

КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

СЕКЦИЯ В

ФИЗИКА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧЕВЫХ ТРАЕКТОРИЙ КВ-РАДИОВОЛН В ЕСТЕСТВЕННО И ИСКУССТВЕННО ВОЗМУЩЕННОЙ ИОНОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАДИОТОМОГРАФИИ

М.А. Анненков, Е.С. Андреева, И.А. Нестеров

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
annenkov@physics.msu.ru

RESEARCH INTO RAY TRAJECTORIES OF HF RADIOWAVES IN NATURALLY AND ARTIFICIALLY DISTURBED IONOSPHERE ON THE BASIS OF RADIOTOMOGRAPHIC DATA

M.A. Annenkov, E.S. Andreeva, I.A. Nesterov

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Проведено численное моделирование лучевых траекторий КВ-радиоволн в ионосфере. В качестве модели среды использованы как модель IRI, так и реальные данные, полученные методом радиотомографии ионосферы. Магнитное поле задано в соответствии с моделью IGRF. Выполнено сравнение лучевых траекторий КВ-радиоволн в условиях естественных и искусственных ионосферных возмущений.

We present numerical simulation of ray trajectories of HF radiowaves in ionosphere. As a model of the medium, we use both the IRI model and the real data obtained by the method of radio tomography of ionosphere. The magnetic field is defined by the IGRF model. We compare ray trajectories of HF radiowaves under conditions of natural and artificial ionospheric disturbances.

РАСЧЕТ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ВАРИАЦИЙ КОМПОНЕНТ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МАГНИТНОЙ СТАНЦИИ «БАЙГАЗАН»

А.С. Бедарева, А.Ю. Гвоздарев

Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия
bedarewa.anastasia@yandex.ru

CALCULATING THE AVERAGE VALUES OF THE VARIATIONS OF GEOMAGNETIC FIELD COMPONENTS AT "BAIGAZAN" MAGNETIC STATION

A.S. Bedareva, A.Yu. Gvozdarev

Gorno-Altaysk State University, Gorno-Altaysk, Russia

По данным кварцевого вариометра магнитной станции «Байгазан» (частота регистрации 20 Гц, погрешность — около 10 пТл) были рассчитаны секундные средние значения D-, H-, Z-вариаций геомагнитного поля за 2014–2016 гг. При этом были исключены выбросы и скачки в данных, рассчитаны секундные среднеквадратичные отклонения. Подготовка секундных средних необходима для предоставления данных в российско-украинский центр геомагнитных данных.

According to the data of the quartz variometer of the magnetic station “Baigazan” (the frequency of recording is 20 Hz, the error is about 10 pT), the second mean values of D, H and Z variations of the geomagnetic field for 2014–2016 were calculated. At the same time, jumps in the data were excluded, and standard deviations for every second were calculated. The preparation of second means is required to provide data to the Russian-Ukrainian Geomagnetic Data Center.

**ВОЗМУЩЕНИЯ ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ
В УСЛОВИЯХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ШТОРМА 29–30 МАРТА 2015 г.
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В КАЛИНИНГРАДЕ**

¹О.П. Борчевкина, ^{1,2}И.В. Карпов

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия
opsuslova@gmail.com

²Западное отделение Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

**DISTURBANCES IN TOTAL ELECTRON CONTENT VARIATIONS
DURING THE METEOROLOGICAL STORM ON MARCH 29–30, 2015,
ACCORDING TO OBSERVATIONS IN KALININGRAD**

¹O.P. Borchevkina, ^{1,2}I.V. Karpov

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

^{1,2}West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere
and Radio Wave Propagation, Kaliningrad, Russia

Метеорологические возмущения являются источником атмосферных волн в широком диапазоне частот, в том числе и акустико-гравитационных волн (АГВ). АГВ, распространяющиеся из нижней атмосферы, могут достигать высот верхней атмосферы и, вследствие процессов диссипации, существенно влиять на характеристики вариаций параметров среды.

Наблюдения динамики ионосферных параметров, выполненные в условиях метеорологических штормов в Калининграде (54° N, 20° E), показали, что в вариациях полного электронного содержания (параметр ПЭС) отмечается понижение значений этого параметра, достигающее ~50 % по отношению к метеоспокойным дням.

Характерные изменения вариаций ПЭС рассмотрены на примере метеорологического шторма 29–30 марта 2015 г.

Анализ наблюдений выявил существенные изменения спектров вариаций ПЭС, которые проявляются в следующем:

1. Усиление инфразвуковых составляющих, которое наиболее ярко проявляется в возрастании амплитуд колебаний с периодами 6–8 мин в день метеорологического шторма и сохраняется в последующие сутки.

2. В день метеорологического шторма в спектре возмущений ПЭС отмечается усиление гармоник вариаций с периодами от 20–25 мин, продолжающееся в течение суток после прохождения шторма.

3. Характерное время релаксации возмущения вариаций ПЭС в анализируемом диапазоне вариаций (периоды от 6 до 60 мин) составляет ~1 сут.

Наблюдаемые ионосферные возмущения развиваются достаточно быстро в течение нескольких часов после возмущений метеорологической обстановки. Такие ионосферные возмущения отмечаются устойчиво в периоды метеорологических штормов, что позволяет рассматривать их как характерные признаки возмущений, инициируемых метеорологическими процессами. Возможной причиной этих ионосферных возмущений являются процессы, связанные с формированием локальных областей нагрева термосферы вследствие

диссипации АГВ, приходящих в верхнюю атмосферу из области метеорологического возмущения в нижней атмосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы повышения конкурентоспособности «5-100» БФУ им. И. Канта и гранта РФФИ № 15-05-01665.

Meteorological disturbances are a source of atmospheric waves in a wide range of frequencies, including acoustic-gravity waves (AGW). AGWs that propagate from the lower atmosphere can reach the altitudes of the upper atmosphere and, due to dissipation processes, significantly affect the characteristics of variations in the parameters of the environment.

Observations of the dynamics of ionospheric parameters performed in meteorological storms in Kaliningrad (54° N, 20° E) showed that in the variations of the total electron content, the values of this parameter reaching ~50 % relative to meteorologically calm days.

Typical changes in the TEC variations are considered in the case of a meteorological storm on March 29–30, 2015.

The analysis of observations revealed significant changes in the spectra of the TEC variations, which are manifested in the following:

1. The amplification of infrasonic components, which are most clearly manifested in the increase of amplitudes with periods of 6–8 min on the day of the meteorological storm and persist in the next 24 hours;

2. On the day of the meteorological storm, the amplification of harmonic variations with periods of 20–25 min is continuing during the day after the passage of the storm.

3. The characteristic relaxation time of the perturbation of the TEC variations in the analyzed range of variations (periods from 6 to 60 min) is ~1 day.

The observed ionospheric disturbances develop quite rapidly within a few hours after the perturbations of the meteorological situation. Such ionospheric disturbances are noted steadily during periods of meteorological storms, which allows us to consider them as characteristic signs of perturbations initiated by meteorological processes. A possible cause of these ionospheric disturbances are processes associated with the formation of local regions of thermosphere heating due to dissipation of AGWs that propagate to the upper atmosphere from the area of meteorological disturbance in the lower atmosphere.

These investigations were performed with financial support of the RFBR grants No. 15-05-01665 and the program to improve academic competitiveness 5-100 project IKBFU.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ВАРИАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Д.С. Волосков, Ю.С. Масленникова, В.В. Бочкарев

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
voloskovdmitry@gmail.com

EFFECT OF TROPICAL CYCLONES IN IONOSPHERIC PARAMETERS VARIATIONS

D.S. Voloskov, Yu.S. Maslennikova, V.V. Bochkaev

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

Данная работа посвящена анализу влияния метеорологических возмущений атмосферы на вариации ионосферных параметров, в качестве которых анализировались глобальные карты полного электронного содержания (ПЭС), полученные на основе интерпретации данных сети наземных приемников IGS. Ряд научных работ и публикаций свидетельствует о наличии значительного влияния метеорологических явлений на динамику ионосферы.

Одними из важнейших метеорологических явлений являются тропические циклоны. В данной работе исследуется влияние тропических циклонов на вариации параметров ионосферы.

Для анализа корреляций пространственных полей метеорологических и ионосферных параметров предложен метод, основанный на совместном разложении на главные компоненты. Он позволяет исследовать как пространственную, так и временную связь исследуемых параметров.

The aim of this study is a correlation analysis of meteorological disturbances in variations of meteorological parameters. We use total electron content (TEC) global maps (GIM) as assessment of ionosphere condition. This maps are based on the GPS measurements obtained by the network of ground based receivers (IGS).

A number of studies provide evidence of meteorological effects presence in variations of ionosphere parameters. Of the most important meteorological phenomena are tropical cyclones. In this study we analyze tropical cyclones influence on TEC variations.

A new method based on conjoint principal component analysis of meteorological and ionospheric maps. This method allows us to study space and time correlations between parameters.

ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ МЕРЦАНИЙ В МЕТРОВОМ И ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНАХ В НАПРАВЛЕНИИ МАГНИТНОГО ЗЕНИТА

М.В. Глоба, Р.В. Васильев, Ю.В. Ясюкевич

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
globa@iszf.irk.ru

SIMULTANEOUS OBSERVATIONS OF METRIC AND DECIMETRIC IONOSPHERIC SCINTILLATIONS IN THE MAGNETIC ZENITH DIRECTION

M.V. Globa, R.V. Vasilyev, Y.V. Yasyukevich

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

В работе исследован эффект магнитного зенита, проявляющийся в усилении ионосферных мерцаний радиосигнала при уменьшении угла между лучом зрения на источник сигнала и вектором геомагнитного поля, для различных частотных диапазонов. Данные были получены на инструментах Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы ИСЗФ СО РАН — Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) и приемнике навигационных сигналов NovAtel GPStation-6. Получены распределения интенсивности мерцаний в зависимости от угла между направлением на источник и геомагнитным полем, которые показывают наличие эффекта магнитного зенита для амплитудных мерцаний источника Лебедь А, наблюдаемых на ИРНР, и фазовых мерцаний навигационных сигналов.

We studied the magnetic zenith effect, which manifests itself as increase in intensity of ionospheric scintillations as the angle between line of sight (LOS) to the source of the signal and geomagnetic field vector decreases, for different frequency bands. Data were obtained by facilities of ISTEP SB RAS observatory of atmospheric radio probing — Irkutsk Incoherent Scatter Radar (IISR) and NovAtel GPStation-6 receiver. We have obtained scintillation intensity distribution over angles between LOS and geomagnetic field, which demonstrate presence of magnetic zenith effect for amplitude scintillations of Cygnus A signal, observed at IISR, and phase scintillations of navigation signals.

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОЛНОГО ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ**

¹Д.В. Иванов, ¹В.А. Иванов, ¹Н.В. Рябова, ²М.И. Рябова, ¹А.А. Кислицын

¹Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия
KislitsinAA@volgatech.net

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**COMPLEX APPROACH TO DETERMINATION
OF THE ELECTRONIC CONCENTRATION TOTAL PROFILE**

¹D.V. Ivanov, ¹V.A. Ivanov, ¹N.V. Ryabova, ²M.I. Ryabova, ¹A.A. Kislitsin

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

В работе представлен метод построения профиля электронной концентрации ионосферы на основе совместного использования данных наклонного и трансionoсферного зондирования. Метод определения профиля электронной концентрации до высоты глобального максимума основан на реконструкции ионограмм наклонного зондирования. Выше максимума применяется модель экспоненциального слоя, исходными параметрами которой являются данные трансionoсферного зондирования. Совместное использование обоих методов при определенных предположениях о функциональной зависимости профиля выше глобального максимума ионосферы позволяет получать дифференциальную характеристику — полный профиль электронной концентрации.

Paper shows a method for plotting the electron concentration profile of the ionosphere on the basis of a joint approach using oblique and transionoсpheric sounding data. The method of determining the profile up to the global maximum height is based on the reconstruction of oblique sounding ionograms. Above the maximum, an exponential layer model is used, the initial parameters of which are transionoсpheric sounding data. The joint use of both methods under certain assumptions on the functional dependence of the profile above the global maximum of the ionosphere makes it possible to obtain a differential characteristic — the total profile of the electron concentration.

**ДИНАМИКА ПРОТОННОГО СИЯНИЯ И SAR-ДУГИ КАК ОТОБРАЖЕНИЕ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ Pc1-ВОЛН К ВОСТОКУ ВДОЛЬ ПЛАЗМОПАУЗЫ**

И.Б. Иевенко, С.Г. Парников, Д.Г. Баишев

Институт космофизических исследований и аэрoномии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
Parnikov@ikfia.ysn.ru

**DYNAMICS OF THE PROTON AURORA AND SAR ARCS AS INDICATION
OF EASTWARD Pc1 WAVE PROPAGATION ALONG THE PLASMAPAUSE**

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

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

Среднеширотные красные (SAR) дуги являются следствием взаимодействия внешней плазмoсферы (плазмoпаузы) с энергичными ионами кольцевого тока. Геомагнитные пульсации Pc1 регистрируются на Земле как следствие генерации электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн в экваториальной плоскости магнитосферы. ЭМИЦ-неустойчивость вызывает рассеяние протонов кольцевого тока в конус потерь. Высыпание энергичных протонов может наблюдаться как протонное сияние в линии H β атомарного водорода.

В работе выполнен анализ динамики SAR-дуги, протонного сияния и пульсаций Pc1 в вечернем секторе MLT на меридиане Якутска по данным камеры всего неба и индукционного магнитометра во время роста и расширения интенсивной суббури 31 декабря 2015 г.

The stable auroral red (SAR) arcs are the consequence of interaction of the outer plasmasphere (plasmapause) with energetic ions of the ring current. The geomagnetic pulsations Pc1 are registered on the Earth as a consequence of the generation of electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves in the equatorial plane of the magnetosphere. EMIC instability causes the scattering of ring current protons into the loss cone. Precipitation of energetic protons can be observed as the proton aurora in line H_{β} of atomic hydrogen.

In this work the dynamics of the SAR arc, proton aurora and Pc1 magnetic pulsations in the MLT evening sector at the Yakutsk meridian using the all-sky imager and an induction magnetometer during the growth and expansion of intense substorms on December 31, 2015 are analyzed.

СРАВНЕНИЕ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ В ИОНОСФЕРЕ, РАССЧИТАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТИМ И KRM/AMIE

В.Э. Капустин, В.М. Мишин, С.Б. Лунюшкин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
kapustin@iszf.irk.ru

COMPARISON OF THE DISTRIBUTION MAPS OF IONOSPHERIC FIELD-ALIGNED CURRENTS CALCULATED ON THE BASIS OF MIT AND KRM/AMIE TECHNIQUES

V.E. Kapustin, V.M. Mishin, S.B. Lunyushkin

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

Выполнено сравнение карт пространственных распределений продольных токов в высокоширотной ионосфере, рассчитанных на основе оригинальной версии техники инверсии магнитограмм (ТИМ) и хорошо известной версии KRM/AMIE. Оба метода используют в качестве входных данных собственные (разные в двух методах) модели корпускулярной проводимости и геомагнитные вариации по данным мировой сети магнитометров. Выходными параметрами обеих моделей являются карты распределений электрического потенциала, ионосферных и продольных токов, джоулева нагрева и т. д. Сравнение карт продольных токов, полученных методами ТИМ и KRM/AMIE, показало сходство крупномасштабных распределений в спокойное геомагнитное время, а также наличие мезомасштабных ячеек продольных токов в полуночной ионосфере во время суббури.

We carry out comparison of the spatial distribution in the high-latitude ionosphere of field-aligned currents calculated on the basis of the modified magnetogram inversion technique (MIT) and well-known KRM/AMIE technique. As input data, both techniques use their own models of corpuscular conductivity and geomagnetic variations measured on worldwide net of ground-based magnetometers. At the output, the models present distribution maps in the ionosphere of electrical potential, equivalent ionospheric and field-aligned currents, Joule heating etc. Comparison of the field-aligned current maps obtained by the MIT and KRM/AMIE techniques indicated similarity of large-scale distributions during geomagnetic quiet conditions, as well as appearance of mesoscale cells of the field-aligned currents in the midnight ionosphere during substorms.

**ОТКЛИК ИОНОСФЕРЫ НА УМЕРЕННУЮ МАГНИТНУЮ БУРЮ
21 ДЕКАБРЯ 2016 г.**

¹С.В. Кацко, ²Л.Ф. Черногор

¹Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков, Украина
sophiaharytonova@gmail.com

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

**IONOSPHERE RESPONSE TO THE MODERATE MAGNETIC STORM
ON 21 DECEMBER 2016**

¹S.V. Katsko, ²L.F. Chernogor

¹Institute of Ionosphere of NAS and MES of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Приведены результаты исследования отклика F-области и внешней ионосферы на умеренную магнитную бурю 21 декабря 2016 г. ($K_p \max=6$, $D_{st \min}=-40$ нТл). Наблюдения проводились с помощью радара некогерентного рассеяния Института ионосферы и цифрового ионозонда Радиофизической обсерватории ХНУ им. В.Н. Каразина. Магнитная буря вызвала отрицательное ионосферное возмущение в ночь с 21 на 22 декабря с уменьшением концентрации электронов в максимуме слоя F2 в два раза. В результате длительного воздействия высокоскоростного потока солнечного ветра наблюдались изменения суточных вариаций параметров ионосферной плазмы до конца измерений 24 декабря.

The study results of F region and topside ionosphere response to the moderate magnetic storm on 21 December 2016 are presented ($K_p \max=6$, $D_{st \min}=-40$ nT). The observations are carried out by the Kharkiv Incoherent Scatter Radar (Institute of Ionosphere) and the digital ionosonde (Radiophysical Observatory of Kharkiv National University). The magnetic storm caused a negative ionosphere disturbance at night time on December 21–22. The F2-layer maximum electron density decreased by a factor of 2. As a result of durational effect of solar wind flowing stream at high speed the variations of daily ionosphere plasma parameters were observed to the end of measurements on December 24.

**МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ**

^{1,2}М.В. Клименко, ¹В.В. Клименко

¹Западное отделение Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия
maksim.klimenko@mail.ru

²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия

**THE UPPER ATMOSPHERE MODEL
AS A TOOL FOR SPACE WEATHER INVESTIGATION**

^{1,2}M.V. Klimenko, ¹V.V. Klimenko

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

²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Исследование солнечно-земных связей является важнейшей частью бурно развивающегося в настоящее время нового направления прикладной науки — исследования космической погоды, направленного на изучение и мониторинг состояния межпланетного и околоземного космического пространства. Изучение влияния процессов, происходящих в нижней и средней атмосфере, на поведение параметров верхней атмосферы, включая

ионосферу, является неотъемлемой частью космической погоды. Другим аспектом космической погоды является влияние на ионосферу Земли процессов, происходящих на Солнце, через магнитосферно-ионосферное взаимодействие. Наиболее ярким примером такого влияния являются геомагнитные бури, которые, в свою очередь, способны оказывать большое (а в отдельных случаях — катастрофическое) влияние на глобальное распределение электронной концентрации в ионосфере Земли. Пространственно-временное поведение различных ионосферных параметров оказывает существенное влияние:

- 1) на движение и торможение спутников;
- 2) на условия прохождения радиосигналов.

Существующие в настоящее время эмпирические модели средней и верхней атмосферы, построенные по данным наблюдений и используемые в качестве моделей среды при решении различных прикладных задач, являются климатическими и недостаточно точно описывают параметры среды в периоды различных гелиосферных, атмосферных, метеорологических и магнитосферных возмущений. Это относится и к наиболее часто используемым международным справочным моделям ионосферы IRI, атмосферы CIRA и MSIS, глобальной термосферной циркуляции HWM. В связи с этим создание и модификация ассимиляционных и взаимосвязанных самосогласованных моделей верхней атмосферы являются наиболее актуальными и приоритетными прикладным и научным направлениями. В данной работе представлен обзор существующих моделей ионосферы и приведены основные результаты, полученные в последнее десятилетие на основе Глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и протоносферы (ГСМ ТИП). Обсуждаются ближайшие планы развития и перспективы в области моделирования ионосферы. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-17-01060.

Investigation of solar-terrestrial relations is an important part of the rapidly developing new direction of applied science — space weather, aimed at studying and monitoring the state of the interplanetary and near-Earth space. The study of the influence of processes occurring in the lower and middle atmosphere on the behavior of the upper atmosphere parameters, including the ionosphere, is an essential part of space weather. Another aspect of space weather is the impact on the Earth's ionosphere of processes occurring on the Sun through the magnetospheric-ionospheric interaction. One of the example of such an effect is geomagnetic storms, which in turn are capable to exert a large, and in some cases catastrophic, impact on the global distribution of electron density in the Earth's ionosphere. The spatial-temporal behavior of various ionospheric parameters has a significant effect:

- 1) on the satellites motion and braking;
- 2) on the conditions for the transmission of radio signals.

Presently existing empirical models of the middle and upper atmosphere, constructed on the basis of observational data and used as environmental models in solving various applied problems, are climatic and do not accurately describe the medium parameters during the periods of various heliospheric, atmospheric, meteorological and magnetospheric disturbances. This also applies to the most frequently used international reference models such as the IRI ionospheric model, the CIRA and MSIS atmospheric models, and HWM model of the global thermospheric circulation. In this regard, the creation and modification of assimilation and interconnected self-consistent models of the upper atmosphere is the most urgent and priority applied scientific direction. This paper presents an overview of the existing ionospheric models and gives the main results obtained in the last decade on the basis of the Global Self-Consistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonosphere (GSM TIP). The nearest plans and perspectives of the development in the field of the ionosphere modeling are discussed.

This work was supported by the Grant of the RSF No. 17-17-01060.

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ
АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА
НА ОСНОВЕ ТЕХНИКИ ИНВЕРСИИ МАГНИТОГРАММ**

А.Б. Кондратьев, Ю.В. Пенских, С.Б. Лунюшкин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
sky1net@iszf.irk.ru

**AUTOMATED METHOD OF DETERMINING AURORAL OVAL BOUNDARIES
BASED ON THE MAGNETOGRAM INVERSION TECHNIQUE**

A.B. Kondratyev, Yu.V. Pensikh, S.B. Lunyushkin

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

Разработан оригинальный метод автоматизированного определения границ аврорального овала на основе карт эквивалентной токовой функции и продольных токов, рассчитываемых в программном комплексе ТИМ (техника инверсии магнитограмм) в приближении однородной проводимости ионосферы. В новом методе определяются граница обращения ионосферной конвекции, высокоширотная (полярная шапка) и низкоширотная границы аврорального овала, линии максимума плотности продольных токов в зонах I и II Ииджимы и Потемры и граница между этими зонами (линия максимума авроральных электроджетов). Указанные параметры ранее определялись вручную — визуальным анализом карт продольных и эквивалентных токов, что занимало очень много времени (недели и месяцы). Сравнение границ, полученных ручным и автоматизированным методами, показало, что коэффициент корреляции между двумя границами составляет в среднем 0.85, а среднеквадратичное отклонение не превышает 2–3 градусов по широте. Обеспечивая достаточную точность определения границ, автоматизированный метод сокращает время обработки карт на 2–3 порядка (до минут и часов), освобождая исследователя от трудоемкой визуальной работы. Новый метод реализован как один из важных блоков в модернизированном комплексе программ ТИМ.

We developed an original method to automatically determine the auroral oval boundaries. The method is based on the maps for equivalent current function and on the maps for field-aligned currents. The maps were calculated within the magnetogram inversion technique (MIT) software in the ionosphere homogeneous conductivity approximation. Through this new method, we determine: 1) the ionospheric convection reversal boundary, 2) the high-latitude (polar cap) and low-latitude boundaries of the auroral oval, 3) the field-aligned current density maximum lines in the Iijima–Potemra Regions 1 and 2, and 4) the boundary between these regions (auroral electrojet maximum line). Earlier, these parameters were determined manually, through visually analyzing the maps for field-aligned and equivalent currents, which took plenty of time (weeks and months). Comparing the boundaries obtained manually and automatically showed that the correlation coefficient between two boundaries is, on average, 0.85, and the root-mean-square deviation does not exceed 2–3 degrees latitude. By providing an adequate accuracy for the boundary determination, the automated method reduces the time for map processing by a factor of 2–3 (to minutes and hours), releasing a researcher from laborious visual work. The new method is implemented as one of the relevant modules in the updated MIT software.

**ДРЕЙФОВО-КОМПРЕССИОННЫЕ ВОЛНЫ,
РАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ В НАПРАВЛЕНИИ ДРЕЙФА
ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТОСФЕРЕ**

Д.В. Костарев, П.Н. Магер

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
kostarev@mail.iszf.irk.ru

**DRIFT-COMPRESSION WAVES PROPAGATING
IN THE DIRECTION OF ENERGETIC ELECTRON DRIFT
IN THE MAGNETOSPHERE**

D.V. Kostarev, P.N. Mager

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

В рамках gyrokinетики показана возможность существования в магнитосфере дрейфово-компрессионных волн, распространяющихся в направлении дрейфа энергичных электронов. Предполагается, что плазма состоит в основном из холодных частиц с примесью горячих частиц, протонов с максвелловским распределением и электронов с инверсным распределением. Найдены условия существования этих волн и их усиления за счет резонансного взаимодействия с энергичными электронами (дрейфовая неустойчивость) с инверсным распределением по энергиям. Результаты работы могут быть полезны при интерпретации наблюдений волновых явлений в магнитосфере с частотами в диапазоне геомагнитных пульсаций Pc5 и ниже.

Within the gyrokinetic framework it is shown that in the magnetosphere the drift-compression waves can propagate in the drift direction of energetic electrons. The plasma is assumed to be composed of core cold particles and a hot admixture of protons with a Maxwell distribution and electrons with an inverted distribution. The conditions of existence of such waves and their amplification due to resonance interaction with energetic electrons (drift instability) have been found. The obtained results can be helpful for interpretation of wave observations in the magnetosphere with frequencies in the range of geomagnetic pulsations Pc5 and below.

**АПРОБАЦИЯ МЕТОДА КОРРЕКЦИИ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ
ПО ДАННЫМ ПРИЕМНИКОВ
СИГНАЛОВ ГНСС В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ**

**^{1,2}Д.С. Котова, ³В.Б. Оводенко, ⁴Ю.В. Ясюкевич, ^{1,2}М.В. Клименко,
⁴А.А. Мыльникова, ⁴К.Г. Ратовский**

²Западное отделение Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия
darshu@ya.ru

³ОАО «НПК "НИИДАР"», Москва, Россия

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

**APPROBATION OF THE IONOSPHERE MODEL UPDATING METHOD FROM GNSS
DATA IN SIBERIAN REGION**

**^{1,2}D.S. Kotova, ³V.B. Ovodenko, ⁴Yu.V. Yasyukevich, ^{1,2}M.V. Klimenko,
⁴A.A. Mylnikova, ⁴K.G. Ratovsky**

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

²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

³NIIDAR, Moscow, Russia

⁴Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

В последние годы значительно возрос интерес к исследованию и диагностике ионосферы. Широкие возможности зондирования ионосферы предоставили глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), такие как GPS и ГЛОНАСС. Обработка сигналов ГНСС позволяет непрерывно вычислять абсолютное полное электронное содержание (ПЭС) в направлении на каждый спутник. Абсолютное ПЭС может использоваться для коррекции ионосферных моделей, что позволяет более точно описать распределение элект-

тронной концентрации. В настоящей работе мы осуществляем коррекцию модели NeQuick на основе данных абсолютного наклонного ПЭС. Метод коррекции параметров модели ионосферы по данным наклонного ПЭС заключается в поиске эффективного значения управляющего параметра модели. В модели NeQuick таким параметром является число солнечных пятен Rz12. Проведено сравнение модельных и экспериментальных данных по суточному поведению критической частоты F2-слоя над станциями в Иркутске и Норильске, которое позволило оценить эффективность метода коррекции параметров ионосферной модели по данным наклонного ПЭС в зависимости от времени суток и выбора сезона года.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00590 мол_а, гранта Президента РФ НШ-6831.2016.8 (Оводенко В.Б.) и программы повышения конкурентоспособности «5-100» БФУ им. И. Канта.

In recent years, attention to investigation and diagnostic of ionosphere significantly increases. Nowadays, global navigation satellite system (GNSS) such as GPS and GLONASS, worldwide ground-based network of satellite signal receivers provide a new possibility of real time ionospheric monitoring. GNSS signal processing is used for calculating absolute total electron content (TEC) along radio path between each satellite and ground-based receiver. The absolute TEC can be used for correction of ionospheric models providing more accurate electron density distribution. In this paper, we perform the correction of the NeQuick model based on the data of the absolute slant TEC. The correction method of ionospheric model parameters is based on the control parameters according to the slant TEC. Smoothed sunspot number Rz12 in the NeQuick is an example of such parameter. We compared the calculation results and the experimental data on the F2 layer critical frequency over the stations in Irkutsk and Norilsk to estimate the efficiency of the correction method of ionospheric model according to slant TEC data.

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 16-35-00590 мол_а, Grant of the President of the Russian Federation НШ-6831.2016.8 (Ovodenko V.B.) and the program of increasing the competitiveness of “5-100” I. Kant BFU.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ ПРОТОНОВ В МАГНИТНОМ ОСТРОВЕ В СКЛАДКЕ ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

**¹О.В. Мингалев, ^{2,3}О.В. Хабарова, ^{4,3}Х.В. Малова, ¹И.В. Мингалев, ³Р.А. Кислов,
¹М.Н. Мельник, ¹П.В. Сецко, ³Л.М. Зелёный**

¹Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия
setsko@pgia.ru

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,
Москва, Троицк, Россия

³Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

⁴Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Россия

SIMULATION OF PROTON ACCELERATION IN A OSCILLATING MAGNETIC ISLAND IN THE FOLDS OF THE HELIOSPHERIC CURRENT SHEET

**¹O.V. Mingalev, ^{2,3}O.V. Habarova, ^{4,3}H.V. Malova, ¹I.V. Mingalev, ³R.A. Kislov,
¹M.N. Melnik, ¹P.V. Setsko, ³L.M. Zelenyi**

¹Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

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

³Space Research Institute, Moscow, Russia

⁴Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow

В работе для объяснения наблюдений анизотропных пучков высокоэнергичных частиц вблизи магнитных островов исследованы процессы дальнейшего ускорения предус-

коренных протонов до энергий в сотни кэВ в колеблющемся магнитном острове, который находится в солнечном ветре внутри складки гелиосферного токового слоя (ГТС).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-01-00100а.

To explain the observations of anisotropic beams of high-energy particles near magnetic islands, processes of further acceleration up to energies of hundreds keV of preaccelerated protons in the oscillating magnetic island located in the solar wind inside the fold of the heliospheric current sheet are investigated.

The study was carried out with the financial support from RFBR during of the scientific project No. 17-01-00100a.

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЕ У ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ПРИ ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПЛАЗМОЙ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

^{1,2}**Т.И. Морозова**, ^{1,2}**С.И. Попель**

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²МФТИ (ГУ), Долгопрудный, Россия
timoroz@yandex.ru

WAVE PROCESSES IN MOON'S SURFACE DUSTY PLASMA UNDER ITS INTERACTION WITH THE EARTH'S MAGNETOTAIL PLASMA

^{1,2}**T.I. Morozova**, ^{1,2}**S.I. Popel**

¹Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

²MIPT (SU), Dolgoprudny, Russia

Представлено описание волновых процессов при взаимодействии хвоста магнитосферы Земли с пылевой плазмой у поверхности Луны. Показана возможность возбуждения волн у освещенной части поверхности Луны для параметров фотоэлектронов, характеризующихся квантовым выходом лунного реголита из [Willis, et al. // Photon and Particle Interactions With Surfaces in Space. 1973. p. 389]. Ионно-звуковые волны возбуждаются в областях магнитного переходного и/или пограничного слоев магнитосферы в результате развития линейной гидродинамической неустойчивости, тогда как генерация пылевых звуковых волн обусловлена развитием линейной кинетической неустойчивости во всей области взаимодействия хвоста магнитосферы с пылевой плазмой у Луны. В обеих ситуациях развитие неустойчивостей обусловлено относительным движением ионов магнитосферы и заряженных пылевых частиц. Исследованы процессы развития ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности. Ионно-звуковая турбулентность рассматривается с позиций сильной турбулентности, тогда как для описания пылевой звуковой турбулентности используется теория слабой турбулентности. Для случаев ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности определены плотности энергии колебаний, эффективные частоты столкновений, а также возникающие в системе электрические поля. Оказывается, что при развитии ионно-звуковой турбулентности в плазменно-пылевой системе у Луны могут возбуждаться электрические поля, несколько меньшие электрических полей у поверхности Луны, возникающих в процессе зарядки ее поверхности при взаимодействии Луны с солнечным излучением, но, тем не менее, вполне значимые для установления адекватной картины электрических полей над Луной. Полученные эффективные частоты столкновений следует учитывать при записи гидродинамических уравнений для ионов пылевой плазмы с учетом ее турбулентного нагрева.

Wave processes in the Earth's magnetotail plasma during the interactions with the dust near the surface of the Moon are considered. It is shown that the excitation of waves is possible near the illuminated part of the Moon for photoelectron parameters characterized by a quantum yield

of the lunar regolith from the [Willis, et al. // Photon and Particle Interactions With Surfaces in Space. 1973. p. 389]. Ion-sound waves are excited in the magnetosheath and/or boundary layer of the magnetosphere as a result of linear hydrodynamic instability, while dust acoustic waves are generated due to the development of a linear kinetic instability in the entire region of the magnetotail plasma during the interactions with the lunar dust. In both the situations, the development of the instabilities is caused by the relative motion of magnetospheric ions and charged dust particles. The processes of ion-acoustic and dust acoustic turbulence are described. Ion-acoustic turbulence is considered from the viewpoint of strong turbulence, whereas to describe dust acoustic turbulence, we use the weak turbulence theory. The wave energy densities, the effective collision frequencies, and the electric fields appearing in the system are determined for the cases of ion-acoustic and dust acoustic turbulences. It is shown that the development of ion-acoustic turbulence in dusty plasma system near the Moon is accompanied by the excitation of the electric fields several smaller than the electric fields arising due to the process of charging of the surface of the Moon during its interaction with the solar radiation. Nevertheless, the electric fields appearing due to the development of ion-acoustic turbulence are important to establish an adequate picture of the electric fields on the Moon. The resulting effective collision frequencies should be considered in the hydrodynamic equations for dusty plasma ions with taking into account its turbulent heating.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ МАКСИМУМА
РАЗВИТИЯ ШАЛ ПО ОТКЛИКАМ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ЯКУТСКОЙ УСТАНОВКИ ШАЛ**

В.П. Мохначевская, Ю.А. Егоров, С.П. Кнуренко, И.Е. Слепцов, З.Е. Петров

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
valyamokh@yandex.ru

**THE RESULTS OF THE RECOVERY OF THE MAXIMUM DEPTH OF THE EAS
ON THE RESPONSES OF TRACK DETECTORS YAKUTSK ARRAY EAS**

V.P. Mokhnachevskaya, Yu.A. Egorov, S.P. Knurenko, I.E. Sleptsov, Z.E. Petrov

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

В работе приводится описание системы трековых детекторов, работающих на Якутской комплексной установке ШАЛ. Описана методика, позволяющая по отклику детектора вычислить число фотонов, приходящих с разных высот атмосферы, и тем самым восстановить продольное развитие в индивидуальных ливнях.

Представлены результаты прямых наблюдений каскадной кривой, и определен максимум развития ливня X_{\max} по наблюдениям черенковского света ШАЛ. Из сравнения X_{\max} с расчетами по модели QGSJETII-04 для разных первичных частиц получен предварительный вывод о массовом составе космических лучей в области энергий выше 10^{16} эВ.

A description is given of a system of tracking detectors operating at the Yakut complex EAS array. A technique is described that allows one to calculate the number of photons arriving from different heights of the atmosphere from the detector response and thereby restore longitudinal development in individual showers.

The results of direct observations of the cascade curve are presented and the depth of maximum shower development (X_{\max}) is determined from the observations of Cherenkov light from the EAS. From a comparison of X_{\max} with calculations based on the QGSJETII-04 model for different primary particles, a preliminary conclusion was obtained on the mass composition of cosmic rays in the energy above 10^{16} eV.

**ПОЛУЧЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ
ПО ОДНОЧАСТОТНЫМ ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ**

¹А.А. Мыльникова, ^{1,2}Ю.В. Ясюкевич, ²В.Б. Иванов

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
manna@iszf.irk.ru

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

**ESTIMATING THE ABSOLUTE TOTAL ELECTRON CONTENT BASED
ON SINGLE-FREQUENCY GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM DATA**

¹A.A. Mylnikova, ^{1,2}Yu.V. Yasyukevich, ²V.B. Ivanov

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

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

В работе представлен подход, позволяющий произвести оценку абсолютного вертикального и наклонного полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы. Оценка основана на одночастотных совместных измерениях фазового и группового запаздывания сигнала GPS/ГЛОНАСС по данным отдельных измерительных станций. Расчет абсолютного вертикального ПЭС выполняется с использованием модели разложения наклонного ПЭС в ряд Тейлора по пространству и времени. Совместно с абсолютным вертикальным ПЭС производится расчет пространственных градиентов ПЭС, на основе которых можно получить значения ПЭС на удалении от станции. Чтобы оценить возможную ошибку расчета абсолютного вертикального ПЭС по одночастотным измерениям, набрана статистика разностей значений ПЭС, получаемых по двухчастотным и одночастотным измерениям. Анализ проведен для 2009 г. (минимум солнечной активности) и 2014 г. (максимум солнечной активности) на основе данных GPS/ГЛОНАСС-станций IRKJ и NRC1, находящихся на средних широтах. Получено, что качественно и количественно вертикальное ПЭС, рассчитанное по одночастотным измерениям, согласуется с оценками, основанными на двухчастотных измерениях. Типичное значение разности вертикального ПЭС, полученного одночастотным и двухчастотным методом, для выбранных нами станций в основном не превышает ~ 1.5 TECU с СКО до ~ 3 TECU. Получение абсолютных значений ПЭС по одночастотным измерениям представляется, на наш взгляд, весьма перспективным для развития мониторинга ионосферы, особенно на территории Российской Федерации, где число двухчастотных приемников не так велико, как, например, в Японии или США. Как показал проведенный анализ, одночастотные измерения вертикального ПЭС лишь незначительно уступают в качестве двухчастотным измерениям.

We present a technique for the absolute vertical and slant total electron content (TEC) estimation. The technique is based on the single-frequency joint phase and pseudorange GPS/GLONASS measurements at single stations. The vertical TEC estimation is based on Taylor series expansion in space and time. Together with the absolute vertical TEC, the spatial gradients of the TEC are calculated, which makes it possible to obtain the TEC values at some distance from the station. To analyze the accuracy of the technique, the differences between TEC values obtained from two-frequency and single-frequency measurements are calculated and statistics is obtained. The analysis is performed for entire 2009 year (solar activity minimum) and for entire 2014 year (solar activity maximum), based on single-frequency and dual-frequency GPS/GLONASS data from IRKJ and NRC1 stations located at the middle latitudes. Estimated single-frequency vertical TEC agrees qualitatively and quantitatively with the dual-frequency vertical TEC. For the stations of interests single-frequency vertical TEC values and dual-frequency ones are generally differ not much than ~ 1.5 TECU with RMS up to ~ 3 TECU. The technique for estimating absolute values of TEC by single-frequency measurements seems, in our opinion, very promising for the development of ionospheric monitoring, especially in Russian Federation, where the number of two-frequency

receivers is not so big compared to Japan or USA. The results show, that single-frequency measurements of vertical TEC are only slightly less accurate compared to two-frequency measurements.

НАБЛЮДЕНИЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПОВЫШЕНИЙ ПЭС ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ КАРТ

¹И.И. Непомнящих, ²И.К. Едемский

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
ilya@iszf.irk.ru

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

INVESTIGATION OF LOCALIZED TEC ENHANCEMENTS BASED ON GLOBAL IONOSPHERIC MAPS

¹I.I. Nepomnyashchikh, ²I.K. Edemsky

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

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

В работе рассматривается подход к анализу глобальных карт GIM, позволяющий выделять локализованные области повышения полного электронного содержания (ПЭС). Подход основан на определении значимых отклонений величины ПЭС от медианных значений и позволяет проводить анализ значительных объемов данных в автоматическом режиме. В работе представлена полученная в процессе такого анализа статистика наблюдений событий и динамика изменения их числа за период 2000–2017 гг.

Работа выполнена при поддержке Президента Российской Федерации (грант № МК-1097.2017.5).

We present a method of global ionospheric maps (GIM) analysis allowing us to find localized areas of total electron content (TEC) enhancement. The method is based on definition of significant TEC deviations from the median values. The method makes possible to analyze big amount of data automatically. We present the results of such an analysis for the period 2000–2017 and show the dynamics of the events during the period.

The work is supported by Russian Federation President (grant No. МК-1097.2017.5).

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЯМОГО ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОИСКА ВЕРХНИХ И НИЖНИХ ЛУЧЕЙ В ЗАДАЧЕ РАСЧЕТА КВ-РАДИОТРАСС В ИОНОСФЕРЕ

¹И.А. Носиков, ^{1,2}М.В. Клименко, ³П.Ф. Бессараб

¹Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия
igor.nosikov@gmail.com

²Западное отделение Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

³Университет Исландии, Рейкьявик, Исландия

IDENTIFICATION OF LOW AND HIGH RAYS FOR CALCULATING SHORT-WAVE RADIO PATHS IN THE IONOSPHERE BY A DIRECT VARIATIONAL METHOD

¹I.A. Nosikov, ^{1,2}M.V. Klimenko, ³P.F. Bessarab

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

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

³University of Iceland, Reykjavik, Iceland

Представлена методика поиска верхних и нижних лучей в задаче расчета радиотрасс в модельной ионосфере с заданными положениями передатчика и приемника. Проведенное исследование всех типов стационарных решений позволило доказать существование минимумов и седловых точек функционала радиолуча. Определение верхних лучей осуществляется прямой минимизацией функционала оптической длины пути. Нижние лучи, представляющие собой седловые точки, определяются с помощью методов оптимизации, позволяющих инвертировать стационарное решение в минимум оптической длины пути. Данная методика апробирована в модельной изотропной ионосфере, где электронная концентрация задавалась по модели IRI. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта № 16-35-00590 мол_а.

Direct optimization of the optical path functional is a promising approach to the point-to-point ionospheric ray tracing problem. The approach involves a systematic transformation of the ray trajectory to an optimal configuration satisfying the Fermat's principle, while the endpoints are kept fixed according to the boundary conditions. Here, a strategy is proposed for the identification of both high and low rays using a direct variational approach. High rays are obtained by minimizing the optical path of ionospheric radio rays. Low rays which correspond to saddle points of the optical path are found using the minimum mode following method, where the saddle points are essentially converted to local minima. The method is applied to a point-to-point ionospheric ray tracing, where the propagation medium is obtained with the International Reference Ionosphere model.

ЭФФЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН И ПЛАЗМЕННЫЕ СТРУКТУРЫ В ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ GNSS-ИЗМЕРЕНИЙ НА ТРАССАХ СПУТНИК—СПУТНИК И СПУТНИК—ЗЕМЛЯ

А.А. Павельев

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия
alxndr38@gmail.com

RADIO WAVE PROPAGATION EFFECTS AND PLASMA STRUCTURES IN THE IONOSPHERE FROM GNSS MEASUREMENTS AT SATELLITE—SATELLITE AND SATELLITE—EARTH PATHS

A.A. Pavelyev

Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, Fryazino, Russia

Классифицированы эффекты ионосферного воздействия слоев и случайно-неоднородных структур на распространение радиоволн на трассах спутник—спутник и спутник—Земля. Рассмотрен суточный, сезонный и широтный ход электронной концентрации на различных высотах в ионосфере по данным измерений амплитуды и фазы сигналов навигационных систем (GNSS) в области полярного овала с анализом случаев воздействия нагревного стенда HAARP за период с 2007 по 2015 г.

Ionospheric effects produced by layers and randomly inhomogeneous structures on propagation of radio waves at satellite—satellite and satellite—Earth paths are classified. The diurnal, seasonal and latitudinal variations of the electron concentration at different heights in the ionosphere are analyzed using measurements of the amplitude and phase of navigation system signals (GNSS) in the polar oval region with the influence of the HAARP during 2007–2015.

**УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ
КОЛЕБАНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ.
АНАЛИЗ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ THEMIS**

¹А.В. Рубцов, ²П.Н. Магер, ²Д.А. Чуйко, ^{1,2}Д.Ю. Климушкин

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

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
avtubcov@mail.ru

**ULTRA-LOW-FREQUENCY COMPRESSIONAL OSCILLATIONS
IN THE MAGNETOSPHERE.
DATA ANALYSIS OF THE SATELLITE SYSTEM THEMIS**

¹A.V. Rubtsov, ²P.N. Mager, ²D.A. Chuiko, ^{1,2}D.Yu. Klimushkin

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

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Исследована компрессионная пульсация Pc5 со значительной полоидальной компонентой, обнаруженная в данных спутниковой системы THEMIS. Были построены динамические спектры и вычислены параметры пульсации, определены параметры среды. По найденным параметрам среды была смоделирована частота фундаментальной гармоники стоячей альфвеновской волны. Было показано, что наблюдаемая частота пульсации близка к альфвеновской частоте. Таким образом, сделан вывод, что наблюдаемая волна является альфвеновской.

Данная работа частично поддержана грантом РФФИ № 16-05-00254.

The compressional Pc5 pulsation with a significant poloidal component found in the THEMIS data was investigated. Dynamic spectra were plotted and the parameters of pulsation as well as the parameters of the environment were determined. Based on the found parameters of the environment, the frequency of the fundamental harmonic of the standing Alfvén wave was simulated. It was shown that the observed pulsation frequency is close to the Alfvén frequency. Thus, it was concluded that the observed wave is the Alfvén mode.

**АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ
НА ИРКУТСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

А.Г. Сетов, В.П. Лебедев, А.В. Медведев, Д.С. Кушнарв

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

setov@iszf.irk.ru

**ABSOLUTE POWER MEASUREMENTS AT THE IRKUTSK
INCOHERENT SCATTER RADAR**

A.G. Setov, V.P. Lebedev, A.V. Medvedev, D.S. Kushnarev

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

Длинные ряды данных, полученные на Иркутском радаре некогерентного рассеяния, используются для исследования ионосферы, наблюдения за космическими объектами и для пассивных радионаблюдений. Ранее для анализа этих данных применялись методы, в которых не требуется знания точной величины принятого сигнала. В работе рассмотрена методика калибровки зарегистрированных сигналов и проведено сравнение полученной абсолютной мощности с мощностью сигнала некогерентного рассеяния.

Long rows of data, obtained at the Irkutsk Incoherent Scatter Radar are used for ionospheric studies, space surveillance and passive radio observations. Methods, that do not require knowledge about exact value of received signal, were used earlier of analysis of this data. This

work describes calibration technique for registered signals and comparison between measured absolute power and incoherent scatter power.

**ИЗМЕРЕНИЕ МЕРЦАНИЙ НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ NOVATEL GPStation-6
НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ**

^{1,2}С.В. Сыроватский, ^{1,2}Ю.В. Ясюкевич, ^{1,2}А.М. Веснин

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

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

semen_syrovatskii@iszf.irk.ru

**RECORDING SCINTILLATIONS OF THE NAVIGATION SIGNAL
BY NOVATEL GPStation-6 EQUIPMENT AT MID-LATITUDES**

^{1,2}S.V. Syrovatskii, ^{1,2}Yu.V. Yasyukevich, ^{1,2}A.M. Vesnin

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

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

В работе представлены результаты измерений фазовых и амплитудных мерцаний навигационного сигнала с использованием приемника NoVatel GPStation-6, расположенного в ИСЗФ СО РАН (Иркутск). В ходе работы был создан программный модуль для визуализации и первичной обработки данных мерцаний. Измерения проводятся для систем GPS (на частотах L1, L2, L5) и ГЛОНАСС (на частотах L1, L2). Наши результаты показывают отсутствие интенсивных амплитудных мерцаний на средних широтах даже во время сильных магнитных бурь. В то же время зарегистрирован ряд случаев появления интенсивных мерцаний до значений S4~1. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 15-05-03946.

This work describes the results of measurements of the phase and amplitude scintillations of the navigation signal using the NoVatel GPStation-6 receiver located in the ISTP SB RAS (Irkutsk). During this work a software module was created for visualization and primary processing of data of scintillations. The measurements are carried out for systems of GPS (at the frequencies L1, L2, L5) and GLONASS (at the frequencies L1, L2). Our results show the absence of intense amplitude scintillations at mid-latitudes, even during strong magnetic storms. At the same time, a number of cases of the appearance of intense scintillations to S4~1 are recorded. The work is supported by the RFBR (grant No. 15-05-03946).

**ЭВОЛЮЦИЯ ОБЛАКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ**

М.Ю. Терновой

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

mark.ternovoy@yandex.ru

**EVOLUTION OF A CLOUD OF CHARGED PARTICLES
IN THE EARTH'S MAGNETIC FIELD**

M.Yu. Ternovoi

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Представлены результаты моделирования эволюции облака заряженных частиц в геомагнитном поле, испущенных из космического аппарата на околоземной орбите. Исследованы форма и динамика облака в зависимости от угла между направлением струи выхлопа и силовыми линиями магнитного поля (IGRF-12).

We present simulated results of the evolution of a cloud of the charged particles injected by spacecraft in the geomagnetic field. We analyzed the cloud shape and dynamics, depending on the angle between the exhaust jet direction and the magnetic field (IGRF-12).

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА
С УЧЕТОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

О.А. Трушкова, А.А. Кислицын, А.В. Зув

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия
trushkova_ol@mail.ru

**VARIABILITY OF TRANSIONOSPHERIC RADIO CHANNEL PARAMETERS
ALLOWING FOR GEOPHYSICAL AND GEOGRAPHICAL FACTORS**

O.A. Trushkova, A.A. Kislitsyn, A.V. Zuev

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Важной характеристикой, влияющей на распространение сигнала через ионосферу, является полное электронное содержание. В свою очередь, полное электронное содержание испытывает значительные вариации при изменении геофизических и географических условий. В работе представлена методика исследования полного электронного содержания по данным транссионосферного зондирования. Представлены результаты определения суточных вариаций полного электронного содержания в различных широтно-долготных регионах при разных уровнях солнечной активности. На основе полученных результатов проведена оценка степени искажений сигналов при транссионосферном распространении с помощью исследования параметров дисперсии радиоканала.

Total electron content is an important characteristic affecting the signal propagation through the ionosphere. In turn, the total electron content is experiencing significant variations when you change the geophysical and geographical conditions. The paper presents the methodology of the study the total electron content according transionospheric sensing. Presents the results of diurnal variations in total electron content in different latitudinal-longitudinal regions under different levels of solar activity. On the basis of the results of the assessment of the degree of distortion of signals in casinosthere distribution, using the parameters of dispersion of the radio channel.

**НАБЛЮДЕНИЯ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ
В НОЧНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ
ЕКАТЕРИНБУРГСКОГО КОГЕРЕНТНОГО СРЕДНЕШИРОТНОГО РАДАРА**

М.А. Челпанов, О.В. Магер, П.Н. Магер, Д.Ю. Климушкин, О.И. Бернгардт

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
max_chel@iszf.irk.ru

**LONG-PERIOD PULSATIONS OBSERVED
WITH EKATERINBURG COHERENT MIDLATITUDE RADAR
IN THE NIGHTSIDE MAGNETOSPHERE**

M.A. Chelpanov, O.V. Mager, P.N. Mager, D.Yu. Klimushkin, O.I. Berngardt

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

Рассмотрены УНЧ-пульсации, наблюдавшиеся в ночной магнитосфере с помощью Екатеринбургского когерентного радара. Представлены случаи наблюдения дрейфово-компрессионных волн. Для анализа привлечены спутниковые данные о магнитном поле и

плотности частиц в магнитосфере, полученные в период наблюдения волн. Сравнительный анализ показал, что в большинстве случаев наблюдаемые на радаре волны имеют частоту ниже собственной частоты колебания силовых линий и, вероятно, имеют кинетическую природу.

The analysis of ULF pulsations observed with the Ekaterinburg Coherent Radar in the nightside magnetosphere is implemented. The work presents drift-compressional wave observation cases. We used data on magnetic field and particle density during radar wave registration. The analysis shows that the majority of the oscillations feature frequencies that are much lower than fundamental poloidal Alfvén eigenmode frequency and therefore could have kinetic nature.

ФЛУКТУАЦИИ УРОВНЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОПРОВОЖДАВШИЕ СИЛЬНЕЙШИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Л.Ф. Черногор, Е.О. Смирнова

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

GEOMAGNETIC FIELD FLUCTUATIONS ASSOCIATED WITH THE GREATEST EARTHQUAKES

L.F. Chernogor, K.O. Smirnova

V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

С использованием данных магнитометра-флюксметра, размещенного в Магнитной обсерватории ХНУ им. В.Н. Каразина, проанализированы вариации уровня горизонтальных компонент геомагнитного поля с периодами $T \approx 1-1000$ с, сопровождавшие сильнейшие землетрясения (магнитуда $M \approx 7-9$). Расстояние между эпицентром землетрясения и обсерваторией изменялось от ~ 3000 до ~ 8000 км. Для обнаружения реакции на землетрясения использовался системный спектральный анализ, представляющий собой сочетание оконного и адаптивного преобразований Фурье, а также вейвлет-преобразования, взаимодополняющих друг друга. Спектральному анализу предшествовало тщательное изучение состояния космической погоды и исключение вариаций геомагнитного поля, обусловленных космическими факторами. Обнаружена реакция геомагнитного поля на свершившиеся землетрясения. Скорость возмущения была около 2.6–3.3 км/с и 290–430 м/с, период колебаний с амплитудой 1.5–2.5 нТл (фоновое значение — 0.5–1 нТл) был около 10–15 мин, продолжительность — 60–80 мин. Возмущение переносилось сейсмическими и акустико-гравитационными волнами. Магнитные предвестники землетрясений уверенно не наблюдались.

The fluxgate magnetometer has acquired measurements in the horizontal components at the V.N. Karazin Kharkiv National University Magnetic Observatory. The variations of the geomagnetic field, which were associated with greatest earthquakes of Richter magnitude 7–9, have been analyzed within the approximate period range of 1–1.000 s. The distances between the earthquakes epicenters and the Magnetic Observatory fall within the range from approximately 3000 km to 8000 km. To detect the response to the earthquakes, the system analysis was carried out, which includes the mutually complementary wavelet transform, the short-time Fourier transform, and the adaptive Fourier transform in a sliding window with a width adjusted to be equal to a fixed number of harmonic periods. The spectral analysis was preceded by a detailed study of the space weather state and the exclusion of geomagnetic variations caused by space factors. The response of the geomagnetic field to the earthquakes has been detected. The speed of its propagation is equal to approximately 2.6–3.3 km/s and 290–430 m/s, the oscillation period of approximately 10–15 min for the amplitudes of 1.5–2.5 nT (with 0.5–1 nT value in the background), and the duration of 60–80 min. The disturbances were transported by seismic and acoustic gravity waves. Magnetic precursors of earthquakes were not observed confidently.

ГЛОБАЛЬНАЯ СТАТИСТИКА БОЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Л.Ф. Черногор, Н.Б. Шевелев

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

GLOBAL STATISTICS OF METER-SIZE METEOROIDS

L.F. Chernogor, N.B. Shevelev

V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Цель доклада — изложение результатов анализа распределений числа падений метеороидов в зависимости от их энергии свечения, скорости, высоты области максимального свечения и географического места расположения, а также корреляционных зависимостей высота области максимального свечения — логарифм энергии свечения космического тела и логарифм квадрата начальной скорости — логарифм энергии свечения космического тела. В качестве исходной использовалась спутниковая база данных НАСА о свечении тормозящихся в атмосфере Земли 693 метеороидов. Подтверждено, что число падений метеороидов быстро убывает при увеличении их энергии свечения. Средняя скорость космических тел была около 17.9 км/с. Высота максимального свечения чаще всего составляла 30–40 км. Закон распределения числа космических тел по долготе и широте (после исключения широтной зависимости), обусловленный геометрией, близок к равномерному. Корреляционная зависимость высота области максимального свечения — логарифм энергии свечения свидетельствует об отсутствии устойчивой связи между этими параметрами. Наблюдается определенная статистическая связь между логарифмом квадрата начальной скорости космического тела и логарифмом энергии свечения.

The goal of this report is to present the analysis of the distribution of the number of meteoroid (mini asteroid) falls as a function of their energy, velocity, the altitude of maximum glow, and geographic coordinates, as well as the correlation diagrams for (1) the altitude of maximum glow and the logarithm of celestial body glow and (2) the logarithm of square of the initial speed squared and the logarithm of the celestial body glow. As a source, the NASA satellite database on the glow of 693 mini asteroids, which were decelerated in the terrestrial atmosphere, has been used. A rapid decrease in the number of asteroids with increasing energy of their glow is confirmed. The average speed of the celestial bodies is equal to approximately 17.9 km/s. The altitude of maximum glow most often equals to 30–40 km. The distribution of the number of meteoroid entries into the terrestrial atmosphere in longitude and latitude (after excluding the component in the latitudinal dependence due to the geometry) has been shown to be approximately uniform. The correlation diagrams for the altitude of maximum glow and the logarithm of celestial body glow indicate that the relation between these parameters is not stable. Some statistical dependence between the logarithm of the square of the initial speed and the logarithm of the celestial body glow is observed.

О ВОЗМОЖНЫХ ПОДХОДАХ К ВЫЧИСЛЕНИЮ ИНДЕКСОВ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА БАЗЕ ДАННЫХ МИРОВЫХ СЕТЕЙ ГЕОМАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

В.Э. Чиликин, В.А. Пархомов

Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия
chilikinve@ya.ru

**ABOUT THE POSSIBLE TECHNIQUE CALCULATION INDICES
OF GEOMAGNETIC ACTIVITY BASED ON THE DATA FROM WORLD
NETWORKS OF GEOMAGNETIC OBSERVATORIES
FOR OPERATIONAL DIAGNOSTICS OF SPACE WEATHER**

V.E. Chilikin, V.A. Parkhomov

Baikal State University, Irkutsk, Russia

Обсуждается возможность использования данных мировых сетей магнитометров для диагностики космической погоды. Представлено программное обеспечение, предназначенное для вычисления эквивалентных ионосферных токов Hav , построения карт векторов токов и изучения процессов, происходящих в околоземном космическом пространстве. Рассматривается возможность использования среднего значения Hav для оперативной диагностики космической погоды как аналога общепринятых геомагнитных индексов.

Discussion about of using data of the world magnetometer networks for diagnostics of space weather. The software is designed to calculate equivalent ionospheric currents Hav , constructing maps of the current vectors and research of the processes taking place in near-Earth space. Considered of using the average Hav value for operational diagnostics of space weather as an analog of the generally accepted geomagnetic indices.

**ВЛИЯНИЕ АЛЬФВЕНОВСКОГО РЕЗОНАНСА НА ОСНОВНУЮ МОДУ,
ГЕНЕРИРУЕМУЮ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ НА МАГНИТОПАУЗЕ**

Д.А. Чуйко

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

chuiko@iszf.irk.ru

**EFFECT OF THE ALFVEN RESONANCE ON THE FUNDAMENTAL MODE
GENERATED BY INSTABILITY AT THE MAGNETOPAUSE**

D.A. Chuiko

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

Исследована нулевая (основная) гармоника колебаний внешней магнитосферы Земли в приближении идеальной МГД. Поле колебаний плазмы внешней магнитосферы в таком случае имеет особенность — альфвеновский резонанс на магнитопаузе. Решена задача о структуре поверхностной волны, которая генерируется сдвиговым течением на магнитопаузе и частично поглощается в области резонанса. Определена пространственная структура волны при наличии резонанса вблизи переходного слоя. Получены аналитические выражения, описывающие частоту и инкремент поверхностной волны, а также ее пространственную структуру. Оценивается нагрев плазмы переходного слоя посредством диссипации альфвеновского резонанса.

The zero (or primary) oscillation harmonic of the Earth outer magnetosphere is investigated in the ideal MHD approximation. The outer magnetosphere plasma oscillation field in this case has a singularity — the Alfvén resonance on the Earth magnetopause. The problem of determining the structure of the surface wave that is generated by the shear flow at the magnetopause is solved. The wave spatial structure is determined taking into the account the presence of the Alfvén resonance near the boundary layer. The analytic expressions describing the surface wave frequency, growth rate and also its spatial structure are obtained. The heating of the boundary layer plasma due to the Alfvén resonance dissipation is estimated.

ГЛОБАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ В 23 И 24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

¹**А.С. Ясюкевич**, ^{1,2}**Ю.В. Ясюкевич**, ³**И.В. Живетьев**

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
annpol@iszf.irk.ru

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

³Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Россия

GLOBAL ELECTRON CONTENT IN THE 23 AND 24 SOLAR CYCLES

¹**A.S. Yasyukevich**, ^{1,2}**Yu.V. Yasyukevich**, ³**I.V. Zhivetiev**

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

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

³Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, Paratunka, Russia

На основании данных глобальных карт полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы выполнен анализ поведения глобального электронного содержания (ГЭС) в течение 23-го и 24-го циклов солнечной активности. Изучены динамика ГЭС, а также его годовые, полугодовые и 27-дневные вариации. Выполнено сравнение параметров вариации ГЭС и регионального электронного содержания (РЭС). Рассмотрены вариации ГЭС для Байкальского, Европейского и Японского регионов. Показано, что общая динамика РЭС, ГЭС и их вариаций отражают изменения солнечного радиоизлучения ($F10.7$). При этом максимальная амплитуда указанных вариаций наблюдается в Японии. Выявлено, что в исследуемых регионах зависимость амплитуды суточных вариаций РЭС от $F10.7$ близка к линейной, в отличие от аналогичной зависимости для ГЭС. Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-6894.2016.5) и проекта РФФИ № 16-35-60018.

Using the Global Ionospheric Maps data of total electron content (TEC) we analyze behavior of the ionospheric global electron content (GEC) during the 23^d and 24th solar activity cycles. We examine GEC dynamics as well as its annual, semiannual and 27-day variations and compare features of the variations in GEC and regional electron content (REC). REC analyzes is performed for the Baikal, European and Japan regions. General dynamics in REC, GEC and their variations is shown to repeat the $F10.7$ solar radio emission changes. Herewith the maximal amplitude of considered variations is observed in Japan. Dependence of diurnal REC variations amplitude on the $F10.7$ index is revealed to be close to linear for all the regions under study, unlike the analogous GEC dependence. The study is supported by RF President Grant of Public Support for RF Leading Scientific Schools (NSh-6894.2016.5) and the RFBR project No. 16-35-60018.