Бархатова<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>2</sup>, С.Е. Ревунов<sup>3</sup>, Д.С. Долгова<sup>3</sup>, Н.В. Косолапова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

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

<sup>3</sup>Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

В интервалы значительной суббулевой активности выполнен анализ УНЧ возмущений, возникающих одновременно в ионосфере и геомагнитном поле. Связь между развитием магнитосферных суббурь и элементами структуры магнитных облаков: ударной волной, оболочкой и телом облака отмечается во многих работах (см., например, [Бархатов и др., 2019]). Нами рассмотрено семь событий, содержащих последовательности интенсивных суббурь, которые вызывались турбулентными оболочками магнитных облаков (МО) солнечного ветра, следующими за их ударными волнами. Для обнаружения ионосферно-геомагнитных возмущений были использованы данные ПЭС (ТЕС) с сети GPS станций и значения Н-компоненты геомагнитного поля на магнитных обсерваториях, расположенных в интервале широт 30 - 60° с.ш., в ночном секторе LT, отвечающему западному (AL) электроджету. Характерные периоды и времена появления внутримангитосферных МГД возмущений устанавливались на основе использования метода спектрального вейвлет анализа с использованием базовой функции Добеши 4 порядка и его постпроцессинговой обработки с получением скелетона и их последующем сопоставлением.

Для всех рассматриваемых событий обнаружена синхронная ионосферная и геомагнитная возмущенность в ночное местное время с периодами от 7-35 минут на широтах 30° - 60° с.ш. в интервале, соответствующем прохождению магнитосферы через оболочки МО. Синхронность геомагнитных и ионосферных возмущений свидетельствует об их общей МГД природе. Наибольшее число событий с синхронным характером ионосферных и геомагнитных ночных возмущений отмечено для периодов 10.5, 21 и 31.5 минуты. Важным является то обстоятельство, что в местное дневное время синхронная ионосферная и геомагнитная возмущенность при этом практически отсутствует. В случае ее возникновения, наиболее часто регистрируемым периодом является значение 14 минут. Оно не совпадает с наиболее часто регистрируемыми «ночными» периодами. Это говорит о том, что регистрируемые в дневное и ночное местное время синхронные возмущения в системе магнитосфера-ионосфера имеют разные источники и ночная УНЧ возмущенность в магнитосферно-ионосферной системе вряд ли связана с резонансным взаимодействием магнитосферы с солнечным ветром, описанным в [Kerko et al., 2002; Alimaganbetov et al., 2018].

В геомагнитоспокойный (по значениям AL) часовой интервал перед приходом УВ МО к магнитосфере, синхронность между плазменными и магнитными возмущениями на рассматриваемых станциях отсутствует.

Отмеченные результаты свидетельствуют о существовании причинно-следственной связи турбулентных возмущений в оболочке и УВ МО с возникновением синхронных внутримангитосферных МГД возмущений, возникающих на фоне развития интенсивного суббулевого процесса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект №18-35-00430 (Бархатова О.М., Долгова Д.С.).

Бархатов Н.А., Долгова Д.С., Ревунова Е.А. Геомагнитная активность структуры магнитных облаков // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 59. № 1. С. 19–29. 2019

Kerko L., Spence H.E., Singer H.J. ULF waves in the solar wind as direct drivers of magnetospheric pulsations // Geophys. Res. Lett. 2002, vol. 29, pp. 1197. DOI: 10.1029/2001GL014405.

Alimaganbetov M. and Streltsov A.V. ULF waves observed during substorms in the solar wind and on the ground // J. Atmos. Sol. Ter. Phys. V.181. P.10-18. 2018

### **Вклад суббуревых высыпаний в полное электронное содержание ионосферы**

В.Б. Белаховский

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

В работе произведена оценка вклада ионосферных слоев в изменение полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы, определяемого по данным GPS приемников, во время суббуревых высыпаний заряженных частиц. Значения концентрации ионосферной плазмы, определяемой по данным радара некогерентного рассеяния UHF EISCAT в Тромсе, интегрировались по высоте (примерно от 100 до 500 км) и пересчитывались в единицы измерения ПЭС (TECU). Использованы GPS приемники на станциях TRO, SKI, KIR расположенные вблизи радара EISCAT. Для идентификации геомагнитных суббурь использованы данные магнитометров сети IMAGE, а также оптические наблюдения полярных сияний в эмиссиях 557.7, 630.0 нм на станции LOZ. Анализ показывает, что во время суббуревых высыпаний основной вклад в ПЭС (около 90%) обеспечивается концентрацией плазмы на высотах примерно 100-400 км. Поэтому вклад плазмосферы в ПЭС ионосферы достаточно мал во время суббуревых высыпаний в высоких широтах.

### **О возможности использования ПЗС матриц с широким спектральным диапазоном в исследовании полярных сияний**

В.Е. Иванов, Ж.В. Дашкевич

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

Показана возможность использования камер с ПЗС матрицами, имеющими широкий спектральный интервал, для исследования энергетических характеристик высыпавшихся во время полярных сияний потоков энергичных частиц. Исследована взаимосвязь между полной выделившейся в атмосфере энергии и интенсивностью свечения в полярных сияниях с учетом спектральной чувствительности регистрирующего приемника.

Поддержка гранта РФФИ 19-52-50025 ЯФ\_а.

### **Влияние поглощения на определение скорости объемной эмиссии OI 135.6нм в задаче спутниковой УФ-томографии ионосферы**

С.А. Калашникова, А.М. Падохин, Е.С. Андреева

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

В работе представлены результаты моделирования прямой и обратной задач низкоорбитальной спутниковой УФ-томографии скорости объемной эмиссии OI 135.6нм в ионосфере с учетом поглощения собственного УФ-излучения верхней атмосферы молекулярным кислородом. В ходе моделирования использовались геометрия орбиты спутников DMSP, несущих УФ-спектрометры SSUSI и SSULI, реальные параметры работы этих приборов (скорость и интервал углов сканирования), а также набор реалистичных распределений скорости объемной эмиссии OI 135.6нм, и коэффициента поглощения молекулярным кислородом в верхней атмосфере, полученных на основе моделей NeQuick2 и NRLMSISE-00.

Показано, что результаты восстановления скорости объемной эмиссии OI 135.6нм весьма чувствительны к точности задания высотного профиля коэффициента поглощения. Так, неучет поглощения для лучей сканирования с точкой перигея на высотах ~100 км и ниже приводит к невозможности восстановления модельного распределения скорости объемной эмиссии. Это происходит за счет того, что для таких лучей наблюдаемое спектрометром собственное свечение верхней атмосферы эффективно получается только с первой половины длины луча (от высоты спутника до высоты перигея луча). Неучет поглощения молекулярным кислородом возможен лишь для лучей с высотой перигея выше 150 км, что приводит к дополнительным ошибкам восстановления распределения скорости объемной эмиссии не более 10-15%.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-05-00941).



## **Сравнение методов D1-Geo и SADM-Geo в задаче определения параметров ПИВ на основе экспериментальных данных приема сигналов COMPASS/BeiDou**

Е.А. Козловцева, С.А. Калашникова, Н.А. Терешин, Ю.С. Туманова

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

В данной работе обсуждается сравнение двух адаптированных для данных геостационарных спутников ГНСС методов определения ПИВ, разработанных на основе методов D1/SADM [Афраимович, Перевалова]. Описаны основные подходы, использующиеся для реализации данных методов, а также специфика работы с геостационарными спутниками ГНСС.

Для сравнительного анализа работы двух разработанных методов используется модель распространения ПИВ на основе модели глобальной электронной концентрации IRI и модели NRLMSISE-00. Экспериментальная проверка осуществляется на основе длинных рядов данных приема спутников ГНСС COMPASS/BeiDou в Австралии и Океании за 2015-2019 гг. В работе показаны сезонные и внутрисуточные статистики азимутально-скоростного распределения наблюдаемых ПИВ, полученные с использованием двух адаптированных методов. Обсуждаются особенности получаемых распределений, вызванные спецификой работы того или иного метода, в частности, низкой точностью определения скорости ПИВ методом SADM.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00663).

## **Организация радиотрасс Тверь-Ловозеро и Ловозеро-Земля Франца-Иосифа**

А.М. Мерзлый<sup>1,2</sup>, А.Б. Талалаев<sup>3</sup>, Л.Г. Устименко<sup>4</sup>, В.В. Тихонов<sup>5</sup>,  
А.Т. Янаков<sup>1</sup>, Я.А. Сахаров<sup>6</sup>, И.В. Мингалев<sup>6</sup>, З.В. Суворова<sup>6</sup>

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

<sup>2</sup>*Совет по космосу РАН, г. Москва, Россия; e-mail: pinega142@yandex.ru*

<sup>3</sup>*АО «РТИ», г. Москва, Россия*

<sup>4</sup>*Институт прикладной геофизики, РосГидроМет, Москва*

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

<sup>6</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия; e-mail: mingalev\_i@pgia.ru*

В докладе представлен анализ информации о состоянии ионосферы, которую может дать работа радиотрасс Тверь-Ловозеро и Ловозеро-Земля Франца-Иосифа, а также радиотрасс между различными точками в Арктике и на средних широтах при условии, что кроме времени прохождения сигнала будут измеряться углы прихода сигнала в приемную антенну и мощность принятого сигнала. Представлены результаты расчетов зон на поверхности Земли, в которые попадают односкачковые лучевые траектории радиоволн КВ диапазона, выходящие из одного передатчика. На основе расчетов для разных положений передатчика и разных геофизических условий делаются выводы о расположении набора радиотрасс, которые позволят определять текущее положение главного ионосферного провала.

## **Анализ зон засветки односкачковыми лучевыми траекториями для передатчиков в КВ-диапазоне и обеспечение радиосвязи в Арктическом регионе**

И.В. Мингалев<sup>1</sup>, З.В. Суворова<sup>1</sup>, А.М. Мерзлый<sup>2,3</sup>, А.Б. Талалаев<sup>4</sup>,  
В.В. Тихонов<sup>5</sup>, А.Т. Янаков<sup>2</sup>, В.С. Мингалев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатиты, Россия; e-mail: mingalev\_i@pgia.ru*

<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*

Обсуждаются результаты численного моделирования области на поверхности Земли, в которую попадают выходящие из одного передатчика односкачковые лучевые траектории радиоволн КВ диапазона, и которая существенно меняется в течение суток. Исследуются изменения этой зоны для передатчиков, расположенного в нескольких точках на средних широтах в течение суток для разных дат и для разных частот КВ диапазона, близких к максимальной применимой частоте (МПЧ) для данных условий. Проводится анализ результатов моделирования и делается вывод о возможности односкачковой КВ радиосвязи между районом Баренцева моря и районами, расположенными на средних широтах.

### **Стационарная модель E-слоя авроральной ионосферы Auroral Ionospheric Model (E-AIM)**

В.Д. Николаева<sup>1</sup>, Е.И. Гордеев<sup>2</sup>, А.В. Николаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский Государственный университет*

Модель авроральной ионосферы (E-AIM) предназначена для расчетов обеспечения временного и пространственного распределения плотности основных нейтральных ионосферных частиц (NO, N (4S), N (2D)) и ионов ( $N_2^+$ ,  $NO^+$ ,  $O_2^+$ ,  $O^+$ ) в диапазоне высот от 90 до 150 км. Для расчетов параметров термосферы (состава нейтральной атмосферы и вертикального распределения температуры) используется эмпирическая модель MSIS (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter), последней версией которой является NRLMSISE-00 [Picone, JGR, 2003]. Основой модели E-AIM является решение системы уравнений неразрывности для ионов и малых нейтральных компонент с учетом двух основных источников ионизации: ультрафиолетового солнечного излучения и спорадической ионизации электронами магнитосферного происхождения. Потока магнитосферных частиц является наиболее важным источником ионизации и основной причиной возмущений электронного слоя. Во время геомагнитных возмущений, электроны с начальной энергией 1—30 кэВ наиболее существенно влияют на электронную концентрацию E-слоя авроральной ионосферы. В модели E-AIM скорость ионизации за счет корпускулярной ионизации может задаваться двумя различными способами: 1. с использованием спутниковых данных потока электронов; 2. с дифференциальным энергетическим спектром, восстановленным по средним значениям эмпирической модели OVATION-Prime [Newell, JGR 2009], что позволяет оценивать содержание ионов в ионосфере в любое время и в любом месте авроральной зоны, независимо от наличия прямых измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-80004).

### **Вариационный метод расчета радиолучей в анизотропной ионосфере**

И.А. Носиков<sup>1</sup>, М.В. Клименко<sup>1</sup>, Д.С. Котова<sup>1</sup>, П.Ф. Бессараб<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Калининград, Россия*

<sup>2</sup>*Университет Исландии, Рейкьявик, Исландия*

В работе представлена формулировка вариационного метода решения граничной задачи о расчете лучевых траекторий коротких волн в неоднородной анизотропной ионосфере. Предложенный метод наилучшим образом подходит для решения задач, где начальное направление распространения волны неизвестно, но вместо этого задано положение пункта регистрации волны. Применение метода в неоднородной среде демонстрирует его способность разрешать сложные конфигурации лучей, включая трехмерное распространение и многолучевое распространение, когда лучи имеют близкие параметры излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых (МК №-2584.2019.5).

### **Результаты моделирования общей циркуляции атмосферы Земли для условий января с детальным учетом радиационного нагрева**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Анатумы; e-mail: orlov@pgia.ru, mingalev\_i@pgia.ru*

В докладе обсуждаются результаты численного моделирования общей циркуляции атмосферы Земли для условий января, полученные с помощью газодинамической модели с полноценным учетом радиационного нагрева-выхолаживания воздуха. 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.

### **Влияние горизонтального нейтрального ветра F-области ионосферы на ориентацию поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей (по данным 2008 – 2012 гг., Москва)**

Н.Ю. Романова

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», Мурманск; e-mail: romanova@pgi.ru*

С октября 2008 г. по март 2012 г. над московским регионом методом радиозондирования, разработанным в ПГИ, было получено ~250 случаев, когда можно было численно определить ориентацию поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей электронной плотности в F-области ионосферы. Среди ~250 случаев присутствуют 33 случая, когда в небольшой пространственной области (1-2°) ориентация поперечной анизотропии изменялась на несколько десятков градусов. Такие случаи были сопоставлены с расчетным направлением горизонтального нейтрального ветра (модель HWM07). Было установлено, что ориентация поперечной анизотропии неоднородностей соответствует направлению ветра, меняющемуся либо с высотой, либо в пространстве на одной высоте.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00941.

### **Сравнение результатов расчёта локальных вариаций абсолютного значения ПЭС с данными мировых геофизических сетей**

И.А. Ряховский, Б.Г. Гаврилов, Ю.В. Поклад, С.З. Беккер

*Институт динамики геосфер им. М.А. Садовского РАН*

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) активно используются для изучения процессов, происходящих в ионосфере. Использование фазовых и кодовых измерений двухчастотных приемников ГНСС позволяет получать вариации полного электронного содержания (ПЭС) на луче спутник – приемник. Однако, вариации ПЭС дают в основном качественное представление об изменениях в ионосфере. Поэтому, для перехода к количественным оценкам, необходимо решить задачу восстановления абсолютного значения ПЭС. Решение этой задачи требует коррекции полученных данных путем учета дифференциальных кодовых задержек (ДКЗ) в приеме-передающих трактах спутников и приемника. Разработанный нами алгоритм позволил получать абсолютное значение ПЭС, скорректированное не только по ДКЗ, но и с учетом получаемых независимым путем данных по высоте максимума электронной концентрации в F2-области ионосферы.

Представленные в работе результаты расчёта абсолютного значения ПЭС и ДКЗ над ГФО «Михнево» (54.95° с.ш., 37.77° в.д.) хорошо согласуются с данными мировых сетей, таких как Madrigal и MGEX.

## Субавроральные потоки ионов из ионосферы в области развития поляризационного джета

А.Е. Степанов<sup>1</sup>, В.Л. Халипов<sup>2</sup>, А.Ю. Гололобов<sup>3</sup>, И.А. Голиков<sup>1,3</sup>, С.Е. Кобякова<sup>1</sup>, Е.Д. Бондарь<sup>1</sup>

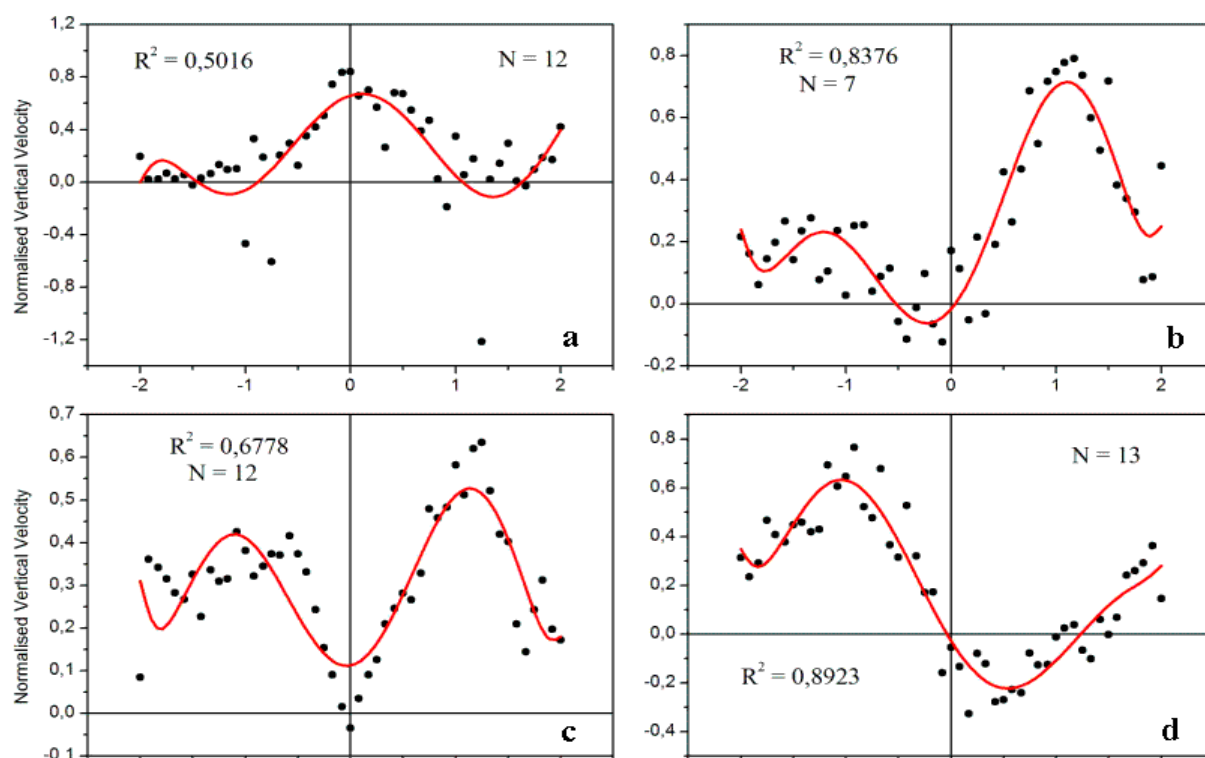
<sup>1</sup>Институт космических исследований и аэронавтики, Якутск, Россия; e-mail: a\_e\_stepanov@ikfia.ysn.ru

<sup>2</sup>Институт космических исследований, Москва, Россия; e-mail: khalipov@iki.rssi.ru

<sup>3</sup>Северо-восточный федеральный университет, Якутск, Россия; e-mail: golart87@gmail.com

Изучены и классифицированы быстротекающие динамические процессы, возникающие в системе нейтральной атмосферы и ее ионизованной компоненты в верхней области F2 при воздействии на среду мощного электрического поля с амплитудой 50- 100 мВ/м, иногда до 150 мВ/м. Сделан статистический анализ развития восходящих потоков плазмы из ионосферы в плазмосферу для различных геофизических условий.

По данным доплеровских измерений на субавроральной ионосферной станции Якутск впервые обнаружены новые, ранее неизвестные, динамические явления во время развития поляризационного джета. Проведенное исследование горизонтальных и вертикальных скоростей дрейфов ионосферы выявило, что в периоды наблюдения поляризационного джета пик вертикальной компоненты скорости не всегда совпадает с пиком горизонтальной составляющей. Скорости горизонтального дрейфа плазмы составляют, в среднем, ~300–600 м/с (есть события со скоростями 900–1000 м/с). Скорости вертикальной составляющей дрейфа, также в среднем, составляют 30–50 м/с (есть события со скоростями 100–150 м/с). По результатам анализа наземных ионосферных данных установлено, что все события с развитием поляризационного джета над Якутском подразделены равномерно на 4 группы, где первая группа – это когда значения вертикальных скоростей в полосе поляризационного джета достигали максимума одновременно с горизонтальными скоростями. В двух других группах времена пиков вертикальных скоростей сдвинуты в обе стороны от реперного времени на  $\pm 1$  ч, а в последнем случае вертикальные скорости имеют равнозначные пики по обе стороны от пиковых значений горизонтальных скоростей.



Результаты наблюдения дрейфов ионосферной плазмы в области поляризационного джета (Геомагнетизм и Аэронавтика, 2019, Т.5, С. 578-581. DOI: 10134/ 50016794019050134).

## **Использование глобальной оптимизации на основе симплицальной гомологии для трассировки лучей в ионосфере методом пристрелки**

Н.А. Терешин, Е.А. Козловцева, С.А. Калашникова, Ю.С. Туманова

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

В этой работе обсуждается применение глобальной оптимизации на основе симплицальной гомологии (SHGO) в процедуре трассировки КВ-лучей в задачах распространения «точка-точка». Описаны основные принципы работы используемого метода глобальной оптимизации в контексте данной задачи, а также рассмотрены его достоинства и недостатки в сравнении с другими методами. На основе модели среды, построенной с использованием моделей NeQuick2, IGRF12 и NRLMSISE-00, показаны примеры использования данного метода для задач трассировки лучей в заданной модельной среде. Представленные в работе примеры демонстрируют способность предлагаемого метода разрешать различные конфигурации лучей, которые возникают в трехмерной неоднородной анизотропной ионосфере, включая многолучевое распространение вблизи МПЧ E-слоя, а также решения с большим количеством лучей вблизи МПЧ слоев F1/F2. Также на примере симулированной трассы распространения КВ-волн Ловозеро-Диксон продемонстрирована способность данного метода получать смоделированные наклонные ионограммы, хорошо согласующиеся с экспериментальными методами исследования. Симулируемые ионограммы рассчитываются в автономном режиме, не требуя ручного изменения параметров метода оптимизации в процессе построения ионограммы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00663).

## **Сезонная зависимость проявления эффекта утреннего понижения поглощения в явлениях ППШ**

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

*Арктический и Антарктический Научно-исследовательский институт (АНИИ, СПб), отдел геофизики*

*E-mail: vauliev@yandex.ru*

В ряде явлений ППШ, было зарегистрировано понижение поглощения в утренние часы (эффект утреннего понижения - УП) на ряде высокоширотных станций, расположенных в центральной части полярной шапки: на российских антарктических станциях Восток и Прогресс и на канадских арктических станциях TALO и RANR.

Анализ экспериментальных данных показал, что большинство эффектов УП было зарегистрировано во время ППШ, происходивших в равноденственные сезоны года. Это объясняется тем, что после сильных солнечных вспышек происходят выбросы корональной массы состоящей из корональной плазмы и замороженного магнитного поля (магнитное облако – МО). Особенности структуры и взаимодействия МО с магнитным полем хвоста магнитосферы обуславливают сезонную вариацию проявления эффекта УП.

## **Результаты наблюдений частного солнечного затмения 11 августа 2018 года на сети трасс наклонного зондирования ионосферы в Евроазиатском регионе**

В.П. Урядов<sup>1</sup>, В.И. Куркин<sup>2</sup>, Ф.И. Выборнов<sup>1,3</sup>, А.В. Першин<sup>1</sup>, О.А. Шейнер<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup>*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

<sup>3</sup>*ВГУВТ, г. Нижний Новгород, Россия*

Представлены результаты наблюдений частного солнечного затмения 11 августа 2018г. на трассах наклонного ЛЧМ-зондирования: Ловозеро – Васильсурск, Норильск – Васильсурск, Иркутск – Нижний Новгород и Хабаровск – Васильсурск при степени покрытия Луной солнечного диска в пределах 12÷53% в

## *Ionosphere and upper atmosphere*

зависимости от ориентации и протяженности трассы. Показано, что на всех трассах в интервале затмения наблюдался эффект уменьшения МНЧФ на 8-10% и увеличение МНЧ Es на трассе Ловозеро – Васильсурск на 15%. Во время солнечного затмения на трассах Ловозеро – Васильсурск и Норильск – Васильсурск наблюдались квазипериодические вариации МНЧ Es и МНЧ 1F с периодами  $\sim 30$  и  $50$  минут, соответственно.

Работа Ф.И. Выборнова и А.В. Першина выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-02-00343.

## **Проявления GPS-ТЕС флуктуаций и ошибок GPS позиционирования, обусловленные полярными сияниями во время аврорального возмущения 27 сентября 2019 года**

И.И. Шагимурагов<sup>1</sup>, М.В. Филатов<sup>2</sup>, И.Е. Захаренкова<sup>1</sup>, И.И. Ефишов<sup>1</sup>, Н.Ю. Тепеницина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Калининградский филиал ФГБНУ ИЗМИРАН, г. Калининград; e-mail: shagimuratov@mail.ru

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

Для анализа ТЕС флуктуаций привлекались фазовые измерения европейских GPS станций, расположенных в авроральной и субавроральной ионосфере. Флуктуационная активность оценивалась индексом ROT (Rate of TEC). Полярные сияния фиксировались на станции Кируна камерой полного неба (<http://www2.irf.se/allsky/dasc/>). Для расчёта ошибок использовался алгоритм PPP (Precise Point Positioning). Для этих целей использовалась программа GIPSY NASA Jet Propulsion Laboratory (<http://apps.gdgps.net>). Мы определяли для каждой станции 3D ошибки ( $P_{3d}$ ), как детрендрованные координаты от средних значений ( $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ ) на каждую эпоху. Авроральная активность, которая оценивалась по AE индексу, развивалась в послеполуденное время. В соответствии с этим развивалась и флуктуационная активность. Максимальная интенсивность ТЕС флуктуаций регистрировалась на станциях Тромсё (69.4N, 18.6E) и Кируна (67.5N, 21.0E). Интенсивность флуктуаций спадала к экватору и наиболее южная станция, на которой наблюдались слабые флуктуации была станция TRDS (63.2, N, 10.3 E). Проявление и развитие флуктуаций ассоциировалось с авроральным овалом. Анализ ошибок позиционирования показал, что ошибки в целом увеличивались во время возмущения, и их величина достигала нескольких метров. Необычайно большие ошибки позиционирования, превышавшие десятки метров, были зарегистрированы на станциях Тромсё и Кируна. По наблюдениям камер полного неба станции Кируна выявлено временное соответствие полярных сияний и ошибок позиционирования. Также выявлены всплески повышенной интенсивности ТЕС флуктуаций во время усиления полярных сияний, что свидетельствует о пересечении сигналов спутников зоны полярных сияний.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00570.

## **О роли солнечных корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра в динамике характеристик ионосферы**

О.А. Шейнер<sup>1</sup>, Ф.И. Выборнов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>ВГУВТ, г. Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты исследований влияния солнечных явлений, таких как корональные выбросы (СМЕ) и высокоскоростные потоки солнечного ветра, на характеристики ионосферы. Рассмотрен набор параметров космической погоды (тип и скорость корональных выбросов массы, поток рентгеновских лучей, скорость высокоскоростного солнечного ветра), который позволил выявить доминирующие физические связи между динамикой ионосферы и этими двумя солнечными явлениями. В исследовании используются данные вертикального и наклонного зондирования ионосферы, полученные во время нескольких солнечных событий, произошедших в 24 солнечном цикле. Показано, СМЕ и высокоскоростные солнечные потоки являются глобальными событиями солнечной активности, влияющими на параметры, используемые для характеристики ионосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования.

## Mesospheric ozone in artificial modification of lower ionosphere

N.V. Bakhmeti'eva<sup>1</sup>, Y.Y. Kulikov<sup>2</sup>, V.L. Frolov<sup>1</sup>

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

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

We presents some results of microwave observations of the middle atmosphere ozone under perturbation of the ionosphere by a powerful HF radio emission by the mid-latitude SURA heating facility (56,°N, 46,1°E). New experiments were a continuation of studies to clarify the physical nature of the new phenomenon a decrease of the intensity of the microwave emission of the mesosphere in the ozone line when artificially impact on the lower ionosphere [1,2].

Experiments were carried out on September 28, 2018 and on September 10–12, 2019. A microwave ozonemeter allows to measure of the ozone emission spectrum for time about 15 min a precision of ~ 2%. On the measured spectra were appreciated of ozone vertical profiles in the height region of 22–60 km. The ionosphere was disturbed by radiation of a powerful extraordinary radio wave to the Zenith at the frequency of 4.7 MHz with an effective radiation power of 100 MW in the mode of 30 minutes – the heating on and 30 minutes – the heating off of the SURA facility. During the pauses between the heating sessions under unperturbed conditions, the ionospheric plasma and neutral atmosphere were diagnosed at altitudes of 50–130 km by the method of the resonant scattering of radio waves by artificial periodic irregularities of the ionospheric plasma (API technique). According to the characteristics of the scattered signal, a number of the most important parameters of the ionospheric plasma and the neutral atmosphere are determined. There are the electron density, velocities of regular and turbulent vertical motions, the temperature and the density of the neutral atmosphere.

In experiments on the diagnosis of the lower ionosphere by the API technique the correlation of the development of perturbations in the lower ionosphere when disturbed to powerful HF radio emission and a decrease of the intensity of the emission spectrum of the middle atmosphere in the ozone line proved.

Possible mechanisms of the influence of internal gravity waves and a precipitation of energetic electrons on variation of the spectrum of microwave emission of the mesospheric ozone are considered.

The work were supported the RFBR grants 18-45-520009 (microwave ozone spectra measurements) and 18-05-00293 (API diagnostics of the ionosphere).

1. Yu.Yu. Kulikov, V.L. Frolov. Influence of artificially perturbed ionosphere on mesospheric ozone. *Chemical physics*. V. 32, № 11, P. 26-30, 2013.

2. A.F. Andrianov, N.V. Bakhmet'eva, V.D. Vyakhirev et al. A study of the density variations of mesospheric ozone in the case of ionospheric perturbation by the «SURА» facility radiation with simultaneous diagnostics of ionospheric plasma. *Radiophysics and quantum electronics*, V. 62, No. 5, P. 328-341, 2019.

## The representation of ionospheric potential in the global chemistry-climate model SOCOL

A.V. Karagodin<sup>1</sup>, E.V. Rozanov<sup>2,3</sup>, E.A. Mareev<sup>4,5</sup>, I.A. Mironova<sup>1</sup>, E.M. Volodin<sup>6</sup>, K.S. Golubenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Physics, University of St-Petersburg, St-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Physikalisch-Meteorologisches Observatorium World Radiation Center, Davos, IAC ETH, Zurich, Switzerland*

<sup>3</sup>*West Department of Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia*

<sup>4</sup>*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>5</sup>*Department of Radiophysics, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod-National Research University, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>6</sup>*Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Here, we present the first results of calculations of the ionospheric potential (IP) using the Chemistry-Climate Model (CCM) SOCOL (Solar Climate Ozone Links). For this research, we use the parameterization of potential difference between the Earth's surface and the lower boundary of the ionosphere basing on the function of lightning and electrical cloud properties. The model demonstrates rather good agreement with the IP obtained by balloon soundings. The simulated UT variation of IP shows a maximum of 20 UT and a minimum of about 2 UT, which is consistent with the UT lightning cycle. The obtained results made it possible to understand the nature of IP

## ***Low atmosphere, ozone***

variability on a daily, seasonal, and annual time scales. We also compare our results with IP simulated with the INMCM4 climate model using the same IP parameterization. The comparison shows a good agreement between UT cycles, especially up to 12UT. The simulated IP annual cycle peaks in late spring in both models. However, the comparison also reveals some differences in the amplitudes of IP variability at different time scales. Large deviations occur after 12 UT for all seasons except summer, where the maximum of both results occurs up to 12 UT. The IP UT cycle simulated by CCM SOCOL is better consistent with observations after 12 UT in terms of phase with similar timing of maximum values. Calculating IP using climate models can help fill in gaps when the observed IP is not available. Interactive calculation IP is also a step forward in combining atmospheric and ionospheric processes.

This work has been done in scope of the grant RFBR N° 17-55-10014. Karagodin A. expresses an acknowledge for supporting this work by the grant RFBR N° 19-35-90134.

## **The simulation of vibrational populations of electronically excited N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in the middle atmosphere of the Earth 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, 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 and molecular oxygen in the middle atmosphere of the Earth during precipitations of high-energetic protons and electrons. 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 electronically excited molecular nitrogen. It is pointed out on very important role of the collisions of N<sub>2</sub>(A<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>) with O<sub>2</sub> molecules on the electronic excitation of O<sub>2</sub> at the altitudes of the middle atmosphere. It is shown that the increase in the density of the atmosphere leads to more significant excitation of electronically excited O<sub>2</sub> by intermolecular electron energy transfers from N<sub>2</sub>(A<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>).

## **Results of microwave monitoring of the middle atmosphere ozone in polar latitudes for two winter seasons 2017-2018 and 2018-2019**

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 of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia*

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

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

We present data continuous series of microwave observation of the middle atmosphere ozone in winters 2017-2018 and 2018-2019. Measurements were carried out with the help of mobile ozonemeter (observation frequency 110.8 GHz), which was established at Polar Geophysical Institute in Apatity (67N, 33E). This device allows to measure of the ozone emission spectrum for time about 15 min a precision of ~ 2%. On the measured spectra were appreciated of ozone vertical profiles in the layer of 22 – 60 km which were compared to satellite data MLS/Aura and with the data of ozonesonde at station Sodankyla (67N, 27E).

Primary goal of microwave experiment is the estimation of influence a polar perturbations on the middle atmosphere ozone. Geomagnetic indignations have the best activity in auroral region in which Apatity are located. It is known, that the middle atmosphere ozone responds as on penetration of vigorous particles, for example, solar proton events and the auroral phenomena, and to dynamic processes, for example, a sudden stratospheric warming (SSW). Therefore winter seasons represent special interest for solar-terrestrial communications, owing to practically simultaneous increase of solar illumination and formation SSW.

Winter microwave observations were carried out during sudden stratospheric warming. The winter 2017-2018 there was SSW in the middle of February, 2018. The warming lasted about a week. The maximum temperature rose to 240 K on February, 16, which is higher on 50 K of the mid-temperature the January. In the winter 2018-2019



SSW began December, 27 both has terminated February, 1 and there were duration almost 40 days. The analysis of the microwave data on behavior of the middle atmosphere ozone in winter seasons shows, that SSW can render significant and long influence on a diurnal change of mesospheric ozone (60 km) which basically is determined by photochemical processes. Thus is important, that microwave observations were carried out during a deep minimum of a solar cycle. The important fact is established, that of the ozone content in mesosphere can differ considerably from winter to winter. Apparently, dynamic processes through SSW differently influence carry of ozone from low latitudes.

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

## **High altitude polar stratospheric clouds at Lovozero in 2020**

V.C. Roldugin, A.V. Roldugin

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

In January 2020 at Lovozero observatory polar stratospheric clouds are occurred. The most interesting case took place at 27 January when the cloud altitude was unusually high.

## **Neutral water clusters in the Earth's atmosphere: The effect of orientational isomerism on their concentrations and thermodynamic parameters**

E.A. Shirokova<sup>1</sup>, A.G. Razuvaev<sup>1</sup>, A.V. Mayorov<sup>2</sup>, B. Aradi<sup>3</sup>, T. Frauenheim<sup>3</sup>, S.K. Ignatov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup>*National Institute of Standards and Technologies, Gaithersburg, USA*

<sup>3</sup>*University of Bremen, BCCMS, Bremen, Germany*

*E-mail: ekashirokova@gmail.com*

Water clusters take part in such atmospheric processes as the electromagnetic radiation propagation and chemical reactions. As a result, multimolecular complexes of water, being contained everywhere in the Earth's atmosphere, play an important role in climate formation and change.

However, the estimates of the thermodynamic characteristics and equilibrium concentrations of water clusters in the gas phase vary significantly. In particular, the influence of the clusters' structural diversity on their thermodynamic characteristics remains unclear.

In order to estimate the effect of orientational isomerism on the thermodynamic parameters and concentrations of water clusters in the gas phase, 133 isomeric structures of water hexamer (H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> have been studied using the DFT (B3LYP/6-311++G(2d,2p)), G4, W1BD, DFTB, and MB-pol calculations.

It was found that taking into account of the orientational isomerism leads to the values of water cluster gas-phase concentrations different by 1–2 orders of magnitude from the results obtained when only single or several most energetically favorable structures are considered. The absolute Boltzmann-averaged estimates of the hexamer binding enthalpy per monomer equal 5.50 kcal/mol (G4 results) and 5.77 kcal/mol (DFT results). The concentrations of all the considered hexamer structures in the saturated water vapor at 298.15 K are estimated as  $1.61 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$  (G4) and  $8.17 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$  (DFT).

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research and the government of Nizhny Novgorod region of the Russian Federation (project 18-43-520012). *NIST Raritan Cluster* was used to perform *Gaussian16* calculations. E.A. Shirokova is grateful to the Deutsche Forschungsgemeinschaft for the financial support during her internship at BCCMS (project DFG-RTG 2247).

## **Influence of powerful solar proton events on intensity of the stratospheric polar vortex**

S.V. Veretenenko

*Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia*

The stratospheric polar vortex is an important link between the lower atmosphere circulation at extratropical latitudes and solar activity which is due to its favorable location for precipitation of energetic charged particles (solar and galactic cosmic rays, auroral electrons and electrons from the radiation belts). In this work variations of the polar vortex intensity in the course of powerful solar proton events are studied, with the NCEP/NCAR reanalysis data being used. A pronounced strengthening of western winds in the polar stratosphere associated with solar proton events in January, 2005 and October-November, 2003 was found. It was shown that auroral activity may also contribute to the vortex intensification. The obtained results allow suggesting that the strength of the polar vortex may be influenced by ionization changes associated with solar cosmic ray and auroral electron precipitations.

## **UVI forecast over Bulgaria – First results**

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

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

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

<sup>3</sup>*Polar Geophysical Institute (PGI), Kola Science Centre, Murmansk, Apatity Division, Apatity, Russia*

The UV-index (UVI) is a measure of the erythemally effective solar radiation reaching the Earth surface. It was introduced to alert people about the need of sun protection and to help for elaborating recommendations about safety exposure to solar UV radiation. Therefore, the UVI has to be determined with adequate accuracy and its forecast appears to be an essential task. To minimize the risk of too high sunburn levels, the UVI previsions are usually made for clear sky conditions (cloud and aerosol free atmosphere). For the UVI forecast for the Bulgarian region are used GOME-2 satellite forecast data with a resolution of 0.25 by 0.25 degrees. Higher resolution maps to about 1/200 degree (corresponding to about 1km) are produced by downscaling taking into account the topography, based on satellite data of the Shuttle Radar Topography Mission. More over the UVI index was corrected for the underlying surface albedo: First a correction was performed the albedo of snow, which the most important correction in the UV spectral region, and second for the beach sand albedo. Snow maps for Bulgaria were constructed by help of daily Northern Hemisphere Snow and Ice data of the Snow and Ice Mapping System (IMS) with a resolution of 1 km. This type of maps allow the determination of the coastline.

A sequence of UVI maps, for sea level, for the mean elevation of 1 by 1 km area, and of snow and coast-line corrected maps are presented for winter 2020.

## **Восстановление длинных рядов температуры воздуха на архипелаге Шпицберген**

В.И. Демин<sup>1</sup>, Б.В. Иванов<sup>2,3,4</sup>

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

<sup>2</sup>*Государственный научный центр РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», СПб, Россия*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

<sup>4</sup>*Институт Физики Атмосферы РАН, Москва, Россия*

По данным ближайших метеорологических станций и реанализа приземной температуры восстановлены отсутствующие в 1941-1947 гг. значения среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге. Статистическими тестами показано, что добавление к исходному ряду рассчитанных значений не привело к появлению методической неоднородности. Ряды, начинающиеся с 1932 г., экстраполированы до 1911 г. на основе измерений, выполненных на метеорологической станции «Грин-Харбор», которая находилась в 1.5 км от современной метеорологической площадки в Баренцбурге.

Созданные композитные ряды среднемесячных температур воздуха в Баренцбурге могут быть использованы для изучения долговременных изменений климата в регионе. При этом для периода с 1911 г. по 2018 г. доля оригинальных (измеренных) значений температуры воздуха в них превышает 75%, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене.

### **Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген)**

В.И. Демин, Б.В. Козелов

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

Обнаружены синхронные и противофазные изменения температуры и относительной влажности воздуха в Баренцбурге. Снижение относительной влажности до 60% менее характерно для направлений ветра из секторов, с которых Баренцбург прикрыт горами с отметками от 200 до 500 м. Вариации создаются переваливанием воздуха через орографический барьер с его последующим опусканием на подветренной стороне (фёнами).

### **Исследование процессов образования электронно-возбужденных молекул N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в атмосфере Земли во время высыпания высокоэнергичных электронов**

А.С. Кириллов, В.Б. Белаховский

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

При высыпании в атмосферу Земли высокоэнергичных частиц неупругие столкновения с молекулами N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> приводят к процессам ионизации, диссоциации, возбуждению различных электронно-возбужденных триплетных и синглетных состояний данных молекулярных составляющих. Проведен расчет колебательных населенностей электронно-возбужденных триплетных и синглетных состояний молекулярного азота и кислорода в случае высыпания в атмосферу высокоэнергичных электронов с энергиями от 10 кэВ до 10 МэВ. При расчете колебательных населенностей электронно-возбужденных триплетных и синглетных состояний молекулярного азота и кислорода были учтены спонтанные излучательные переходы, внутримолекулярные и межмолекулярные процессы переноса энергии возбуждения при неупругих молекулярных столкновениях. Расчеты показали, что с ростом энергии вторгающихся в атмосферу электронов и уменьшением высоты энерговыделения высыпающихся частиц возрастает вклад процессов гашения различных состояний азота и кислорода при молекулярных столкновениях. Это приводит к изменению соотношения интегральных интенсивностей различных систем полос с ростом энергии высыпающихся в атмосферу электронов, что служит причиной перераспределения интенсивностей свечения N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в различных диапазонах спектра с понижением высоты в атмосфере Земли.

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».

### **Влияние микроклимата на температуру искусственных поверхностей**

Б.В. Козелов, В.И. Демин

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

При отрицательном радиационном балансе температура искусственных поверхностей (автодороги, крыши и стены зданий), независимо от материала и наличия техногенных источников тепла, приближается к

## *Low atmosphere, ozone*

температуре окружающего воздуха. По измерениям в холмистом рельефе на территории Мурманской области, микроклиматические вариации температуры воздуха и искусственных поверхностей близки по величине. Это вызвано тем, что искусственные поверхности теряют тепло за счет турбулентного теплообмена с воздухом и радиационного излучения, характер и интенсивность которых зависит от окружающего микроклимата.

### **Особенности стратосферной циркуляции зимой 2019/20 г. в поле температуры воздуха и озона**

А.В. Лосев, В.И. Демин, Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин, А.А. Галкин

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

Зимой 2019/20 г. в стратосфере северного полушария установился режим циркуляции, приведший к формированию продолжительных отрицательных аномалий общего содержания озона над Мурманской областью: ее значения в отдельные дни по спутниковым измерениям достигали 30-35%. Низкие температуры воздуха привели к частому появлению полярных стратосферных облаков, которые регистрировались визуально и по лидарным данным миссии CALIPSO (CASSIOPE).

### **Учет нарушения локального термодинамического равновесия в верхней атмосфере Земли в колебательных полосах CO<sub>2</sub> в радиационном блоке модели общей циркуляции атмосферы Земли**

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

*ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия; e-mail: mingalev\_i@pgia.ru*

В докладе изложена методика расчета поля солнечного излучения в атмосфере Земли с учетом нарушения локального термодинамического равновесия в колебательных полосах CO<sub>2</sub> с длиной волны около 2,7 и 4,3 мкм на высотах более 70 км. Эта методика позволяет проводить «эталонные» расчеты с высоким спектральным разрешением (Line by Line), а также строить параметризацию оптических параметров верхней атмосферы Земли, предназначенные для расчетов поля солнечного излучения. Представлена параметризация, построенная для радиационного блока модели общей циркуляции атмосферы Земли. Также представлены результаты расчетов с высоким спектральным разрешением и результаты расчетов с использованием построенной параметризации. Проводится сравнение с результатами расчетов других авторов.

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

## **Phenomenology and analysis of the possible causes of the association of the population incidence dynamics with variations of geocosmic agents**

N.K. Belisheva

RCHAA KSC RAS, Apatity, Russia

The phenomenology of the links between the dynamics of the incidence of socially significant diseases and variations of geocosmic agents in different years on the territories of the Russian Federation, in various Federal Districts (FD), in the Far North and equated areas, in different area of the Murmansk Region is presented. The association between the dynamics of mortality rates in the Russian Federation and in various FD and variations of geophysical agents was revealed: for the period from 1990 to 2016, mortality in age groups 0-14, > 70 years old is associated with variability of proton density in the solar wind (SW), in age groups 15 -29, 30-44, 45-59, 60-74 years old - with variability of SW speed. For the period 2002-2016 infant and child mortality in the Russian Federation, in the Central, Northwest, Southern, Volga, Ural, Siberian, Far Eastern Federal Districts were associated with solar activity (SA, Wolf numbers) and variability of SW. Synchronous fluctuations in the reproductive health of women living at different latitudes, as well as stillbirths in the FD, associated with global geomagnetic activity (GMA) were revealed. The correlation between the incidence rate of active tuberculosis and the SW speed in the Republics of Karelia and Komi, in the Arkhangelsk, Murmansk regions, and in the Khanty-Mansi AO is shown. The association between the incidence of viral hepatitis, syphilis and variations of geophysical agents in the territories of the Far North and equivalent areas has been found. The correlation between the dynamics of the population's incidence of alcoholism, alcoholic psychoses, mental disorders, behavioral disorders and the variability of geophysical agents in the Far North is shown. An association of the dynamics of the incidence of malignant neoplasms in the Russian Federation, in the territories of the Far North, including the Murmansk region, with variations of geocosmic agents, is shown. Clusters of territories with diametrically opposite modulation by geocosmic agents of the level of morbidity of the child population (0-14 years) with socially significant diseases (neoplasms, diseases of the endocrine system, diseases of the nervous system, including epilepsy, cerebral palsy) were identified in the Murmansk region. It has been shown that the incidence of blood diseases, as well as anemias, in almost all territories of the Murmansk region increase with a decrease in geomagnetic activity and with an increase in neutron intensity at the Earth's surface. It was found that the incidence in the territory of the Murmansk region is modulated by a two-factor mechanism of global origin with an alternative effects - cosmic ray fluxes and the solar wind. In some territories, the predominant effect of one of two factors of such a mechanism was revealed. Thus, variations of geocosmic agents play a significant role in the dynamics of the incidence of socially significant diseases, regardless of climatic and geographical conditions, local environmental pollution and social conditions. An additional contribution to the result of such modulation can be made by meteorological agents, which weaken or enhance the effect of the combined action of heliogeophysical agents and local contamination. The nature of territorial contamination determines the sensitivity of the organism to associated effects, including variations of geocosmic agents. Possible mechanisms of direct and indirect effects of geocosmic agents on the human body are discussed.

The work was performed on the topic 0226-2016-0007, No. of state. Registration AAAA-A17-117020110070-6.

## **Physiological responses in plants followed the background EMF vector potential change**

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

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

Since *Aharonov and Bohm* [1959] publication, the possible role of EMF vector potential (VP) as a physical reality capable to be competent itself in physical world but not to be treated as mathematical abstraction only were widely discussed. Their cosmic role as a physical agent responsible for the solar-terrestrial links, "Velkhover effect" etc. was considered also. A number of experiments which would reveal the biophysical role of VP were proposed. A priority suggested physiological reactions of vascular plants on the local disturbances of the background VP have been investigated as it were offered by *Trukhanov* [1984]. To find out the plausible effects of VP of magnetic field its generator was constructed according to *Trukhanov* recommendations. The so called "doughnut coil" i.e. toroidal solenoid formed by about 1000 copper wire turns under amperage loads varied within 0,7 - 0,9 amp was used. To detect the bio effects of VP generation the four physiological processes among various flora taxa objects were implemented as follows: (1) the leaf blades movement with change of the angle between petiole (leaf stalk) and stem

of nyctinastic species *Mimosa pudica*, *Maranta leuconeura*, *Ctenanthe setosa*, *Calathea rose-picta*. All of them capable to exhibit heliotropism and folia movement under environmental change; (2) the photosynthetic apparatus (PSA) work in the indoor cultivars *Ficus benjamina*, *Pereskia aculeate* which was monitored in terms of the leaf chlorophyll red fluorescence with PAM-2100, “WALZ, Effetrich” technique; (3) *Taraxacum officinale* seeds germination, and (4) *Avena sativa* coleoptile test. The function of PSA is based on the coordinated work of two connected photo systems (PS) intermitted by electrons current chain and other membrane-protein complexes which as whole suggests its susceptibility to external either EMF or potentials. The fluorescent parameters observed were as follows: Fo and Fm – minimal dark and maximal chlorophyll emissions, respectively; Fv/Fm were treated as maximal PS II photochemical quantum yield. 4-5 h exposure of the plants at nearby vicinity to generator followed in *Mimosa pudica* leaf petiole – stem angle deviation retarded at 2-3 h gap the current switching. Alike reactions were detected by shot plants exposure under EM emission by nearby mobile phone also. The temporal pattern change in foliage angle dynamics for *Maranta* and *Ctenanthe* ssp. were revealed. The acceleration of *T. officinale* seeds germination and *A. sativa* coleoptiles stimulation were found, as well as 5-7% Fo and 15-20% Fm control values changes in plant foliage provided their location within 5 - 20 cm around generator center. The emission day values were followed by 15-25% Fm rise next day. The results point out at the external stimulation in plant morphogenesis and effectiveness of PS II primary acceptors reduction the mechanisms of which unclear and are yet expected to be elucidated.

### **Environment and long-term dynamics of northern flora photosynthetic competence for the current solar cycle since maximal to low activity years**

P.A. Kashulin<sup>1</sup>, N.V. Kalacheva<sup>1</sup>, E.Y. Zhurina<sup>1</sup>, O.I. Shumilov<sup>2,3</sup>, E.A. Kasatkina<sup>2,3</sup>, V.K. Zhirov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Polar Alpine Botanical Garden-Institute, Apatity, Russia*

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

<sup>3</sup>*Institute of Industrial Ecology Problems of the North, Apatity, Russia*

The long-term monitoring of environmental factors: PAR, UV radiation, temperature, atmospheric pressure and humidity, was conducted simultaneously with northern arboreal wild and cultivated trees photosynthetic competence observation since 2014<sup>th</sup> to 2019<sup>th</sup> vegetation seasons. The indicator plants photosynthetic parameters were registered in terms of foliage red chlorophyll fluorescence non-invasive measurements *in situ*. To obtain round the year biological data, a number of indoor cultivars were observed also in non-vegetation months. The fluorescent parameters obtained with PAM-2100, «WALZ, Effetrich» technique were as follows: Fo and Fm – minimal dark and maximal light induced chlorophyll emissions, and Fv/Fm which may be treated as PS II photochemical quantum yield as a first approximation under definite conditions. The chlorophyll fluorescence measurements for the species: *Salix caprea* L., *Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth, *Lonicera edulis* Turcz. Ex Freyn., *Lonicera tatarica* L., *Syringa josikaea* Jacq. fil were carried out daily from onset of June to October every year season. Under indoor lab conditions the decorative forms of *Ficus benjamina* “Danielli” and vine *Pereskia aculeate* were used. Decline in solar activity in 2014-2019 yrs was not followed by respective monotonous monthly mean temperatures, PAR and UV fall, the difference in mean temperatures dynamics for summer and autumn months was found also. The discrepancy can be caused by anthropogenic effects or any other factors associated with so called global climatic change. No matter the temperature trends changing factors are, those markedly influence the plant photosynthetic activity. The most essential deviations in plant typical phenological phases and in respective photosynthetic competence were registered for May – early June and for September – October periods. The warm autumn temperatures are favorable for introduced cultivars, essentially widening their photosynthetic season, but oppress the wild trees species due to boost of phytopathogenic fungi. The strong explicit influence of PAR and UV fluctuations in 2017<sup>th</sup> September and 2019<sup>th</sup> season on photosynthetic dynamics of wild species were marked also. The various temporal patterns of fluorescent data protocols were revealed for various years and months. Dynamics was plant species and foliar blade crone position dependent. The chaotic patterns were prevailed in 2014-2015 yrs meanwhile robust recurrent dynamics - in 2017-2018 yrs, respectively. The cycles registered were as follows: circaseptan and circasemiceptan, the cycles about two weeks long, as well as a number of more prolonged periods were found also. The robust about month gap recurrent cycles were registered in indoor plants since summer of 2017<sup>th</sup> up now. The advanced plant reactions with two temporal gap classes: short-term (2-3 days) and long-term (6-8 days) ones on the eve of the large-scale solar mass injections were registered. The plausible casual-effect links between the plant photosynthesis performance and climatic, geophysical indices as well as plausible cosmic provenance of the found cycles are considered.

**Diatom shift in Lake Rabbvatn (Northern Norway): Response to climate and solar variability?**O.I. Shumilov<sup>1,2</sup>, E.A. Kasatkina<sup>1,2</sup>, D.B. Denisov<sup>2</sup><sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*<sup>2</sup>*Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia*

Diatoms respond quickly to any changes in the natural environment factors. After the blooming and death of diatoms, their skeletons settle to the bottom of the lakes and become part of the sediments. Therefore, records of subfossil diatoms from Arctic lake sediments have a considerable potential for paleoclimatic reconstructions. Diatom assemblages from the sediments of Lake Rabbvatn (69.7N, 30.5E; Northern Norway) were analyzed. Using a combination of paleoclimatic (dendrochronological), paleolimnological, meteorological, and heliogeophysical datasets, as well as local pollution information, the diatom shift found in the Lake is investigated in context of the modern global warming and probable approaching new Grand Solar Minimum.

**Possible role of cosmophysical factors in rockbursts and earthquake occurrence**O.I. Shumilov<sup>1,2</sup>, E.A. Kasatkina<sup>1,2</sup>, D.V. Makarov<sup>2</sup><sup>1</sup>*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*<sup>2</sup>*Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia*

Rockburst is a minor man-made earthquake occurred under mining excavations. Natural and man-made earthquakes have similarities in many aspects. However compared with natural earthquake, rockburst is not at high magnitude. But because it has a focus very close to the surface, its intensity is much greater than that of the natural earthquake with the same magnitude. It usually involves violent failures and injection of large amounts of rock (up to thousands of cubic meters). Rockburst phenomenon is a serious hazard in mining industries; it can damage underground openings and mining equipment and lead to injuries and even fatalities. Therefore, the prediction of rockburst occurrence remains a serious worldwide problem in mining industry. The database of more than 700 events at northern Russian mines was analyzed over the period from 1947 to 2004 in context of a possible role of cosmophysical factors in rockburst occurrence. The analysis showed a similarity in the seasonal distributions of rockbursts and geomagnetic disturbances. It was revealed a 22-year periodicity in rockburst and earthquake occurrence that seems to have got extraterrestrial origin. These relations seem to be understood in terms of geomagnetic effects on bedrock magnetostriation.

**Prospects for the use of Gas-Discharge Visualization (GDV method) for assessing the impact of Geocosmic Agents on the human body**

N.L. Solovievskaya, N.K. Belisheva

*RCHAA KSC RAS, Apatity, Russia*

The capabilities of the GDV method for assessing the effects of geocosmic agents (GCA) on the human body are demonstrated in the research. GDV registration was carried out using a GDV-compact pulse analyser (Biotechprogress LLC). The basis of the analysis is a “snapshot” of the glow that occurs near the surface of the fingers (GDV-gram). GDV-grams were processed using the “GDV Energy Field” program (<http://www.ktispb.ru/en/gdvsoft.htm>), which converts the “images” of the glow into characteristics of the area (S), of the shape (Kf), of the entropy (E) and the symmetry (C). GCAs were characterized by daily average values of indicators of solar activity (SA), the state of the interplanetary medium, solar wind plasma (SW), geomagnetic activity indices (GMA), etc. (<https://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/>). Data on the neutron count rate near the Earth surface and the calculated flux densities of cosmic rays (CR) in near-Earth space were obtained at the cosmic ray laboratory at the Polar Geophysical Institute of the RAS (Apatity, Murmansk Region). Correlation analysis was performed using the STATISTICA 10.0 software package, correlation coefficients were considered significant at  $p < 0.05$ .

Prospects and advantages of the GDV method for assessing the effects of GCA on the human body were demonstrated in studies conducted in Apatity (2016 year) in the settlement of Barentsburg (2017, 2018 years). Significant ( $p < 0.05$ ) correlates between the values of GDV-grams and physiological indicators of the state of the body were found. For the first time, the relationship between pulse oximetry (the degree of blood oxygen saturation), a galvanic skin response (GSR), heart rate (HR), systolic wave amplitude, peripheral temperature of the hand and GDV-grams was revealed. Significant relationships between mood, activity and S indicators, between anxiety state, heart rate variability (HRV) and Kf were demonstrated. It is shown that the dynamics of GDV indices is associated with variations of GCA during all periods of the study. Significant negative relationships between the S indices and the proton flux density with energies  $> 10$  MeV, correlations between the Kf values and the SW characteristics during the periods of research in Barentsburg were found. Studies have shown that, based on the nature of the relationship between GDV, GCA and physiological correlates, it is possible to predict the bioefficiency of GCA in certain periods of SA cycles.

### **Features of preservation at the viability of microfungi during vacuum UV exposure in the polar regions**

G.N. Zvereva<sup>1,2</sup>, I.Yu. Kirtsideli<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>*S.I. Vavilov State Optical Institute, St. Petersburg, Russia*

<sup>3</sup>*Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia*

The effect of vacuum UV radiation (VUV: 10-200 nm) on microfungi propagules (or seeds) was studied. In the course of the work, dependencies of the survival probability of propagules, which were at the exponential and stationary phases of development, on radiation doses were obtained. IR spectroscopy and atomic force microscopy of irradiated propagules indicate a change in their cell wall. Electrophoresis of DNA molecules of irradiated propagules proves DNA breakdown. Experiments with the use of an different antioxidants show that the death of propagules during VUV irradiation occurs as a result of the direct and indirect effects of VUV radiation. The contribution of the indirect mechanism to the inactivation of microorganisms by long wavelength VUV radiation was investigated in this work. To determine the contribution of indirect action to the microfungi inactivation, the survival probabilities of the samples grown on a nutrient medium containing antioxidant and without it were carried out. The results have shown, that the survival probabilities of the spores containing antioxidant increases by no less than 20-25% compared to control ones. The increase value depends on VUV irradiation dose and microorganism type. It should be emphasized, that due to the masking of microfungi survival by I2 bactericidal action, the obtained survival probability increase values should be considered as a lower estimate. Electrophoresis of microfungi DNA have shown, that VUV irradiation of spores containing antioxidants leads to less DNA destruction and heavier DNA fragments appearance. The latter may indicate a decrease of reactive oxygen species effect on DNA in the presence of antioxidants. Atomic force microscopy and IR spectroscopy haven't shown influence of antioxidant on cell wall destruction. This can indicate, that in contrast to wet spores, in the case of VUV irradiation of dry ones, the indirect mechanism of cell wall destruction is absent or weakly expressed. The results obtained allow us to conclude that the inactivation of propagules during irradiation with VUV radiation of the long-wave region of the VUV range is the result of both direct and indirect effects with the destruction of both the cell wall and DNA. Results may be used in multidisciplinary studies in the fields of cosmonautics, heliobiology and astroecology.



## AUTHOR INDEX

### A

Abunin A.A. ....	36
Abunina M.A. ....	36
Aikio A. ....	14
Akhmetov O.I. ....	30
Akinfoyeku A.F. ....	14
Andreeva E.S. ....	45, 56
Andriyanov A.F. ....	64
Antonenko O.V. ....	54
Antonova E.E. ....	19, 20
Apatenkov S.V. ....	15
Aradi B. ....	65
Artemyev A.V. ....	20, 22, 25, 27, 28, 35
Atanassov A. ....	66
Atulkar R. ....	45

### B

Bakhmeti'eva N.V. ....	63
Balabin Yu.V. ....	37, 38, 40, 41, 42, 43
Barkhatov N.A. ....	38
Barkhatova O.M. ....	55
Bazilevskaya G.A. ....	20, 33
Bekker S.Z. ....	46, 59
Belakhovsky V.B. ....	16, 30, 46, 56, 67
Beletsky A.B. ....	53
Belisheva N.K. ....	69, 71
Belov A.V. ....	36, 37, 38, 43, 44
Bessarab F.S. ....	50, 58
Bhattarai Sh. ....	46
Bilin V.A. ....	17
Bisikalo D.V. ....	34
Bondar' E.D. ....	60
Borisenko A.V. ....	33, 39

### C

Cai L. ....	14
Cedrik M.V. ....	52
Cherniak I.V. ....	48
Cherniakov S.M. ....	47
Chernigovskaya M.A. ....	48
Chernyshov A.A. ....	48
Chertok I.M. ....	36
Chugunin D.V. ....	48
Coxon J.C. ....	48

### D

Danov D. ....	66
Dashkevich Zh.V. ....	47, 56
Demekhov A.G. ....	14, 23, 26, 27
Demin V.I. ....	64, 66, 67, 68
Demkin V.M. ....	64

Denisov D.B. ....	71
Despirak I.V. ....	13
Divin A.V. ....	29
Dmitriev A.V. ....	48
Dolgacheva S.A. ....	47
Dolgova D.S. ....	55
Dremukhina L.A. ....	16
Dyussebekova A.S. ....	20

### E

Efimov B.V. ....	17
Efishov I.I. ....	62
Ermak V.M. ....	52
Ermolaev Yu.I. ....	16
Eroshenko E.A. ....	36, 43, 44
Evdokimova M.A. ....	15

### F

Fainshtein V.G. ....	40
Fedorenko Yu.V. ....	23, 24, 31, 50
Fedorov E.N. ....	29
Fedotova E.A. ....	59, 68
Filatov M.V. ....	31, 62
Frank-Kamenetsky A.V. ....	61
Frauenheim T. ....	65
Frolov I.E. ....	31
Frolov V.L. ....	63
Fuji R. ....	24

### G

Gaidash S.P. ....	36
Galkin A.A. ....	68
Gavrilov B.G. ....	52, 59
Germanenko A.V. ....	38, 40, 41, 42
Golikov I.A. ....	60
Gololobov A.Yu. ....	60
Golubenko K.S. ....	63
Gordeev E.I. ....	15, 58
Gromov S.V. ....	13, 40
Gromova L.I. ....	13, 24, 31, 40
Guineva V. ....	64, 66
Guschina R.T. ....	37, 38
Gvozdevsky B.B. ....	20, 38, 42

### H

Hanzelka M. ....	23
Hori T. ....	26
Hosokawa K. ....	24

<b>I</b>	
Ignatov S.K. ....	65
Ivanov B.V. ....	66
Ivanov V.E. ....	47, 56

<b>J</b>	
Jin Y. ....	46

<b>K</b>	
Kalacheva N.V. ....	69, 70
Kalashnikova S.A. ....	56, 57, 61
Kalinin M.S. ....	33
Kalishin A.S. ....	51, 53
Kamaletdinov S.R. ....	20
Karagodin A.V. ....	63
Kasahara S. ....	26
Kasahara Y. ....	26
Kasatkina E.A. ....	70, 71
Kashulin P.A. ....	69, 70
Kauristie K. ....	14
Kawamura Y. ....	24
Kazaryan P.S. ....	19
Keika K. ....	26
Kellinsalmi M. ....	14
Khabarova O.V. ....	21, 22
Khalipov V.L. ....	60
Kiselev A.V. ....	54
Kirillov A.S. ....	54, 64, 66, 67
Kirtsideli I.Yu. ....	72
Kleimenova N.G. ....	13, 24, 31
Klimenko M.V. ....	48, 50, 58
Klimenko V.V. ....	48
Klimov P.A. ....	49
Kobelev P.G. ....	43, 44
Kobyakova S.E. ....	60
Kosolapova N.V. ....	55
Kotova D.S. ....	48, 50, 58
Koustov A.V. ....	46
Kovaltsov G.A. ....	34
Kozelov B.V. ....	13, 14, 23, 31, 47, 50, 67, 68
Kozelova T.V. ....	13
Kozlovtseva E.A. ....	57, 61
Kozyreva O.V. ....	28
Kraïnev M.B. ....	20, 33
Kryakunova O.N. ....	36
Kulikov Y.Y. ....	63, 64
Kulikov Yu.N. ....	54
Kumamoto A. ....	26
Kurita S. ....	24
Kurkin V.I. ....	61
Kuzichev I.V. ....	27

<b>L</b>	
Larchenko A.V. ....	27, 31, 50
Lebed' O.M. ....	24, 31, 50
Leonenko E.E. ....	51, 53
Lodkina I.G. ....	16
Losev A.V. ....	68
Lubchich A.A. ....	13, 27
Lubchich V.A. ....	21
Lukin A.S. ....	20, 25, 28
Lukianova R.Yu. ....	48
Lukovnikova A.A. ....	38
Lunyushkin S.B. ....	17

<b>M</b>	
Makarov D.V. ....	71
Makhmutov V.S. ....	33
Malova H.V. ....	21, 22
Malysheva L.M. ....	13
Manninen J. ....	23, 24, 27, 29, 31
Mareev E.A. ....	63
Matsuoka A. ....	26
Maurchev E.A. ....	40, 41, 42, 43
Mayorov A.V. ....	65
Mazur N.G. ....	29
Melkumyan A.A. ....	43
Melnik M.N. ....	22
Merzlyi A.M. ....	21, 57
Mihalko E.A. ....	38, 42, 43
Mikhalev A.V. ....	53
Miloch W.J. ....	46
Mingalev I.V. ....	21, 22, 30, 57, 59, 68
Mingalev O.V. ....	21, 22, 30
Mingalev V.S. ....	21, 57, 59
Mironova I.A. ....	63
Mit' S.K. ....	19
Mitrofanov V.N. ....	18
Miyoshi Y. ....	24, 26, 30

<b>N</b>	
Nakamura R. ....	25
Naumenko A.A. ....	52
Nazarenko M.O. ....	45
Nikiforov O.V. ....	51, 54
Nikitenko A.S. ....	23, 24, 27, 31
Nikolaev A.V. ....	48, 58
Nikolaeva V.D. ....	58
Nikolayevskiy N.F. ....	36
Nosikov I.A. ....	50, 58
Nosikova N.S. ....	29

<b>O</b>	
Ogawa Y. ....	14, 24
Ogundele A.K. ....	14

Oinats A.V. ....	48
Oleneva V.A. ....	43
Oloruntola R.F. ....	14
Orlov K.G. ....	59, 68
Ovchinnikov I.L. ....	19
Ovodenko V.B. ....	48
Oyama S. ....	14, 24

## P

Padokhin A.M. ....	45, 56
Panov E.V. ....	25
Pasmanik D.L. ....	27
Pedersen M. ....	14
Penskikh Yu.V. ....	17
Pershin A.V. ....	61
Petkov B. ....	66
Petrukovich A.A. ....	15, 20, 25, 27, 28, 35, 51, 54
Pilgaev S.V. ....	31
Pilipenko V.A. ....	15, 16, 18, 28, 29, 30
Podgorny A.I. ....	33, 39
Podgorny I.M. ....	33, 39
Podlesnyi A.V. ....	52
Poklad Yu.V. ....	52, 59
Poluianov S. ....	34
Popova T.A. ....	23, 26
Pryamushkina I.I. ....	36
Pulinets M.S. ....	19

## R

Raita T. ....	14, 26, 29
Ratovsky K.G. ....	48
Razuvaev A.G. ....	65
Reimer A. ....	46
Revunov S.E. ....	55
Revunova E.A. ....	38
Rietveld M. ....	14
Rogov D.D. ....	48, 52, 53, 61
Roldugin A.V. ....	13, 16, 23, 26, 50, 65, 68
Roldugin V.C. ....	26, 65
Romanova N.Yu. ....	59
Roskulyak A.V. ....	21
Rozanov E.V. ....	63
Ryakhovskiy I.A. ....	46, 52, 59
Rybakov V.A. ....	52
Ryskin V.G. ....	64

## S

Safargaleev V.V. ....	18
Sakharov Ya.A. ....	15, 16, 17, 57
Santolík O. ....	23
Selivanov V.N. ....	16, 17
Semenov V.S. ....	29
Serebrennikova S.A. ....	54
Sergeev V.A. ....	15

Setsko P.V. ....	22
Shagimuratov I.I. ....	62
Sheiner O.A. ....	61, 62
Shematovich V.I. ....	34, 44
Shinbori A. ....	14
Shinohara I. ....	26
Shiokawa K. ....	14, 30
Shirokova E.A. ....	65
Shishaev V.A. ....	64
Shittu S.M.A. ....	14
Shmelev Yu.A. ....	51, 53
Shoji M. ....	26
Shpynev B.G. ....	48
Shumilov O.I. ....	70, 71
Shustov P.I. ....	27, 28
Sigaeva K.F. ....	49
Solovievskaya N.L. ....	71
Sotnikov N.V. ....	19
Stepanov A.E. ....	60
Stozhkov Yu.I. ....	33
Suvorova Z.V. ....	30, 57
Svirzhevskaya A.K. ....	33
Svirzhevsky N.S. ....	33
Syrenova T.E. ....	53

## T

Talalaev A.B. ....	57
Taubenschuss U. ....	23
Tepenitsina N.Yu. ....	62
Tereshchenko P.E. ....	32
Tereshin N.A. ....	45, 57, 61
Tikhonov V.V. ....	57
Titova E.E. ....	23, 27
Trefilova L.A. ....	43, 44
Tsuchiya F. ....	26
Tumanova Yu.S. ....	45, 57, 61
Turunen T. ....	24
Turyansky V.A. ....	47
Tyutin I.V. ....	48

## U

Uliev V.A. ....	61
Undalova I.S. ....	38
Uryadov V.P. ....	61
Usoskin I.G. ....	34
Ustimenko L.G. ....	57
Uvarov I.A. ....	51, 54

## V

Valev D. ....	66
Vanhamäki H. ....	14
Vasiliev A.A. ....	35
Vasilyev R.V. ....	48, 53
Vasko I.Yu. ....	27, 35

Veretenenko S.V. ....	66
Vesnin A.M. ....	54
Vinogradov A.A. ....	35
Virtanen I. ....	14
Volkov M.B. ....	28
Volodin E.M. ....	63
Vorobjev A.V. ....	18
Vorobjev V.G. ....	16, 19, 20, 38, 55
Vybornov F.I. ....	61, 62

## W

Werner R. ....	64, 66
Workayehu A. ....	14

## Y

Yagodkina O.I. ....	16, 19, 20
Yagova N.V. ....	15, 28, 29
Yahnin A.G. ....	23, 26, 29
Yahnina T.A. ....	29
Yanke V.G. ....	36, 37, 38, 43, 44
Yanakov A.T. ....	57
Yankovsky I.V. ....	38
Yasykevich Y.V. ....	54
Yasyukevich A.S. ....	48
Yokota S. ....	26
Yushkov E.V. ....	20, 28

## Z

Zagainova Yu.S. ....	40
Zaitsev I.V. ....	29
Zakharenkova I.E. ....	48, 62
Zelenyi L.M. ....	22
Zhirov V.K. ....	70
Zhukov A.V. ....	54
Zhurina E.Y. ....	69, 70
Znatkova S.S. ....	19
Zvereva G.N. ....	72

