

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТРАНСИОНОСФЕРНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

¹Е.Т. Агеева, ²Н.Т. Афанасьев, ¹Д.Ч. Ким

¹Братский государственный технический университет, Братск;

²Иркутский государственный университет, Иркутск
sphalerite@yandex.ru

DETERMINING THE SPATIAL LOCALIZATION REGION FOR ELECTRON DENSITY RANDOM IRREGULARITIES FROM TRANSIONOSPHERIC RADIO SIGNAL CHARACTERISTICS

¹E.T. Ageyeva, ²N.T. Afanasiev, ¹D.Ch. Kim

Как показывают исследования, проведенные в последние годы, контроль процессов, протекающих на высотах нейтральной атмосферы, можно осуществлять, отслеживая состояние неоднородной структуры ионосферной плазмы. Более того, вариации параметров ионосферных неоднородностей могут нести в себе информацию о колебаниях земной поверхности и даже с определенной долей вероятности указывать на предстоящие сейсмические события. В настоящее время известно, что ионосферные предвестники землетрясений могут проявляться в виде специфических возмущений электронной плотности. Отличительной особенностью таких возмущений является то, что они формируются на ионосферных высотах в ограниченной области пространства, проекция которой на земную плоскость содержит окрестность эпицентра предстоящего землетрясения. Метод обнаружения и контроля такой возмущенной области должен быть основан на регулярном слежении за состоянием неоднородной ионосферы над сейсмически активными районами Земли. Для этой цели перспективным является организация трансionoсферного канала связи с ионозондом, установленным на космическом аппарате (КА), периодически пролетающем над заданным регионом.

Среди всего многообразия неоднородностей электронной плотности ионосферы особый интерес представляют неоднородности турбулентного типа, образующиеся в ограниченных областях пространства. Такие неоднородности, в частности, при определенных условиях могут быть инициированы генерацией в ионосфере перемещающихся крупномасштабных возмущений электронной плотности. Последние, в свою очередь, в возмущенных условиях могут быть вызваны акустико-гравитационными волнами, возникающими в результате литосферно-ионосферных взаимодействий при подготовке сильных землетрясений. Поэтому определение области локализации турбулентных неоднородностей повышенной интенсивности представляется важным. В докладе на основе геометрической оптики и теории возмущений предложена методика идентификации возмущенной полностью турбулизованной области ионосферной плазмы по статистическим траекторным характеристикам сигналов трансionoсферного многочастотного зондирования с КА. В последнее время измерения ряда статистических характеристик сигнала стали возможными благодаря созданию цифровых ионозондов нового поколения. В качестве модели тонкой структуры области случайной ионизации в работе использованы представления о корреляционном эллипсоиде, локализованном в пространстве. В предлагаемой методике анализ экспериментальных данных производится следующим образом. При нескольких положениях КА относительно пункта приема, расположенного на Земле, определяются статистические траекторные характеристики сигналов на разных рабочих частотах. Далее фиксируется частотный диапазон, в котором дисперсии флуктуаций траекторных характеристик значительно возрастают по сравнению с их флуктуациями в фоновой ионосфере. Невозмущенные флуктуации траекторных характеристик оцениваются с помощью метода, ранее разработанного авторами. Далее в пространстве строится «активная» область, где может находиться возмущение турбулентности плазмы. Границы этой области образуются траекториями трансionoсферных сигналов с частотами, не прореагировавшими на возмущенную турбулентность. Данные траектории рассчитываются в регулярной невозмущенной ионосфере. Наложение «активных» областей, построенных для совокупности измерений, отвечающих различным положениям КА, позволяет определить место локализации области возмущенной турбулентности ионосферы.

As recent research intimates, the processes occurring at neutral-atmospheric heights can be monitored by studying the state of non-uniform structure of ionospheric plasma. Moreover, ionospheric irregularity parameter variations can carry information about terrestrial surface fluctuations and may even be suggestive of forthcoming seismic events. It is known to date that ionospheric precursors of earthquakes can show up as specific electron density perturbations. Typically they are produced at ionospheric heights within a limited region of space whose mapping onto the terrestrial plane contains the neighborhood of the earthquake to occur. The method to detect and monitor such a disturbed region must rely on regular observations of the inhomogeneous ionospheric conditions above seismic areas

of the globe. In this regard, a promising approach involves setting up a transionospheric communication link to the spacecraft-based ionosonde that periodically passes over a given region.

In the large variety of ionospheric electron density irregularities, of special interest are turbulent irregularities produced within limited regions of space. Specifically, under certain conditions, such irregularities can be triggered by traveling large-scale electron density disturbances generated in the ionosphere. These, in turn, in disturbed conditions can be caused by acoustic-gravity waves resulting from lithosphere-ionosphere interactions during major earthquake build-up. It is therefore important to determine the localization region for turbulent irregularities of enhanced intensity. Based on ray optics and perturbation theory, this paper offers a technique for identifying the disturbed, totally turbulent, ionospheric plasma region from statistical trajectory characteristics of transionospheric multifrequency sounding signals from a spacecraft. Recently it became possible to measure a number of statistical signal characteristics with the advent of new-generation digisondes. This paper uses, as the fine structure model for the random ionization region, the notion of the spatially localized correlation ellipsoid. In the proposed technique, experimental data are analyzed as follows. Using several spacecraft positions relative to the receiver on the ground, statistical trajectory characteristics of signals are determined for different operating frequencies. Next, the frequency range is noted, in which fluctuation dispersions of trajectory characteristics increase considerably compared to fluctuations in the background ionosphere. Unperturbed fluctuations of trajectory characteristics are estimated by the method developed previously by these authors. This is followed by spatially constructing the “active” region with the possible plasma turbulence disturbance. The boundaries of this region are formed by trajectories of transionospheric signals with frequencies that have not responded to disturbed turbulence. These trajectories are calculated in a regular undisturbed ionosphere. The superposition of the “active” regions, constructed for the set of measurements corresponding to different spacecraft positions, makes it possible to determine the location of a disturbed turbulent ionospheric region.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ИРКУТСКОМ РАДАРЕ НР

С.С. Алсаткин, А.В. Медведев, Д.С. Кушнарев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
alss22@mail.ru

METHOD OF INCREASE THE RANGE RESOLUTION ON THE IRKUTSK IN COHERENT-SCATTER RADAR

S.S. Alsatkin, A.V. Medvedev, D.S. Kushnarev

Цель работы заключается в разработке методик, обеспечивающих повышение пространственного разрешения при измерениях на радаре НР.

Метод некогерентного рассеяния дает возможность диагностировать наиболее важные характеристики ионосферы. В измерениях используется мощный радиолокатор, с помощью которого удается получить информацию о вертикальной структуре ионосферы и ее динамике. Основная часть излучаемой радаром НР энергии рассеивается ионосферой в разных направлениях, поэтому в приемник возвращается очень слабый сигнал, несущий полезную информацию, к тому же он смешан с шумами. При обработке таких сигналов используются сложные методики, в которых присутствует длительное статистическое накопление энергетических характеристик сигналов.

Сегодняшние измерения требуют улучшения разрешения по дальности до единиц километров.

Самым простым способом улучшения пространственного разрешения является уменьшение длительности импульса. Данный способ уменьшает энергию сигнала, следовательно, ухудшает соотношение сигнал/шум, в результате чего становится намного сложнее выделять полезный сигнал.

Радиолокационный метод в чистом виде не применим в методе НР, поэтому основная задача найти сигнал, который позволил бы улучшить в разы разрешение по дальности, без ухудшения энергетических характеристик сигнала.

Внедрение современной вычислительной техники на Иркутском радаре НР позволяет применять новые методы при измерениях ионосферных параметров. Эти методы дают возможность улучшить один из важных параметров: разрешающую способность по дальности. В работе исследуются вопросы применения фазоманипулированных сигналов на основе кодов Баркера.

В работе описаны ограничения, которые накладывает методика НР на длительность импульса и ширину полосы пропускания. В процессе работы установлены оптимальные значения для длительности импульса и ширины полосы пропускания, которые обеспечивают нужную разрешающую способность по дальности и уверенную регистрируемость сигнала.

Приведены примеры обработки экспериментальных данных и профилей электронной концентрации с повышенным пространственным разрешением.

The aim of work is to develop the method, which will give the possibility to increase the range resolution of the incoherent-scatter radar.

Method of incoherent scatter enable to diagnose more important characteristics of ionosphere. Powered radio-locator is used in measurement, using it, is a success to give the information of vertical structure of ionosphere and its dynamics. Primary part energy which is radiated by IS radar is scattered by ionosphere in different directions, because the signal which return from ionosphere and carry useful information is very small in addition it is combined with noise. Complex methods are used in processing such signal, in which is presented long statistical accumulation of energy of signal.

Modern measurement require the range resolution of several kilometre. The simplest way of improvement the range resolution is the decrease duration of impulse. This way decrease the energy of signal so it make worse ratio of signal noise because it is very difficult to pick out the useful signal from noise. Major aim find signal which should be allowed to improve the range resolution in times without decrease of energy characteristic of signal.

The modern digital devices used on the radar, allow to use a new method for the measurement of ionosphere parameters. This method allow to increase one of the important parameter, this parameter is range resolution. The question of use signal with phase switching on the base of Barker code is looked at in the work.

Restrictions was describe in the work, which is superimposed of incoherent-scatter method on the pulse duration and bandwidth. Optimum value was installed for pulse duration and bandwidth in the work process, which provide the necessary range resolution and the certain finding of signal.

The experimental data was presented.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ НА ПРОХОЖДЕНИЕ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН ВДОЛЬ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ РАДИОТРАСС РАЗЛИЧНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

М.Ю. Андреев, Г.И. Мингалева, В.С. Мингалева

Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты
mingalev@pgi.kolasc.net.ru

THE INFLUENCE OF THE INHOMOGENEOUS STRUCTURE OF THE HIGH-LATITUDE IONOSPHERE ON THE HF RADIO WAVE PROPAGATION ALONG THE MERIDIONAL ROUTES WITH DIFFERENT LENGTHS

M.Yu. Andreev, G.I. Mingaleva, V.S. Mingalev

В настоящей работе исследуется влияние крупномасштабных неоднородностей в распределении электронной концентрации на меридиональное распространение коротких радиоволн (КВ) в высокоширотной ионосфере. Исследование проводится при помощи численных расчетов по разработанной ранее программе трехмерного прослеживания траекторий КВ [1]. Эта программа позволяет синтезировать ионограммы наклонного зондирования (НЗ) при помощи метода «пристрелки». Согласно этому методу рассчитываются траектории лучей, испускаемых из передающего пункта при различных углах выхода и различных рабочих частотах, а затем из них выбираются те траектории, которые достигают точки приема, и по их параметрам синтезируется ионограмма НЗ. При расчете наклонного распространения КВ мы используем распределение электронной концентрации, рассчитанное при помощи разработанной ранее трехмерной математической модели ионосферы [2] и хорошо воспроизводящее в пределах геомагнитных широт 53–65° распределение электронной концентрации, полученное методом спутниковой радиотомографии [3]. Рассчитанное распределение обнаруживает сложную неоднородную структуру в высокоширотной области.

Нами были синтезированы ионограммы НЗ и рассчитаны зависимости вертикальных углов выхода и прихода радиолучей от частоты волны для радиотрасс Москва–Мурманск, Москва–Магнитный полюс Северного полушария и Мурманск–Магнитный полюс Северного полушария, вытянутых примерно вдоль одного магнитного меридиана.

Оказалось, что из-за существенно неоднородной структуры высокоширотной ионосферы характер прохождения КВ от Москвы до Мурманска и до Магнитного полюса должен весьма сильно различаться. Если на ионограмме НЗ для трассы Москва–Мурманск, наряду с другими, присутствуют следы модов 1F2 и 2F2, то на ионограмме НЗ для трассы Москва–Магнитный полюс Северного полушария этих следов нет. Это означает, что удлинение радиотрассы в сторону полюса должно приводить к ухудшению условий КВ-связи. Ионограмма НЗ, синтезированная для трассы Мурманск–Магнитный полюс северного полушария, оказалась весьма насыщенной и содержащей, в частности, следы модов 1F2 и 2F2. Поэтому для улучшения КВ-связи между находящимся вблизи Москвы передатчиком и находящимся вблизи Магнитного полюса приемником может быть предложен двухступенчатый способ: сначала передавать сигналы из Москвы в Мурманск, а затем эти сигналы пересылать из Мурманска в район Магнитного полюса. Применение этого способа должно существенно улучшить условия КВ-связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мингалев В.С., Орлова М.И., Кривилев В.Н., Мингалева Г.И. О влиянии высыпаний авроральных протонов на распространение коротких радиоволн в зимней полярной ионосфере // Геомагнетизм и аэронавигация. 1994. Т. 34, № 3. С. 31–37.
2. Мингалева Г.И., Мингалев В.С. Трехмерная математическая модель полярной и субавроральной ионосферы // Моделирование процессов в верхней полярной атмосфере. Мурманск: ПГИ КНЦ РАН, 1998. С. 251–265.
3. Aladjev G.A., Evstafiev O.V., Mingalev V.S. et al. Interpretation of ionospheric F-region structures in the vicinity of ionisation troughs observed by satellite radio tomography // Annales Geophysicae. 2001. N 19. P. 25–36.

The present paper is intended to the investigation of the influence of the large-scale inhomogeneous structures in the electron concentration distributions on the meridional HF radio wave propagation through the high-latitude ionosphere. The investigation is done by means of numerical simulations by utilizing a three-dimensional ray-tracing computer program developed earlier [1]. The program allows us to synthesize ionograms of oblique sounding by means of the “shooting method”. In accordance with this method we calculate ray-path trajectories of HF radio waves, originated from the transmitting point of the Earth’s surface in the vertical plane for different values of the elevation angle and transmission frequency. When this is done, from the variety of calculated ray-path trajectories of HF radio signals, we choose those, which reach the receiver, and synthesize the ionogram of oblique sounding. For calculating of the oblique HF propagation, we make use of the electron concentration distribution computed by utilizing the three-dimensional mathematical model of the ionosphere developed earlier [2]. This distribution corresponds well to the electron density plot constructed by the satellite radio tomography method in the geomagnetic latitude range from 53 to 65 degrees [3]. The calculated distribution manifests the complicated and irregular structure in the high-latitude region.

We synthesized the ionograms of oblique sounding and calculated the dependence of vertical elevation angles on the wave frequency for the routes Moscow–Murmansk, Moscow–Magnetic pole of the northern hemisphere, and Murmansk–Magnetic pole of the northern hemisphere, stretched approximately along the same magnetic meridian.

It turns out that, due to the inhomogeneous structure of the high-latitude ionosphere, the oblique HF propagations along the routes Moscow to Murmansk and Moscow to Magnetic pole ought to be different significantly. In particular, the ionogram of oblique sounding for the route Moscow–Murmansk contains the tracks of 1F2 and 2F2 propagation modes among other things. Unlike, the ionogram for the route Moscow–Magnetic pole does not contain the tracks of 1F2 and 2F2 propagation modes. Consequently, the extension of the route in the direction of the Magnetic pole ought to lead to aggravation of the radio propagation. It appears that the ionogram of oblique sounding for the route Murmansk–Magnetic pole of the northern hemisphere is much better than those for other two routes under consideration. The latter ionogram contains the tracks of 1F2 and 2F2 propagation modes among other things. Therefore, to improve the radio propagation between Moscow and Magnetic pole, it is recommended to apply a two-step method: firstly, to transmit HF radio waves from Moscow to Murmansk; secondly, to transmit these waves from Murmansk to Magnetic pole. Application of this method ought to improve the radio propagation between Moscow and Magnetic pole of the northern hemisphere.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ СРЕДНИХ ШИРОТ**

Э.С. Бабаев, А.Б. Аскеров

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси НАН Азербайджана
askerov777@yahoo.com

**INVESTIGATION OF INFLUENCE OF SPACE WEATHER ON THE ELECTRIC POWER
TRANSMISSION AND SUPPLY SYSTEMS FOR MID LATITUDES**

E.S. Babayev, A.B. Askerov

Современные электронно-управляемые системы генерации и передачи электрической энергии становятся все более чувствительными к солнечной и геомагнитной активности. Влияние космической погоды на наземные технологические системы происходит главным образом из-за быстрых изменений геомагнитного поля, которое способно создавать электрические поля поперек поверхности Земли. Геомагнитно-индуцированные токи (ГИТ) создаются во время геомагнитной бури геоэлектрическим полем, которое определяется токами в ионосфере и определенной структурой проводимости Земли. Электрическое напряжение, связанное с геоэлектрическим полем, зависит от расстояния между точками, где система электропередачи заземлена. ГИТ текут через трехфазные трансформаторы к кабелям высоковольтных линий и точке заземления; такая миграция может насыщать трансформаторы и вести к перегреву и, в некоторых экстремальных случаях, к разрушению или систематическим авариям всей электрической системы (трансформаторы, линии передач и т.п.). Всего несколько ампер достаточно для того, чтобы нарушить работу или вывести из строя трансформатор.

Были использованы данные об авариях в системах электропередач Азербайджана (1994–2004 гг.) для исследования возможного влияния космической погоды на их стабильную работу [1]. Особое внимание было

уделено изучению влияния так называемых экстремальных солнечных событий с мощными геомагнитными бурями (например, в октябре–ноябре 2003 г.) [2]. Детальные записи измерений и регистраций аварий, сделанные Диспетчерским управлением госкомпании АО «Азербээнерджи», позволили создать базу технических данных, охватывающую все случаи отключений, перебоев, скачков и других внештатных ситуаций в системе энергоснабжения (все повреждения чисто технического характера были исключены из рассмотрения). Была создана и соответствующая цифровая база данных по космической погоде.

Результаты показали, что влияния геомагнитных бурь в целом не существенны для средних географических широт, где и расположен Азербайджан. Анализ данных в дни с экстремально мощными геомагнитными бурями, в геомагнитно-благоприятные дни и в дни с умеренными и средней силы геомагнитными бурями показал, что число серьезных аварий, обрывов в системах электроснабжения и скачков напряжения в высоковольтных воздушных линиях электропередач значительно увеличилось преимущественно в дни очень сильных магнитных бурь, когда геомагнитное поле показало резкие флуктуации. По сравнению с относительно спокойными днями с «обычными» техническими проблемами было зарегистрировано значительное увеличение числа аварий такого типа, как дифференциальная (фазовая) защита, авария в земельной защите, срабатывание релейной защиты и т.д.

Осциллограммы в моменты аварий ясно показывают возросшее число гармонических колебаний тока и напряжения, которые ощутимо меняют волновую форму сигнала в насыщенных трансформаторах. Исследование показало, что те трансформаторы, которые расположены на углах (в точках поворота) системы электропередач, в большей степени подвержены негативному влиянию геомагнитных бурь. Самыми уязвимыми областями, с точки зрения стабильной работы систем электропередачи и трансформатора, являются прибрежные регионы Каспийского моря.

Во время экстремальных событий в октябре–ноябре 2003 г. были зарегистрированы, по крайней мере, два случая аварии трансформатора, связанные с нагреванием из-за блуждающего магнитного потока. В местах с плохой проводимостью грунта системы электропередач больше подвержены риску повреждения из-за ГИТ (токи, встречая сопротивление грунта с низкой проводимостью, текут по «хорошим» проводникам, оказавшимся по близости, например, по трансформаторам и линиям электропередач через их точки заземления).

We cannot conceive of any industrial society without electric power generation and supply systems. These increasingly technology-dependent and electronically-equipped systems tend to be more and more sensitive to solar and geomagnetic activity. The effects of Space Weather on ground-based technology are mostly due to the varying geomagnetic field. The rapidly varying geomagnetic field may induce geo-electric fields across the Earth's surface. The geomagnetically induced currents (GICs) in electric power transmission systems during a geomagnetic storm are produced by the geo-electric field, which is determined by currents in the ionosphere and by the structure of the Earth's conductivity. The voltages associated with the geo-electric field depend on the distances between points where the transmission system is earthed. GICs flow through the three-phase transformers to the power cables of high-voltage lines, and grounding point, which may saturate the transformers and lead to overheating and, in extreme cases, to destruction of the power unit. Saturation produces voltage regulation and harmonic distortion effects in each transformer. The result can be sufficient to overwhelm the voltage regulation capability and the protection margins of equipment. Only a few amperes are needed to disrupt transformer operation. Combinations of events such as these can rapidly lead to systematic failures of the power supply network.

Relevant data of electric power transmission and supply systems' failures, covering the period of 1994-2004 is used for investigation of possible influence of space weather events on the operational reliability of the Azerbaijani power industry. Special attention was paid to the affects of so-called solar extreme events, namely those of October-November 2003.

Accurate detailed notes and relevant controlling measurements made by the Dispatcher Office of Joint Stock Company "AzerEnerji", the Republic of Azerbaijan, allowed to create data on power supply system breakdowns.

Preliminary results have shown that geomagnetic storm effects were not so strong in Azerbaijan (middle geographical latitudes) and the effects on consumers were small during weak and mild geomagnetic storms, while they became significant at days with severe geomagnetic storms, when the geomagnetic field displayed sharp changes. There were registered increased (comparative to relative quiet days with "usual" technical problems) such types of system failures as differential phase protection, earth protection failure, relay operations, etc.

For each interruption case relevant oscillograms were registered; they show clearly number of harmonic oscillations in the current and voltage, disrupting the signal waveforms that were registered in saturated transformers. Detailed study has revealed that those transformers, which are positioned at the corners (at turning points) of an electrical power system, and lines in the East-West direction as well as coastally located "Caspian Sea-land boundary" areas suffer more damage from geomagnetic storm effects.

During solar extreme events October-November 2003 storms, at least two incidents of transformer heating problems were registered. The suspected failure linkage is stray flux impinging on external core structures in concentrations intense enough to develop hot-spots. Weak, but long-duration storms can also cause transformer-heating damage.

Conductivity of the Earth itself is crucial in determining the electric fields produced by a given magnetic field. Variation of ground conductivities plays an important role in determining the efficiency of coupling between disturbances of the local geomagnetic field caused by space environment influences and the resulting impact to ground-based power systems.

Perspectives of study of space weather effects on operational conditions and ecology of the domestic and regional electric power industry are discussed.

ДИНАМИКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 29-31 ОКТЯБРЯ 2003 г.

Э.Л. Афраймович, Э.И. Астафьева, Е.А. Косогоров

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

DYNAMICS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF TOTAL ELECTRON CONTENT DURING THE STRONG MAGNETIC STORM ON OCTOBER, 29-31, 2003

E.L. Afraimovich, E.I. Astafieva, E.A. Kosogorov

Разработан новый метод построения глобального поля скоростей перемещения регулярной составляющей полного электронного содержания (ПЭС). В основе метода лежат технология построения карт абсолютного вертикального значения ПЭС I_0 по данным международной сети приемников GPS (технология Global Ionospheric Maps, GIM) [1] и метод SADM [2] определения скоростей и направления распространения возмущений.

Карты GIM с двухчасовым временным разрешением в стандартном формате IONEX представлены на сайте Internet (<ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/>). Общая концепция восстановления абсолютного «вертикального» значения ПЭС основана на подборе оптимальных параметров выбранной модели вертикального распределения электронной концентрации с высотой ($N(h)$ профиля) из условия минимальных значений невязок, соответствующих представленным в файле IONEX величинам СКО. Далее для «оптимального» по минимуму невязок $N(h)$ профиля рассчитывается вертикальное ПЭС, которое по существу равно среднему значению I_0 по региону соответствующей GIM-ячейки.

Модуль скорости и ориентация волнового вектора возмущения ПЭС определяются по приращениям производных ПЭС по координатам x , y и по времени t для каждой стандартной ячейки географической системы координат GIM (5° по долготе и 2.5° по широте). Полученные таким образом карты поля скорости перемещения и направления нормали к изолиниям ПЭС позволяют проследить динамику пространственного распределения ПЭС с временным разрешением 2 ч; такое ограничение обусловлено временным разрешением стандартных карт абсолютного вертикального полного электронного содержания GIM.

В работе применение данного метода демонстрируется на примере исследования ионосферных эффектов сильных геомагнитных возмущений 29–31 октября 2003 г. на плотной сети станций GPS на территории Северной Америки. Анализ показал, что глубокие вариации напряженности геомагнитного поля на главной фазе магнитных бурь 29 и 30 октября 2003 г. сопровождалась перераспределением ионизации и образованием на юго-западе США областей с высоким значением ПЭС – до 200 TECU (10^{16} м^{-2}). При этом скорость перемещения изолиний ПЭС превышала 400 м/с. Для сравнения отметим, что в магнитоспокойный период максимальные значения ПЭС не превышали 60–80 TECU, а скорость перемещения 100 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mannucci A.J., Wilson B.D., Yuan D.N. et al. A global mapping technique for GPS-derived ionospheric TEC measurements // Radio Sci. 1998. V. 33, N 3. P. 565–582.
2. Afraimovich E.L., Palamartchouk K.S., Perevalova N.P. GPS radio interferometry of travelling ionospheric disturbances // J. Atm. Terr. Phys. 1998. V. 60, N 12. P. 1205–1223.

New method of mapping of global field of total electron content (TEC) regular component velocity is worked out. The method is based on a global absolute vertical TEC value I_0 mapping technique (Global Ionospheric Maps technique, GIM) [1] and on method SADM of ionospheric disturbances velocity and propagation direction determining [2].

GIM with 2-hours' time resolution is presented in Internet on site <ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/> with standard IONEX-files format. Common conception of absolute "vertical" TEC value reconstruction is built upon optimal parameters selection of electron concentration vertical distribution ($N(h)$ profile). Such selection proceed from condition of residuals minimum presented in IONEX files as RMS. Then for "optimal" $N(h)$ profile "vertical" TEC is calculated, it is equal to mean I_0 value in corresponding GIM cell region.

Disturbance velocity absolute value and its wave vector orientation are determined from increments of TEC x , y derivatives and TEC time derivative for each standard GIM cell (5° in longitude to 2.5° in latitude). Thus final maps of velocity field permit to get obvious spatial TEC distribution in dynamics with time resolution of 2 hours.

This work demonstrates an application of the new method for investigation of ionospheric effects of strong geomagnetic storms on October, 29–31, 2003 at GPS sites located in Northern America. Data analysis made showed that deep variations of geomagnetic field intensity were accompanied with ionization redistribution and high TEC values areas appeared in the south-west of Northern America. TEC value in that areas reached up to 200 TECU

(10^{16} m^{-2}). That time TEC equal lines motion velocity exceeded 400 m/s. It should be noted that maximum TEC values during magnetic quiet condition is about 60–80 TECU, its motion velocity is about 100 m/s.

**ИОНОСФЕРНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ, ВЫЗВАННОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 26 ДЕКАБРЯ 2004 г.
ВБЛИЗИ О. СУМАТРА ПО ДАННЫМ СЕТИ GPS В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ**

Э.И. Астафьева, Э.Л. Афраймович

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

elliada@iszf.irk.ru

**IONOSPHERIC DISTURBANCES CAUSED BY THE M9.3 SUMATRA EARTHQUAKE
ON 26 OF DECEMBER, 2004 AS DEDUCED FROM GPS NETWORK IN THE INDIAN OCEAN**

E.I. Astafieva, E.L. Afraimovich

Исследованию ионосферного отклика на возмущения, возникающие при импульсном воздействии на атмосферу, посвящено множество работ. К источникам таких воздействий можно отнести подземные ядерные испытания, промышленные взрывы и крупные землетрясения; при этом перемещение земной поверхности приводит к генерации акустических возмущений, которые распространяются в атмосфере до больших высот и могут приводить в движение плазму ионосферы вследствие столкновительного взаимодействия нейтральных и заряженных частиц.

26 декабря 2004 г. в 00:58:53 UT вблизи о. Суматра произошло землетрясение магнитудой 9.3. Эпицентр землетрясения находился в Индийском океане, юго-восточнее о. Суматра.

В результате анализа данных сети приемников GPS, расположенных на территории Индийского океана, был обнаружен особый класс среднеширотных среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (СМПИВ), которые появились спустя 1–3 ч после землетрясения. Такие возмущения соответствуют перемещающимся возмущениям (ПВ) полного электронного содержания (ПЭС). Впервые четкий отклик на землетрясение в ПЭС обнаружен на расстоянии до 3500 км от эпицентра.

Зарегистрированные перемещающиеся возмущения являются квазипериодическими вариациями ПЭС с периодами от 12 до 18 мин и временем жизни порядка 1 ч. Амплитуда ПВ превышает амплитуду «фоновых» колебаний ПЭС как минимум на порядок.

Пространственно-временные характеристики ПВ были исследованы с помощью метода SADM-GPS [1]. Направление и скорость распространения ПВ соответствуют параметрам ионосферных возмущений, возникающих при перемещении воздушных волн, которые были зарегистрированы при мощном землетрясении на Аляске 28 марта 1964 г. [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V., Uralov A.M. // *Annales Geophys.* 2001. 19. P. 395–409.
2. Bolt B.A. Seismic air waves from the great 1964 Alaskan earthquake // *Nature.* 1964. 202. P. 1094–1095.
3. Davies K., Baker D.M. Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964 // *J. Geophys. Res.* 1965. 70. P. 2251–2253.

Many papers have been devoted to the researches of the ionospheric response to disturbances generated at the pulse impact on atmosphere. Nuclear tests, industrial explosions, and large earthquakes may be considered as sources of such impacts. The shift of the Earth surface leads to generation of acoustic gravity waves (AGW) propagating into atmosphere with an increasing of the amplitude up to high altitudes where they are able to initiate the plasma motion due to the collision interaction of neutral and charged particles.

An Mw 9.3 earthquake originated in the Indian Ocean off the western coast of northern Sumatra at 00:58:53 UT on December 26, 2004.

We identified a specific class of mid-latitude medium-scale traveling ionospheric disturbances (MS TIDs) caused by the M9.3 Sumatra Earthquake on 26 of December, 2004, named traveling wave packets (TWPs) of total electron content (TEC) disturbances.

For the first time, we found the TEC response on the earthquake well-defined so far out of epicenter (3500 km).

The traveling wave packets are observed by a network of GPS receivers in the Indian Ocean in 1–3 h after the earthquake.

TWPs are quasi-periodic oscillations of TEC with a period of around 12–18 min, and time duration of the order of 1 hour. The TWP amplitudes exceed the amplitudes of “background” TEC fluctuations by one order of magnitude, as a minimum.

We carried out a detailed analysis of the spatial-temporal properties of TWPs by considering using the SADM-GPS [1]. The velocity and direction of TWP displacement agrees with the ionospheric disturbance parameters caused by traveling air waves of the great Alaskan earthquake of March 28, 1964 [2, 3].

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАВНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА ПО ДАННЫМ GPS
И ИОНОСФЕРНЫХ СТАНЦИЙ В РАЙОНЕ ЯКУТСКА**

**¹Е.Д. Бондарь, ¹В.Ф. Смирнов, ¹Э.К. Зикрач, ²Э.Л. Афраймович,
²О.С. Лесюта, ²Н.П. Перевалова, ²О.М. Пирог**

¹Институт космофизических исследований и аэронауки СО РАН им. Ю.Г. Шафера, Якутск;
²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

e.d.bondar@ikfia.ysn.ru

**STUDY OF THE MAIN IONOSPHERIC TROUGH BASED ON DATA OF THE GPS AND
IONOSPHERIC STATIONS IN THE YAKUTSK REGION**

**¹E.D. Bondar, ¹V.F. Smirnov, ¹E.K. Zikrach, ²E.L. Afraimovich,
²O.S. Lesyuta, ²N.P. Perevalova, ²O.M. Pirog**

Исследованию динамики и механизмов формирования главного ионосферного провала (ГИП) посвящено большое количество работ. Интерес к этой проблеме обусловлен необычностью свойств и особым динамическим режимом ионосферной плазмы в пределах ГИП. Исследование ГИП, кроме значения для понимания физики высокоширотной ионосферы, имеет и практическую ценность для уточнения методики расчета радиотрасс на широтах субавроральной зоны, где наиболее часты и длительны срывы коротковолновой радиосвязи. Впервые регулярное понижение электронной концентрации на высотах максимума области F в ее широтном распределении было обнаружено при ионосферном зондировании сверху с ИСЗ АЛУЭТТ-1. С тех пор радиозондирование сверху и непосредственные измерения на борту низкоорбитальных ИСЗ дали много важных данных о физических процессах в ГИП. Однако до сих пор нет достаточной ясности в понимании основных свойств и надежных экспериментальных оценок параметров ГИП (глубина, ширина провала, скорость перемещения минимума на различных стадиях развития геомагнитных бурь). Существенным дополнением в экспериментальных исследованиях структуры и динамики ионосферы является использование возможностей радиозондирования ионосферы с помощью сигналов глобальной навигационной системы GPS на основе использования данных широко разветвленных сетей станций GPS.

Цель данной работы – на примере ГИП, наблюдаемого в спокойных геомагнитных условиях 2 октября 2000 г. в районе Якутска, изучить новые возможности одновременных наблюдений ГИП с использованием данных расположенных в регионе ионосферных станций, а также RINEX и IONEX данных станций GPS.

Приведены результаты исследования ГИП при спокойных геомагнитных условиях 2 октября 2000 г. Используются данные двух радиотрасс приемник–спутник GPS и ионосферных станций Якутск и Жиганск, расположенных вдоль меридиана $\sim 125^\circ\text{E}$. Анализ выявил четкий эффект уменьшения полного электронного содержания для всех радиотрасс в момент прохождения ГИП. Ионосферные станции также показывают уменьшение электронной концентрации в максимуме слоя F2, соответствующие показаниям GPS во время пролета над ними. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с данными проведенных ранее измерений. Приведенные в работе данные соответствуют общей морфологической картине динамики ГИП. Однако вариации ПЭС в области провала показывают более плавную картину без четко выраженной полярной стенки ГИП, обычно наблюдаемой по наземным данным критических частот слоя F2 и по спутниковым данным электронной концентрации в максимуме F-области или на определенной высоте.

Many works are dedicated to studying the dynamics and mechanisms of MIT formation. This problem is interesting because the properties and dynamic regime of the ionospheric plasma within MIT are unusual. The study of MIT encourages understanding the physics of the high-latitude ionosphere and makes it possible to specify the technique for calculating radio paths at latitudes of the subauroral zone, where HF radiocommunication gaps are most frequent and prolonged. A regular decrease in the latitudinal distribution of the electron density at altitudes of the F region maximum was first observed during the ionospheric sounding from above on the Alouette 1 satellite. The following radiosounding from above and direct measurements on low-orbiting satellites have given many important data on physical processes within MIT. However, the main MIT properties are still insufficiently clear and the main MIT parameters (depth, width, minimum displacement velocity at different stages of development of geomagnetic storms) have been estimated insufficiently reliably. Experimental studies of the structure and dynamics of the ionosphere are substantially completed with data of ionospheric radiosounding using GPS signals based on widely branched networks of GPS stations.

The aim of this work is to study new opportunities of simultaneous MIT observations based on MIT observed under quiet geomagnetic conditions of October 2, 2000, in the Yakutsk region and using data of the ionospheric stations located in this region and RINEX and IONEX data of the GPS stations.

Results of studying the main ionospheric trough (MIT) under quiet geomagnetic conditions on October 2, 2000, are presented. Data of two radio paths receiver–GPS satellite and Yakutsk and Zhigansk ionospheric stations, located along $\sim 125^\circ\text{E}$, have been used. An analysis has indicated that the total electron content pronouncedly decreased during the passage of MIT on both radio paths. It has been shown that the electron density at the F2 layer maximum also decreased in accordance with the corresponding indications of the GPS satellites above the ionospheric stations.

The obtained results are in good agreement with the previous measurements. Data given in the present work correspond to the general morphological pattern of the MIT dynamics. However, the TEC variations in the trough region indicate a more smooth pattern without a clearly defined poleward wall of MIT, which is usually detected in ground-based data on the F2 layer critical frequencies and in satellite observations of electron density at an F region maximum or at a certain altitude.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОСМИЧЕСКИХ ЦИКЛОТРОННЫХ МАЗЕРАХ

А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, А.Г. Демехов, Д.А. Мансфельд, В.Ю. Трахтенгерц

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия
avod@appl.sci-nnov.ru

LABORATORY MODELING OF NONSTATIONARY PROCESSES OF SPACE CYCLOTRON MASERS

A.V. Vodopyanov, S.V. Golubev, A.G. Demekhov, D.A. Mansfeld, V.Yu. Trakhtengerts

ЭЦР-нагрев позволяет получить неравновесную плазму в магнитной ловушке с сильно анизотропной функцией распределения электронов (ФРЭ) по скоростям, что дает возможность исследовать в лабораторных условиях целый ряд протекающих в космических магнитных ловушках процессов, определяемых сложной ФРЭ.

Примером такого моделирования может служить обнаруженный в плазме ЭЦР-разряда в простой магнитной ловушке автоколебательный режим развития циклотронной неустойчивости.

Из проведенных ранее исследований известно, что в плазме присутствуют две популяции электронов, одна из которых (основная изотропная) имеет концентрацию $N_e \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и температуру $T_e \sim 300 \text{ эВ}$, а другая (энергичная анизотропная) – $N_e \sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$ и $T_e \sim 10 \text{ кэВ}$. Неустойчивость проявляется в виде квазипериодических (характерный период 200 нс) всплесков (характерная длительность 30 нс) СВЧ-излучения плазмы и синхронных с ними выбросов горячих электронов из магнитной ловушки. Средняя энергия горячих электронов, покинувших магнитную ловушку, составляет около 10 кэВ. Абсолютные измерения плотности потока энергичных электронов показывают, что энергетические потери плазмы составляют 20–30 % от энергии накачки, вводимой за время неустойчивости.

Наблюдаемый спектр СВЧ-излучения плазмы ограничен сверху по частоте, что согласуется с теоретическими представлениями. Определен диапазон плотностей плазмы, в котором возможно развитие такой неустойчивости, оптимальное для развития неустойчивости плазмы давление газа составляет около 10^{-4} Торр. При оптимальном давлении измерена интенсивность собственного СВЧ-излучения плазмы в зависимости от магнитного поля в центре ловушки в различных диапазонах длин волн. Показано, что при увеличении магнитного поля спектр сдвигается в область более высоких частот.

Проведенные исследования позволили установить, что высыпания электронов связаны с возбуждением свистовых волн с направлением распространения вдоль оси ловушки и что наблюдаемая неустойчивость имеет много общего с явлениями, наблюдаемыми в космических магнитных ловушках, таких как радиационные пояса в магнитосферах планет и солнечные корональные петли.

Результаты эксперимента демонстрируют возможность моделирования космических циклотронных мазеров в лабораторных условиях.

The ECR heating allows obtaining plasma in the magnetic trap with anisotropic electron distribution function (EDF). That fact gives us an opportunity to investigate in laboratory conditions a number of processes, occurring in space magnetic traps, which are determined by complicated EDF.

As an example of such a modeling we present a study of pulsating regimes of whistler cyclotron instability in a laboratory magnetic mirror trap.

Early experiments has shown, that ECR plasma consists of two electron components. First isotropic characterized by plasma density $N_e \sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ and electron temperature $T_e \sim 300 \text{ eV}$, second anisotropic component characterized by $N_e \sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and $T_e \sim 10 \text{ keV}$. The instability occurs as the quasi-periodic bursts (about 200 ns) of precipitated energetic electrons, accompanied with bursts (about 30 ns) of the electromagnetic emission. The mean energy of precipitated electrons is about 10 keV. Absolutely calibrated measurements shows, that energy losses of plasma due to whistler cyclotron instability comprises up to 20 % of pumping energy.

The emission spectrum is bounded from above by the frequency which is below the electron gyrofrequency in the central cross-section of the trap. Plasma density range of whistler cyclotron instability running is determined. Optimal operating gas pressure was about 10–4 torr. Plasma emission intensity in different bands was measured versus magnetic trap field value at optimal pressure. It was shown that microwave emission spectrum shifts to higher frequencies as the magnetrap field increases.

We found that the spike-like regimes of precipitation observed in the laboratory trap are generally consistent with the theory of cyclotron masers and can have much in common with similar regimes in space cyclotron masers, in particular, in magnetospheric radiation belts and solar flare loops.

Experimental results show prospects of laboratory modeling of space cyclotron masers.

**СРАВНЕНИЕ РЕАКЦИИ ИОНОСФЕРЫ НА КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ
АВРОРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ 29–31 ОКТЯБРЯ 2003 г.
И 7–11 НОЯБРЯ 2004 г. ПО ДАННЫМ СЕТИ GPS И ИОНОЗОНДОВ**

Э.Л. Афраимович, С.В. Воейков, К.Г. Ратовский

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
serg3108@iszf.irk.ru

**A COMPARISON ANALYSIS OF IONOSPHERE RESPONSE TO AURORAL LARGE-SCALE
DISTURBANCES DURING MAGNETIC STORMS ON OCTOBER 29–31, 2003
AND NOVEMBER 7–11, 2004 FROM GPS AND IONOSONDE NETWORK DATA**

E.L. Afraimovich, S.V. Voevko, K.G. Ratovsky

Новый этап в дистанционной диагностике ионосферы открывается благодаря развитию международной глобальной наземной сети двухчастотных приемников навигационной системы GPS. В ИСЗФ СО РАН разрабатывается программный комплекс GLOBDET, предназначенный для глобального детектирования и мониторинга ионосферных возмущений естественного и техногенного происхождения по данным измерений вариаций полного электронного содержания (ПЭС), производимых в системе GPS [1].

Одной из ключевых проблем исследования ионосферы с помощью трансionoсферного зондирования является вопрос о соответствии параметров ионосферных возмущений, определенных по данным измерений ПЭС, локальным характеристикам возмущений электронной концентрации, обусловленных распространением акустико-гравитационных волн (АГВ) естественного и техногенного происхождения (авроральные явления, метеозффекты, землетрясения, взрывы, запуски ракет и т.д.). Для решения этой проблемы необходимо привлечение дополнительных данных, полученных с помощью других геофизических инструментов: ионозондов, радаров некогерентного рассеяния.

В настоящей работе в качестве объекта исследования были выбраны крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (КМ ПИВ), зарегистрированные во время магнитных бурь 29–31 октября 2003 г. и 7–11 ноября 2004 г. Считается установленным, что КМ ПИВ являются следствием распространения в атмосфере АГВ, области генерации которых лежат в авроральных зонах северного или южного полушария [2]. Поэтому изучение КМ ПИВ может дать важную информацию о процессах в этих зонах в спокойных и возмущенных условиях.

Чтобы сравнить интегральную интенсивность исследуемых КМ ПИВ по данным ПЭС с интенсивностью локальных возмущений электронной концентрации, были использованы данные измерений ПЭС на наземных GPS-приемниках, расположенных вблизи от ионосферных станций, и соответствующие значения критической частоты F-слоя ионосферы f_0F_2 .

Для всех рассмотренных случаев было отмечено подобие колебаний ПЭС и f_0F_2 . Полученные соотношения относительной амплитуды исследуемых возмущений по данным ПЭС (~15–20 %) и по данным f_0F_2 (~40–50 %) подтвердили высказанное в ряде работ (например, [3]) предположение о том, что основной вклад в модуляцию ПЭС вносит область толщиной 150–200 км в окрестности максимума F-области ионосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afraimovich E.L. GPS global detection of the ionospheric response to solar flares // Radio Sci. 2000. V. 35. P. 1417–1424.
2. Hunsucker R.D. Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere. A review // Review of Geophys. 1982. V. 20, N 2. P. 293–315.
3. Kirchengast G. Elucidation of the physics of the gravity wave – TID relationship with the aid of theoretical simulations // J. Geophys. Res. 1996. V. 101, N A6. P. 13353–13368.

An opening shot in a new chapter of remote sounding of the ionosphere is the development of the international ground-based network of two-frequency receivers of the navigation GPS system. The GLOBDET technology for global detection and monitoring of ionospheric disturbances of natural and technogenic origin from measurements of total electron content (TEC) variations acquired by the GPS network have being developed at the ISTEP SD RAS [1].

The main problem of ionosphere investigation using transionoсферic signals is the correspondence between TEC variations and electron density disturbances caused by propagation of acoustic-gravity waves (AGWs) of different origin (e.g. auroral effects, weather effects, earthquakes, explosions, rocket launches and etc.). To solve the problem it is necessary to involve additional data from other probing tools: ionosondes, incoherent scatter radars.

In this work we chose large-scale traveling ionospheric disturbances (LS TIDs) detected during magnetic storms on October 29–31, 2003 and November 7–11, 2004 as investigation objects. It is generally accepted that LS TIDs represent the manifestation of AGWs whose generating regions lie in the auroral zones of the northern or southern hemisphere [2]. Therefore, research on LS TIDs can provide important information about the processes occurring in these zones under quiet and disturbed conditions.

To compare the LS TIDs integral intensity with intensity of local electron density disturbances we used TEC measurements from GPS-stations situated near ionosondes and corresponding ionospheric F-layer critical frequency values f_0F2 .

TEC and f_0F2 variations were close for all considered LS TIDs. The obtained ratios of the relative amplitude of considered disturbances according to the TEC data (~15–20 %) and electron density data (~40–50 %) have confirmed the early suggested assumption (for example [3]) about localization of the disturbances in the region of ionospheric F-layer with vertical size not more than 150–200 km.

НОВЫЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Н.С. Гаврилюк, В.Б. Иванов

Иркутский государственный университет, Иркутск
ivb@ivb.baikal.ru

В то время как основные процессы формирования ионосферы достаточно изучены и представлены в виде моделей регулярной, «фоновой» ионосферы, на первый план выходит исследование и моделирование нестационарных и спорадических процессов. Для их математического описания необходимо задание «фоновой» среды также в форме математической модели. Если в среднеширотной и высокоширотной ионосфере для описания многих процессов оказывается достаточным рассмотрение одномерного движения заряженных частиц вдоль геомагнитных силовых линий, то в ионосфере низких широт пространственная двумерность принципиально важна. Хорошо известно, в частности, что в дневных условиях вертикальный профиль плотности плазмы формируется с участием так называемого фонтан-эффекта, связанного с вертикальным дрейфом зарядов в скрещенных электрическом и магнитном поле и горизонтальным оттоком плазмы вдоль магнитных линий. Ночью имеет место обратный эффект.

В представляемой работе предлагается методика исключения пространственной двумерности заменой дивергенции горизонтальных потоков плазмы фиктивными источниками и стоками частиц. Подчеркнем, что это делается не для описания регулярной ионосферы, а только для задания базовой модели, на фоне которой рассматриваются возмущения. На данном этапе рассмотрены только условия ночной низкоширотной ионосферы.

Из обобщенных экспериментальных данных формируется модельное описание (в виде чепменовского профиля) вертикального распределения плотности плазмы. На основе анализа характера профиля в его нижней части, где горизонтальная диффузия незначительна, определяются параметры рекомбинационных процессов и процессов вертикального переноса. Далее определяется разность профилей в отсутствие и присутствии горизонтальной диффузии, имеющая место в области максимума и во внешней ионосфере. Эта разность представляется в виде функции от высоты, задающей коэффициент диффузии и характерный масштаб горизонтальной неоднородности. Таким образом дивергенция горизонтального диффузионного потока заменяется фиктивным источником заряженных частиц, представляемым функциональной зависимостью.

В данном подходе дальнейший анализ сводится к решению одномерного уравнения непрерывности для концентрации и потока плазмы с дополнительным членом $f(z)N$, по форме сходным с членом рекомбинационных потерь частиц $\beta(z)N$, но имеющим противоположный знак (в ночных условиях).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}(NV) = f(z)N - \beta(z)N.$$

Предлагаемая методика доведена до конкретных численных расчетов. Ее использование позволило выявить, в частности, возможность усиления возмущений при их распространении сверху вниз в ночной экваториальной ионосфере. Такая специфическая неустойчивость связана с притоком плазмы в непосредственно экваториальную зону из прилежащих областей верхней и внешней ионосферы.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ОШИБОК ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ПРИЕМНИКОВ GPS ВО ВРЕМЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

И.Ф. Гамаюнов, В.В. Демьянов

Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище, Иркутск
gamma@pochta.ru

SPACE-TIME DYNAMICS OF GPS RECEIVER POSITIONING ERRORS DURING THE DISTURBANCES OF NEAR-EARTH SPACE

I.F. Gamayunov, V.V. Demyanov

Качество функционирования современных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ограничено влиянием среды околоземного космического пространства (ОКП). В условиях геомагнитных возмущений

существенно проявляется нерегулярная составляющая полного электронного содержания (ПЭС) в среде ОКП и возникают пропорциональные флуктуации группового (фазового) запаздывания, которые могут вызывать появление дополнительных погрешностей позиционирования в одночастотном режиме. Кроме этого, активизируется процесс генерации неоднородностей электронной концентрации разных масштабов, которые могут вызвать флуктуации амплитуды и фазы сигналов навигационных спутников (НС) в точке приема. В результате возможен срыв сопровождения сигнала одного или нескольких НС навигационного созвездия по фазе (коду) на одной из рабочих частот СРНС и, как следствие, снижение точности определения координат.

При анализе данных по нескольким сильным магнитным бурям (2000–2004 гг.) нами установлено, что на ряде GPS-станций североамериканского региона и Восточной Сибири наблюдалось резкое возрастание ошибки позиционирования (до 120–280 м). Кроме этого, для станций, расположенных на высоких ($\varphi > 50^\circ$) и низких ($\varphi < 20^\circ$) широтах, в среднем имеют место более высокие значения ошибок позиционирования, чем на средних широтах. Было обнаружено также, что области, в пределах которых наблюдаются повышенные значения ошибок позиционирования, перемещаются с течением времени.

Для пользователя СРНС важно знать пространственно-временную динамику ошибок позиционирования на период предсказанного геомагнитного возмущения. В связи с этим нами была разработана методика построения периодически обновляемых карт ошибок позиционирования.

В качестве исходных данных используются измерения, полученные на всемирной сети GPS-станций, представленные в Internet в формате RINEX. На основании этих данных для каждой из GPS-станций в заданном регионе земного шара нами рассчитываются ее координаты в прямоугольной геоцентрической системе координат в текущий момент времени. Эти координаты сравниваются с заранее известными точными координатами станции и вычисляются соответствующие абсолютные погрешности, а также общая сферическая (пространственная) среднеквадратичная ошибка определения местоположения данной GPS-станции. Таким образом, в каждый момент времени формируется набор данных в формате «широта, долгота, ошибка позиционирования», т.е. предварительная карта ошибок позиционирования для выбранного региона (или по всему земному шару). Поскольку плотность размещения сети GPS-станций неравномерна, а пользователя СРНС необходимо обеспечить информацией об ошибках позиционирования в любой точке земной поверхности, требуется использовать пространственную интерполяцию на неравномерной сети точек (в данном случае узлов предварительной карты ошибок позиционирования) для получения непрерывного пространственного поля значений ошибок позиционирования. Для этой цели нами использован математический аппарат сферического гармонического анализа с выбором гармоник по наибольшему вкладу.

Таким образом, разработанная нами методика позволяет на основании использования данных всемирной сети GPS-станций формировать пространственные карты распределения ошибок позиционирования в пределах определенного региона земного шара с заданным временем обновления.

Nowadays satellite radio navigation systems (SRNS) performance is limited with influence of the near space. The irregular part of total electron content (TEC) in the near space becomes to be considerable and proportional fluctuations of group (phase) delay appear, could cause an additional positioning error. Furthermore generation of different scale electron density irregularities activates; such irregularities produce fluctuations of satellite signal amplitude and phase. Finally a slip of satellite signal tracking for one or more satellites is possible and positioning accuracy decrease.

As a result of data analysis related to several magnetic storms we discovered that a steep increasing of positioning error (up to 120–280 m) was observed on a set of GPS sites in North America and East Siberia. Besides it was noticed that positioning error values are averagely greater at the stations which are set at high ($\varphi > 50^\circ$) and at low ($\varphi < 20^\circ$) latitudes comparing to the ones in the mid latitudes. Moreover it was found that areas within greater positioning error values are being observed move eventually.

It is important for SRNS user to be aware of spatio-temporal dynamics of positioning error for the period of geomagnetic storm forecasted. We created a method for positioning error maps constructing which can be periodically refreshed.

The data obtained from worldwide GPS network and represented in RINEX format files in the Internet were used as primary data. Using the data we estimated rectangular geocentric coordinates of each GPS receiver within observed area every time moment. The estimated coordinates were compared to the precisely known ones for the same site in order to found according absolute errors as well as a spherical (spatial) standard error of positioning for the GPS-receiver. Thus, the data set with output data format “longitude, latitude, positioning error” (i.e. a previous map of positioning errors) is formed every time moment for observed region (or the whole earth’s surface). GPS network coverage is uneven but SRNS user requires to be provided with the positioning errors data at each point of the Earth. Therefore spatial interpolation technique should be used at uneven grid (i.e. at nodes of the previous map of positioning errors for our case) in order to obtain the continual two-dimensional field of positioning error values. The spherical harmonic analysis technique completed with a choosing n-th harmonic procedure according to the greatest influence criteria we used for this purpose.

Thus the method we have worked out allows to construct two-dimensional maps of positioning error distribution with an assigned time period of refreshing using data of worldwide GPS network within a observed area or globally.

**УТОЧНЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ
О МАКСИМАЛЬНО НАБЛЮДАЕМЫХ ЧАСТОТАХ ДВУХСКАЧКОВОГО
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН**

В.А. Голыгин, С.А. Кинсар, В.И. Сажин

Иркутский государственный университет, Иркутск
stealth1024@yahoo.com

**ADJUSTMENT OF IONOSPHERE CUTOFF FREQUENCIES USING THE DATA ABOUT MAXIMUM
OBSERVED FREQUENCIES OF DOUBLE-SHOCK PROPAGATION OF DECAMETER WAVES**

V.A. Golygin, S.A. Kinsar, V.I. Sazhin

Выполнено развитие методики региональной коррекции среднемесячной ионосферной модели на текущую ситуацию по данным наблюдения за сигналами реперных радиостанций. Кроме сигналов односкачковых радиолоний, используемых ранее, включены также сигналы и двухскачковых радиотрасс. Это существенно расширяет набор опорных радиолоний, а следовательно, и область применимости методики.

Уточнение критических частот ионосферы f_0F2 для двухскачковых радиотрасс выполняется на основе приближенного оценочного решения обратной задачи распространения сигналов. Косвенный учет влияния на максимально наблюдаемые частоты двухскачкового распространения (МНЧ-2) случайных ионосферных неоднородностей и шероховатостей земной поверхности в области отражения первого сигнала проводится на основе равенства максимально применимых частот первого и второго скачков (МПЧ-1 и МПЧ-2). МПЧ рассчитывается в рамках метода характеристик для ионосферных условий, определяемых полуэмпирической моделью ИГУ. В целях сокращения при расчете набора возможных сигналов и отдельных траекторий для конкретных длин применяется специально разработанная методика. Уточнение критических частот выполняется в областях отражения сигнала на первом и втором скачках, геометрия которых определяется из расчета МНЧ-2.

Апробация данной методики уточнения f_0F2 проведена по данным выполненных ранее измерений МПЧ двухскачкового распространения (МПЧ-2) на протяженной средненишотной радиолонии. Для оценки точности коррекции ионосферных условий с использованием реперных двухскачковых радиолоний проведены измерения МНЧ-2 на опорных радиолониях.

There was developed the method of the regional correction of monthly average ionosphere model at the current situation by using results of observation of supporting radiostations' signals. In addition to signals of one-jump radio links which were used before, the signals of two-jumps radio lines are included. It substantially extends a set of supporting radio links, and, hence, the area of application of the method.

Adjustment of ionosphere limiting frequencies f_0F2 for two-jumps radio lines is made based on the approximate assessed solution of inverse problem of signals' expansion. Indirect registration of influence of accidental ionosphere heterogeneities and roughness of the Earth's surface in the area of reflection of the first signal on maximum observed frequencies of two-jump expansion (lowest observed frequency-2) is made based on equality of maximum applied frequencies of the first and second jump (limiting frequencies-1 and limiting frequencies-2). Limiting frequencies is calculated in the framework of the method of characteristics for ionosphere conditions defined by semiempirical model of the ISU. A specially developed method is used in order to decrease a set of possible signals and separate trajectories for certain lengths during calculation. Adjustment of limiting frequencies is made in the areas of signal reflection at the first and second jumps, which geometry is defined by calculating lowest observed frequency-2.

Approbation of this adjustment method f_0F2 is made based on data of limiting frequencies two-jumps propagation (limiting frequencies-2) measurement on long middle latitudinal line, performed earlier. The measurements of lowest observed frequency-2 on supporting radio lines were made in order to evaluate the accuracy of correction of ionosphere conditions with the help of supporting two-jumps radio lines.

О ПОЛУЧЕНИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ЛЧМ-ИОНОЗОНДА

М.А. Давыденко

ДГУП Сибирская геофизическая партия, Иркутск
davydenko@iszf.irk.ru

ABOUT CHIRP-SOUNDER BANDPASS FILTER TRANSFER FUNCTION RECONSTRUCTION

M.A. Davydenko

В работе [1] предлагается новый метод получения передаточной функции ионосферного радиоканала при зондировании среды непрерывным ЛЧМ-сигналом. Суть данного метода заключается в использовании дополнительного корректирующего цифрового фильтра с заданными АЧХ и ФЧХ для обработки разностного

сигнала ЛЧМ-ионознда. Как показано в [1], необходимым условием для создания корректирующего фильтра является знание передаточной функции НЧ-эквивалента полосового фильтра (ПФ) ЛЧМ-приемника. Таким образом, встает задача получения АЧХ и ФЧХ данного фильтра. Для получения передаточной функции НЧ-эквивалента ПФ могут быть применены несколько методов, однако для автора было интересно использовать метод, основанный на предлагаемом в [1] подходе к получению передаточной функции исследуемого канала.

Суть предлагаемого метода заключается в следующем. На вход приемного устройства ЛЧМ-ионознда подается гармонический сигнал $s_i(t) = \cos(\omega_i t)$. В приемнике он перемножается с сигналом гетеродина $s_g(t) = \cos(\omega_g t + 0.5\beta t^2)$, где ω_g – начальная частота работы гетеродина; β – скорость изменения циклической частоты. В результате получается смесь разностной и суммарной компонент, поступающая на ПФ. Частота гармоники ω_i выбирается таким образом, чтобы в полосу пропускания ПФ ΔF попадала только разностная компонента, а суммарная подавлялась. Сигнал на выходе ПФ регистрируется и подвергается дальнейшей обработке. Разностный сигнал на входе ПФ есть ЛЧМ-сигнал $s_d(t) = \cos((\omega_i - \omega_g)t - 0.5\beta t^2)$, скорость изменения частоты которого равна по модулю и противоположна по знаку скорости изменения частоты гетеродина, а начальная частота – разность частоты гармоники и начальной частоты гетеродина. Таким образом, сигнал на выходе ПФ – отклик полосового фильтра на некий ЛЧМ-сигнал, т.е. происходит ЛЧМ-зондирование ПФ. И следовательно, для получения передаточной функции ПФ может быть использована с некоторыми изменениями методика, предложенная в [1].

Результаты численного эксперимента показали, что данная методика может быть использована на практике. В докладе демонстрируется передаточная функция НЧ-эквивалента ПФ, полученная для приемника ЛЧМ-ионознда ИСЗФ СО РАН. Показывается хорошее совпадение с параметрами передаточной функции, полученными другим методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыденко М.А., Ильин Н.В. О возможности восстановления передаточной функции ионосферного радиоканала при зондировании ионосферы ЛЧМ-сигналом // Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды VII конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: 2004. С. 72–74.

In [1] the new method of ionospheric radio channel transfer function reconstruction is offered at FMCW sounding. The method essence consists in processing differential chirp signal by an additional correcting digital filter with set transfer function for. As shown in [1] the knowledge of LF-equivalent of the bandpass filter (BF) the chirp-receiver transfer function is necessary condition for the correcting filter creation. Thus there is a problem of BF transfer function reconstruction. Some methods can be used for LF-equivalent BF transfer function reception, however, for the author it was interesting to use the approach based on offered in [1] approach to the investigated channel transfer function reconstruction.

The essence of an offered method consists in the following. The harmonious signal $s_i(t) = \cos(\omega_i t)$ supplies the reception device chirp-sounder input. In the receiver it is multiplied with a oscillator signal $s_g(t) = \cos(\omega_g t + 0.5\beta t^2)$, here ω_g is the oscillator initial frequency, β is the chirp sweep speed. On out we receive a mix differential and sum a component, passing BF. Harmonic frequency gets out so that in passband BF ΔF got only differential component, and sum component suppressed. The BF output signal is registered and exposed to the further processing. The differential signal on input BF is the chirp signal $s_d(t) = \cos((\omega_i - \omega_g)t - 0.5\beta t^2)$ for which the rate of frequency change is equal on the module and is opposite on a sign to the rate of frequency change of the oscillator, and initial frequency is difference of harmonic frequency and initial oscillator frequency. Thus, the BF output is the response of the BF to a certain chirp signal, i.e. there is BF chirp-sounding. And, hence, the technique offered in [1] can be used for BF transfer function reception.

Results of numerical experiment have shown, that the technique can be used in practice. In the report the transfer function of LF-equivalent BF reconstructed for chirp-sounder receiver is shown. Good concurrence to parameters of transfer function received by other method shows.

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ СЛУЧАЙНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ТРАССЕ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.А. Жженых, Н.Т. Афанасьев

НИИ Прикладной физики ИГУ, Иркутск
nta@api.isu.ru

DIAGNOSTICS OF PARAMETERS OF RANDOM IONOSPHERIC IRREGULARITIES ON AN OBLIQUE RADIO SOUNDING PATH

A.A. Zhzhenykh, N.T. Afanasiev

Диагностика случайно-неоднородной структуры ионосферы является достаточно сложной задачей. Это связано в первую очередь с трудностями решения обратной задачи распространения радиоволн в ионосфере

в присутствии случайных флуктуаций электронной концентрации среды, так как в большинстве случаев обратить уравнения для расчета характеристик радиоволн с учетом влияния случайных ионосферных неоднородностей не представляется возможным. Тем не менее для решения обратной задачи определения параметров неоднородностей оказалось возможным использовать выражения, полученные в рамках приближения геометрической оптики для решения прямой задачи распространения радиоволн в ионосфере со случайными неоднородностями, заполняющими всю ее толщу (см., например, [1]).

В докладе представлены методики определения радиофизических параметров тонкой структуры ионосферы по измеряемым на наклонной трассе статистическим характеристикам радиосигнала на основе разработанного численно-асимптотического метода расчета статистических характеристик коротких радиоволн на наклонных трассах в случайно-неоднородной ионосфере со сложной регулярной структурой. Количество определяемых параметров зависит от количества и полноты измерений.

Простейший вариант методики позволяет определять удельную интенсивность ионосферных неоднородностей, задаваемую как отношение их относительной интенсивности к вертикальному масштабу. При этом в качестве входных параметров используются измеренные на наклонной коротковолновой трассе значения дисперсии либо вертикального, либо азимутального угла прихода радиоволны. Методика определения удельной интенсивности также может использовать данные о превышении максимально-наблюдаемой частоты (МНЧ) над максимально-применимой частотой (МПЧ) либо параметры спада интенсивности волнового поля в условиях радиозахода, когда наблюдатель попадает в зону регулярной тени источника излучения (при этом, за счет случайных неоднородностей ионосферы, спад волнового поля в зону тени происходит постепенно). Использование измерений дисперсии вертикального или азимутального углов прихода в два близких момента времени позволяет определять, помимо удельной интенсивности, также и степень анизотропии неоднородностей в продольном и поперечном трассе направлениях. Разработана также методика определения полного набора параметров корреляционного эллипсоида неоднородностей, т.е. их интенсивности и масштабов в трех направлениях, в предположении, что неоднородности вытянуты вдоль силовых линий магнитного поля Земли. Для реализации этой методики требуются измерения дисперсий азимутального и вертикального углов прихода и дисперсии фазы принимаемого радиосигнала в два последовательных момента времени.

С целью апробации методик, помимо расчетов удельной интенсивности и степени анизотропии неоднородностей, проведенных в [1], рассчитана «удельная» интенсивность неоднородностей в условиях эксперимента, проведенного в марте 2001 г. на наклонной трассе CHU (Оттава)–Millstone Hill [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев Н.Т. и др. Гибридное моделирование распространения радиоволн в ионосфере с учетом ее тонкой структуры // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т. 41, № 5. С. 341–345.
2. Galushko V.G. et al. Frequency-and-angular HF sounding and ISR diagnostics of TIDs // Radio Sci. 2003. V. 38, N 6. P.1102–1110.

Diagnostics of the randomly inhomogeneous structure of the ionosphere is a quite difficult problem. It mainly comes from difficulties of solving the inverse problem of radio wave propagation in the ionosphere with the presence of the random fluctuations of electron density of the medium because, in most cases, it is impossible to invert equations for calculation of radio wave characteristics with taking into account the effects of the random ionospheric irregularities. Nevertheless, for the purpose of solving the inverse problem of determination of the irregularity parameters, it was found to be possible to use the expressions that were derived in the terms of approximation of geometrical optics for solving the direct problem of radio wave propagation in the ionosphere with uniformly spread random irregularities (see [1], for example).

In this presentation, on the basis of the developed numerically-asymptotical method for calculation of statistical characteristics of high frequency radio waves on oblique paths in the randomly inhomogeneous ionosphere with the complex regular structure, the techniques for determination of radiophysical parameters of the ionospheric fine structure from the statistical characteristics of radio signal measured on an oblique path are shown. The number of derived parameters depends on the quantity of measurements.

The simplest variant of the technique allows determining the "specific" intensity of ionospheric irregularities that is defined as the ratio of the relative intensity of irregularities to their vertical scale. In this case, the values of variance of either vertical or azimuth angle of radio wave arrival measured on an oblique high frequency path are used as the input parameters. The technique of determining the "specific" intensity also can use the data on the excess of maximum observed frequency (MOF) over maximum usable frequency (MUF), or parameters of the attenuation of the wave field intensity under conditions of the radioset, when an observer gets to the zone of the regular shadow of the radiation source (in this case, due to the random ionospheric irregularities, the attenuation of the wave field to the skip zone goes gradually). The use of the measurements of variance of vertical or azimuth angle of radio wave arrival at the two close instants allows determining, in addition to the "specific" intensity, the degree of anisotropy of irregularities in the longitudinal and transversal directions (in terms of the path). We also develop the technique for determining the full set of parameters of the correlation ellipsoid of irregularities, i.e. the intensity and scales in three directions, in the assumption that the irregularities aligned along the Earth's magnetic field. Measurements of

the variance of azimuth and vertical angle of radio wave arrival as well as the variance of phase of received signal at two consecutive instants are required for realization of this technique.

For the purpose of approbation of the techniques, in addition to calculations of the "specific" intensity and degree of anisotropy of irregularities made in [1], the "specific" intensity of irregularities under conditions of the experiment, which was carried out in March 2001 on the oblique path CHU(Ottawa)-Millstone Hill [2], is calculated.

ДИНАМИКА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ АВРОРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ. РЕАКЦИЯ НА ВНЕЗАПНОЕ НАЧАЛО МАГНИТНОЙ БУРИ 29 ОКТЯБРЯ 2003 г.

¹И.В. Живетьев, ²В.В. Кирышкин

¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатская обл., Елизовский район, п. Паратунка;

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
zhiv@ikir.kamchatka.ru

**THE DYNAMICS OF LARGE-SCALE TRAVELING IONOSPHERIC DISTURBANCES OF AURO-
RAL ORIGIN. RESPONSE ON THE SUDDEN STORM COMMENCEMENT OF THE MAGNETIC
STORM ON OCTOBER 29, 2003**

¹I.V. Zhivet'ev, ²V.V. Kiryushkin

Изучению крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (КМПИБ) с характерными временными периодами 1–2 ч и длинами волн 1000–2000 км посвящено много работ. Считается установленным, что КМПИБ являются проявлением акустико-гравитационных волн (АГВ), области генерации которых находятся в авроральных зонах Северного и Южного полушарий. Однако до сих пор нет достаточно достоверных экспериментальных данных, позволяющих построить модель КМПИБ, и для формирования наиболее полной картины динамики КМПИБ необходимо большее количество статистических данных.

Новые возможности для детального изучения основных свойств КМПИБ предоставляет глобальная навигационная система GPS и созданная на ее основе мировая сеть двухчастотных многоканальных приемников GPS.

В ИСЗФ СО РАН разработана технология глобального детектирования и мониторинга возмущений полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере на основе обработки данных глобальной сети приемников навигационной системы GPS. Эта сеть используется как большая фазированная антенная решетка или глобальный GPS-детектор, отличающийся от ранее известных средств радиозондирования ионосферы непрерывностью наблюдений, высокой чувствительностью и пространственно-временным разрешением, а также технологичностью обработки данных.

Целью настоящей работы является исследование основных свойств КМПИБ аврорального происхождения по данным GPS-станций во время большой магнитной бури 29 октября 2003 г.

Для анализа характеристик КМПИБ из всего перечня GPS-станций, данные которых предоставляются в Internet, были сформированы четыре меридиональные цепочки: европейская, азиатская, западно-американская и восточно-американская. Кроме того, в работе использованы данные камчатской региональной сети станций GPS. Всего получилось пять цепочек GPS-станций, расположенных таким образом, что во время геомагнитных возмущений часть этих цепочек оказывается в ночном, а другая – в дневном секторах Северного полушария.

В работе показано, что момент начала возмущения ПЭС запаздывает от момента внезапного начала бури на 10–30 мин в зависимости от региона регистрации. Возмущения носят характер крупномасштабных волн уединенного типа с длительностью порядка 1 ч, которые распространяются в экваториальном направлении от источника, расположенного в авроральной зоне, со скоростью от 700 до 1500 м/с.

Many studies are dedicated to studying large-scale traveling ionospheric disturbances (LSTIDs) with typical periods of 1–2 h and wavelengths of 1000–2000 km. It is considered established that LSTIDs are a manifestation of acoustic gravity waves (AGWs), which are generated in the auroral regions of the Northern and Southern hemispheres. However, sufficiently reliable experimental data, which make it possible to create a LSTID model, are still absent. A large quantity of statistical data is required to form a complete picture of LSTIDs' dynamics.

The GPS global navigational system and the worldwide network of two-frequency multi-channel GPS receivers give new opportunities for a more detailed investigation of LSTIDs' main properties.

In ISZF SB RAS a technology of global detection and monitoring of disturbances of the total electron content (TEC) in the ionosphere was developed on the basis of data processing from the global network of GPS receivers. This network is used as a large phased array or global GPS detector, which differs from the earlier means of ionosphere radiosounding by observation continuity, high sensitivity, temporal-spatial resolution and also by technological effectiveness of data processing.

The aim of the present research is to study the main characteristics of LSTIDs of auroral origin on the data of GPS stations during the strong magnetic storm on October 29, 2003.

From the whole list of GPS stations, which place their data in Internet, four “meridional chains” were formed for the analysis of LSTIDs’ characteristics, they are: European, Asian, West-American and East-American. Moreover, the data of Kamchatka regional network of stationary receiving GPS stations were also used. Altogether there are five chains of GPS stations, located so that during a geomagnetic disturbance some of these chains would be in the night sector and the other ones would be in the day sector of the Northern hemisphere.

It is shown in the paper that the initial moment of the disturbance of total electron content lags 10 to 30 minutes the moment of the SSC regarding the registration region. The disturbances have the characteristics of large-scale solitary waves with the duration of the order 1 hour. The waves propagated equatorward from the source located in the auroral region at a velocity from 500 to 1000 m/s.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАБЫХ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В.А. Иванов, Д.В. Иванов, А.Р. Лащевский

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл
dvi@marstu.mari.ru

Целью работы является разработка метода определения параметров нерегулярной структуры ионосферы: по величине дисперсионных искажений широкополосных радиоканалов.

Основными для канала распространения являются его импульсная $h(t)$ (ИХ) и дисперсионная $\tau(f)$ (ДХ) характеристики:

$$h(t) = \sum_{j=1}^m \int_{f_p}^{f_p+B} H_{0j}(f) \exp(-i\varphi_j(f)) \exp(i2\pi ft) df, \quad (1)$$

$$\tau_j(f) = d\varphi_j / 2\pi df, \quad (2)$$

где $H_{0j}(f)$ – АЧХ канала, образованного j -м лучом; $\varphi_j(f)$ – ФЧХ канала, образованного j -м лучом; B – полоса частот радиоканала.

В случае постоянной ДХ и АЧХ в полосе канала, ИХ j -ого луча имеет вид:

$$|h_j(t)|_1 = H_{0j}(f_p) B \frac{|\sin \pi B(t - \tau_j(f_p))|}{|\pi B(t - \tau_j(f_p))|}.$$

Если ДХ не является постоянной, то ИХ можно представить в виде формулы

$$|h_j(t)|_2 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{|H_{0j}|}{\sqrt{\gamma(t)}} \left[\{C(X_2) + C(X_1)\}^2 + \{S(X_2) + S(X_1)\}^2 \right]^{0.5},$$

где $C(X)$, $S(X)$ – интегралы Френеля, $X_{1,2} = \frac{\sqrt{2}}{\pi \sqrt{\gamma(t)}} [\pi B \gamma(t) m(t - \tau_j(f_p))]$.

Найдем максимальные значения для $|h_j(t)|_1$ и $|h_j(t)|_2$, а затем отношение для них. В результате получим:

$$\frac{|h_j(\tau_j)|_2}{|h_j(\tau_j)|_1} = \sqrt{\frac{C^2(x) + S^2(x)}{x^2}}, \text{ где } x = \sqrt{2\gamma(t)}B.$$

Если причиной изменений функции $\gamma(t)$ являются ПИВ, то ее можно представить в виде: $\gamma(t) = \gamma_0 \cos[\Omega(t - k \frac{f_p}{V})]$, где $k = h / f_p$ – коэффициент, связывающий высоту с рабочей частотой зондирующей волны, Ω – частота перемещающегося возмущения, V – вертикальная скорость перемещения возмущения.

Измеряя период его вариаций и разность фаз $\Delta\phi$ между изменениями на двух рабочих частотах можно оценить масштаб и вертикальную скорость перемещения возмущения:

$$V = \frac{\Omega k (f_{p2} - f_{p1})}{\Delta\phi} \text{ и } L = \frac{2\pi V}{\Omega}.$$

В ходе натурального эксперимента, который проводился с помощью ЛЧМ-ионозонда на трассе Иркутск–Йошкар-Ола 11.03.2004 были зафиксированы ПИВ со следующими параметрами: $\Delta N / N = 0.1$, $V=15$ м/с и $L=54$ км.

Таким образом, разработан метод определения параметров ПИВ с использованием эффекта компенсации дисперсионных искажений в широкополосных ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц. Проведены успешные натурные эксперименты по апробации нового метода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты: 04-05-65120, 05-07-90313).

INVESTIGATION OF WEAK MOVING IONOSPHERIC DISTURBANCES

V.A. Ivanov, D.V. Ivanov, A.R. Lashchevskiy

The work purpose is to develop the method of the parameters determination irregular structure of the ionosphere in size of the dispersion distortions of the broadband radio channels.

Main characteristics of the channel of propagation are its pulse $h(t)$ and dispersion $\tau(f)$ characteristics:

$$h(t) = \sum_{j=1}^m \int_{f_p}^{f_p+B} H_{0j}(f) \exp(-i\varphi_j(f)) \exp(i2\pi ft) df, \quad (1)$$

$$\tau_j(f) = d\varphi_j / 2\pi df, \quad (2)$$

where $H_{0j}(f)$ – amplitude-frequency characteristic of channel, formed by ray with number j ; $\varphi_j(f)$ – phase-frequency variation of channel, formed by ray with number j ; B – a band of the frequencies of the radio channel.

When dispersion and amplitude-frequency characteristics are constants in band of the channel, pulse characteristic of ray with number j is of the form of:

$$|h_j(t)|_1 = H_{0j}(f_p) B \frac{|\sin \pi B(t - \tau_j(f_p))|}{|\pi B(t - \tau_j(f_p))|}.$$

If dispersion characteristic is not constant, that pulse characteristic possible present in the manner of formula:

$$|h_j(t)|_2 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{|H_{0j}|}{\sqrt{\gamma(t)}} \left[\{C(X_2) + C(X_1)\}^2 + \{S(X_2) + S(X_1)\}^2 \right]^{0.5},$$

where $C(X)$, $S(X)$ – an Frenel integrals, $X_{1,2} = \frac{\sqrt{2}}{\pi\sqrt{\gamma(t)}} \left[\pi B \gamma(t) m(t - \tau_j(f_p)) \right]$.

We shall find maximum importances for $|h_j(t)|_1$ and $|h_j(t)|_2$, and then attitude for them. As a result we shall get:

$$\frac{|h_j(\tau_j)|_2}{|h_j(\tau_j)|_1} = \sqrt{\frac{C^2(x) + S^2(x)}{x^2}}, \text{ where } x = \sqrt{2\gamma(t)}B.$$

If reason of the change of function $\gamma(t)$ is moving ionospheric disturbances, that its possible present in the manner of: $\gamma(t) = \gamma_0 \cos[\Omega(t - k \frac{f_p}{V})]$, where $k = h / f_p$ – a coefficient, linking height with work frequency of sounding wave, Ω – a moving disturbance frequency, V – a vertical velocity of the moving disturbance.

Measuring period its variations, and difference of the phases $\Delta\phi$ between change on two workers frequency possible to value the scale and vertical velocity of moving of the disturbance:

$$V = \frac{\Omega k (f_{p2} - f_{p1})}{\Delta\phi} \text{ and } L = \frac{2\pi V}{\Omega}.$$

In the course of natural experiment, which was conducted by means of chirp sounder on route Irkutsk - Yoshkar-Ola 11.03.2004 were fixed moving ionospheric disturbances with the following parameters: $\Delta N / N = 0.1$, $V=15$ m/s и $L=54$ km.

In that way the method of the parameters determination of moving ionospheric disturbances with use the effect to compensations of the dispersion distortion in broadband ionospheric radio channels with band 1 MHz is designed. The successful natural experiments on approbations of the new method are organized.

Work is executed at support RFFI (the projects: 04-05-65120, 05-07-90313).

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ СКАЧКА И СКОРОСТЬ ПЕРЕСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ИЗ-ЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ С ППРЧ В ДИСПЕРСНЫХ КВ-РАДИОКАНАЛАХ

Д.В. Иванов

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл
vai@marstu.mari.ru

Целью работы являются теоретические и экспериментальные исследования энергетических потерь для сигналов с ППРЧ из-за их распространения в ионосферных квазистационарных каналах с частотной дисперсией фазы.

1. Модель нестационарного ионосферного радиоканала

Рассмотрим в лучевом приближении для заданной радиолинии радиоканал на частоте f_p (рабочей), поло-са пропускания которого Δf ограничивается каналобразующими устройствами (передатчиком и приемни-

ком). Обычно $\Delta f \ll f_p$, поэтому: $H_{0j}(f) \approx H_{0j}(f_p)$, $\varphi_j(f) \approx \varphi_j(f_p) + 2\pi\tau_j(f_p)\Delta f + \pi s_j(f_p)\Delta f^2$, где j – номер принимаемого луча.

Здесь третье слагаемое в разложении фазы учитывает дисперсионные искажения. В случае квазистационарного канала для небольших масштабов времени $\Delta t = t - t_0$ (t_0 – начало отсчета времени), фазу передаточной функции отдельного луча можно разложить в ряд Тейлора по степеням Δf и Δt , которое без учета дисперсии можно представить в виде:

$$\varphi_j(f, t) \approx \varphi_j(f_p, t_0) + 2\pi\tau_j\Delta f - 2\pi f_d\Delta t, \quad (3)$$

где f_d – доплеровское смещение частоты.

2. Рассогласование сигналов с ППРЧ в стационарных радиоканалах с дисперсией

Сигналы с ППРЧ можно представить следующим образом:

$$a(t) = \begin{cases} \sum_{n=1}^m Q_n(t) \exp(j2\pi(f_p + f_n)t), & 0 \leq t \leq nT \\ 0, & \text{для других } t \end{cases}, \quad Q_n(t) = \begin{cases} Q\{t - (n-1)T\} = 1, & (n-1)T \leq t \leq nT \\ 0, & \text{для других } t \end{cases} \quad (4)$$

где m – количество элементов в сигнале (основание кода), f_p – рабочая частота, f_n – частота, выбранная по случайному закону. Величина Δf , равная полосе частот сигнала, определяет величину максимального скачка, $1/T$ – скорость перестройки частоты, а $w = 1/mT$ – скорость передачи информации.

При выполнении условий: $T \gg \tau_0$ и $T \gg \Delta\tau$, где $\tau_0 = \sqrt{0.5|s|}$ [2], а $\Delta\tau$ – разброс задержек элементов сигнала из-за частотной зависимости $\tau(f)$, и, предполагая, что принимаемый сигнал синхронизирован с сигналом гетеродина ($\tau=0$), а частота f_n является случайной величиной, распределенной равномерно в интервале $[-\Delta f/2; \Delta f/2]$, можем найти математическое ожидание сжатого сигнала $a_s(t)$:

$$M[a_s(t)] = m |H(f_p)| Q(t) \frac{\sqrt{C^2(z) + S^2(z)}}{z} \exp\{j[\varphi(f_p) + \text{arctg} \frac{S(z)}{C(z)}]\}, \quad \text{где: } z = \sqrt{2s}\Delta f. \quad (5)$$

Формула (5) не учитывает расплывание элемента сигнала и вариации задержки элементов из-за зависимости $\tau(f)$, а учитывает только дрожание (jitter) фазы, величиной $\pi S f_n^2$. Из нее нетрудно получить выражение для коэффициента энергетических потерь η сигнала: $\eta = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \frac{C^2(z) + S^2(z)}{z^2}$, где $P_{2,1}$ – пиковая мощность сигнала на выходе радиоканала с искажениями и без.

Видим, что коэффициент потерь η достигает значения 1.5 дБ уже при $\Delta f \approx 1.4\Delta f_k$, где $\Delta f_k = 2/\sqrt{\pi|s_j|}$. Это означает, что канал распространения с дисперсией ограничивает возможный выигрыш при обработке сигнала из-за «дрожания» фазы. Кроме этого эффекта, огибающая парциального сигнала испытывает «расплывание», которое в случае прямоугольной огибающей составляет 40 % при $T_{min} = \sqrt{\pi s}$. Также элементы с разными частотами заполнения f_n имеют разные времена прихода, так что при максимальном диапазоне скачка, равном Δf , и наклоне дисперсионной характеристики s разброс задержек принимаемых элементов составит $\Delta\tau = s\Delta f$. Уширение огибающей радиоимпульса и разброс задержек будут приводить к явлению межсимвольной интерференции. Энергетические потери из-за нее не превысят 30 % (1.5 дБ), если $T_{min} \geq 6\Delta\tau$.

Для борьбы с межсимвольной интерференцией обычно вводят защитный интервал длительностью Δt , поэтому результирующее условие на минимальную длительность элемента сигнала будет иметь вид: $T_{min} \geq 7\Delta\tau$. Таким образом, максимальную скорость частотной перестройки N можно оценить по формуле:

$$N = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1}{7\Delta\tau} = \frac{1}{7s\Delta f} \quad (8)$$

Формула $\Delta f \approx 1.3\Delta f_k$ позволяет оценить оптимальный диапазон максимального скачка Δf , который равен: $\Delta f = \frac{1.5}{\sqrt{s}}$.

3. Рассогласование сигналов с ППРЧ в квазистационарном радиоканале. В данном случае модель ФЧХ канала имеет вид (3). Считая, что принятый сигнал синхронизирован с сигналом гетеродина ($\tau=0$), на выходе приемника будем иметь:

$$a_s(t) = \sum_{n=1}^m H(f_p) \exp\{j(\phi_0 + 2\pi f_d(t - [n-1]T))\} Q(t). \quad (10)$$

Учитывая, что формула (10) представляет сумму m членов геометрической прогрессии, нетрудно получить выражение для пиковой мощности сигнала на выходе приемника:

$$P_2 = |H(f_p)|^2 \left[\frac{\sin \pi m T f_d}{\sin \pi T f_d} \right]^2. \quad (11)$$

Следовательно, коэффициент энергетических потерь будет иметь вид:

$$\eta = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 20 \lg \left\{ \frac{\sin \pi m T f_d}{\sin \pi T f_d} \right\}, \quad (12)$$

где $P_1 = |H(f_p)|^2 m^2$ – пиковая мощность сигнала на выходе стационарного радиоканала.

С учетом параметров ионосферного КВ-канала числитель и знаменатель в формуле (12) можно разложить в ряд Тейлора. Принимая условие $m^2 \gg 1$, для η окончательно получим: $\eta \approx 0.1 \left(\frac{f_d}{w} \right)^2$. Для того, чтобы потери не превышали $\eta=1.5$ дБ, необходимо выполнение условия: $w \geq 3.3 f_d$.

Видно, что чем выше скорость передачи информации w , тем меньшее влияние на энергетические потери оказывает доплеровский сдвиг частоты. При $f_d < 10$ Гц потери будут менее 1.5 дБ, если $w > 33$ бит/с.

HOP LENGTH AND FREQUENCY TUNING VELOCITY LIMITS BECAUSE OF SIGNALS WITH PROGRAMMED TUNABLE WORK FREQUENCY PROPAGATION IN DISPERSIVE HF RADIO CHANNELS

D.V. Ivanov

The work purpose is theoretical and experimental research of power losses of signals with programmed tunable work frequency (PTWF), that appears when they propagating in quasistationary ionospheric radio channels with a frequency dispersion of a phase.

1. The model of non-steady ionospheric radio channel

We are considering with ray approximation the radio channel on work frequency f_p which passband Δf is limited by channelling devices (the transmitter and the receiver) on the specified radioline. Usually $\Delta f \ll f_p$, therefore:

$$H_{0j}(f) \approx H_{0j}(f_p), \quad \varphi_j(f) \approx \varphi_j(f_p) + 2\pi\tau_j(f_p)\Delta f + \pi s_j(f_p)\Delta f^2, \quad \text{where } j - \text{number of the received mode.}$$

The third item in phase expansion takes into account dispersive distortions. In a case of non-steady radio channel for small scale time $\Delta t = t - t_0$ (t_0 – reference mark of time), a phase of transfer function of a separate ray is possible to expand in Taylor's series in terms of Δf и Δt degrees, which without taking into account a dispersion can be presented as:

$$\varphi_j(f, t) \approx \varphi_j(f_p, t_0) + 2\pi\tau_j\Delta f - 2\pi f_{dj}\Delta t, \quad (3)$$

where f_d – Dopler shift of frequency.

2. Mismatch of signals with PTWF in stationary radio channels with a dispersion

Signals with PTWF can be presented as follows:

$$a(t) = \begin{cases} \sum_{n=1}^m Q_n(t) \exp(j2\pi(f_p + f_n)t), & 0 \leq t \leq nT \\ 0, & \text{for other } t \end{cases}, \quad Q_n(t) = \begin{cases} Q\{t - (n-1)T\} = 1, & (n-1)T \leq t \leq nT \\ 0, & \text{for other } t \end{cases} \quad (4)$$

where m – quantity of elements in a signal (code base), f_p – work frequency, f_n – frequency, that was selected by the random distribution. The magnitude Δf , that equals to frequency band of signal, determines maximal hop size, $1/T$ – frequency tuning velocity, $w = 1/mT$ – information transmission velocity.

At performance of conditions: $T \gg \tau_0$ и $T \gg \Delta\tau$, where $\tau_0 = \sqrt{0.5|s|}$, $\Delta\tau$ – delay scatter of signal elements that appears because of frequency relation $\tau(f)$ and, proposed, that received signal was synchronized with oscillator's signal ($\tau=0$), but the frequency f_n is random magnitude, that uniform distributed in $[-\Delta f / 2; \Delta f / 2]$. We can calculate the mean value of compressed signal $a_s(t)$:

$$M[a_s(t)] = m |H(f_p)| Q(t) \frac{\sqrt{C^2(z) + S^2(z)}}{z} \exp\{j[\varphi(f_p) + \arctg \frac{S(z)}{C(z)}]\}, \quad \text{where: } z = \sqrt{2s}\Delta f. \quad (5)$$

The expression (5) does not take into account spreading of signal element and variations of elements delay of because of relation $\tau(f)$, but takes into account only phase jitter, by value $\pi S f_n^2$. It is not difficult to receive the expression for signal power losses η : $\eta = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \frac{C^2(z) + S^2(z)}{z^2}$, where $P_{2,1}$ is the peak power of a signal on radio channel output with and without distortions.

Apparently, the factor of losses η already achieves value 1.5 dB when $\Delta f \approx 1.4\Delta f_k$, where $\Delta f_{kj} = 2/\sqrt{\pi|s_j|}$. It means, that dispersive channel limits probable signal's processing gain because of phase jitter. In addition to this effect envelope of partial signal has "spreading" which in case of rectangular envelope makes 40 % at $T_{min} = \sqrt{\pi s}$. Also elements with different filling frequencies f_n has different times of arrival. So, that at the maximal hop range equals Δf , and dispersive characteristic curve tilt s the disorder of delays of received elements can makes $\Delta\tau = s\Delta f$. Radio impulse envelope widening and delays disorder carrying to intersymbolical interference phenomenon. Power losses, that caused by this phenomenon that because of it (her) are not exceed 30 % (1.5 dB), if $T_{min} \geq 6\Delta\tau$.

Usually protective interval with duration $\Delta\tau$ implements for the intersymbolical interference control, therefore the resulting condition to minimal duration of signal element has value: $T_{min} \geq 7\Delta\tau$. Thus, the maximal frequency tuning velocity N can be estimated by the expression:

$$N = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1}{7\Delta\tau} = \frac{1}{7s\Delta f} \quad (8)$$

Expression $\Delta f \approx 1.3\Delta f_k$ allows to estimate optimal range of maximal hop Δf that equals to: $\Delta f = \frac{1.5}{\sqrt{s}}$.

3. PTWF signals mismatch in quasistationary radio channel

In this case channel's phase-frequency characteristic model looks like (3). Considering, that the received signal is synchronized with a oscillator signal ($\tau=0$), on receiver's output we have the next signal:

$$a_s(t) = \sum_{n=1}^m H(f_p) \exp\{j(\phi_o + 2\pi f_d(t - [n-1]T))\} Q(t). \quad (10)$$

Taking into account, that the formula (10) represents the sum of m geometrical progression members, it is uneasy to get expression for signal peak capacity on receiver's output:

$$P_2 = |H(f_p)|^2 \left[\frac{\sin \pi m T f_d}{\sin \pi T f_d} \right]^2. \quad (11)$$

So, the power losses coefficient looks as follows:

$$\eta = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 20 \lg \left\{ \frac{\sin \pi m T f_d}{\sin \pi T f_d} \right\}, \quad (12)$$

where $P_1 = |H(f_p)|^2 m^2$ is the signal peak capacity on stationary radio channel output.

Subject to ionospheric HF radio channel parameters the numerator and a denominator in the expression (12) can be expensed in Taylor series. Accepting a condition $m^2 \gg 1$, for the η finally obtain: $\eta \approx 0.1 \left(\frac{f_d}{w} \right)^2$. That losses did not exceed $\eta=1.5$ dB if the condition: $w \geq 3.3 f_d$ is performed.

Evident, that the higher information transfer velocity w , gives the smaller influence Dopler's shift of frequency on power losses. When $f_d < 10$ Hz if $w > 33$ bit/sec power losses will be smaller than 1.5 dB.

РАССОГЛАСОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В СРЕДАХ С ДИСПЕРСИЕЙ

Д.В. Иванов

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола
vai@marstu.mari.ru

COMPLEX SIGNALS MISMATCH CAUSED BY PROPAGATION IN DISPERSIVE MEDIA

D.V. Ivanov

Целью работы является исследование оптимальных полос сложных сигналов на основе анализа потерь при их сжатии.

Рассмотрены особенности энергетических потерь при распространении сложных сигналов в средах с дисперсией и оптимальные полосы сигналов. Для АЧХ $H_0(f)$ и ФЧХ $\varphi(f)$ многолучевых радиоканалов распространения на рабочей частоте f_p можно воспользоваться представлениями в виде многочленов Тейлора нулевой и второй степени (соответственно) относительно разности $(f - f_p) = \Delta f$:

$$\begin{aligned} H_{0j}(f) &\approx H_{0j}(f_p), \\ \varphi_j(f) &\approx \varphi_j(f_p) + 2\pi\tau_j(f_p) \cdot \Delta f + \pi s_j(f_p) \cdot \Delta f^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где j – номер принимаемого луча.

В качестве полосы когерентности Δf_{kj} радиоканала распространения выберем диапазон частот, на краях которого набег нелинейной составляющей фазы (1) равен 1 радиану, т.е. $\Delta f_k = 2/\sqrt{\pi|s|}$.

Воспользуемся комплексной моделью для следующих сложных сигналов:

$$a_T(t) = \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(-\frac{t^2}{2T^2}\right) \exp i\pi(2f_p t + f^{\ₜ}), \text{ (a)} \\ a_0(t) \exp i\pi(2f_p t + f^{\ₜ}), \text{ (б)} \\ \sum_{k=1}^K a_k(t) \exp i2\pi(f_p + f_k)t, \text{ (в)} \\ \sum_{k=1}^K a_k(t) \exp i(2\pi f_p + \theta_k), \text{ (г)} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где (a) – ЛЧМ-импульс с гауссовой огибающей; (б) – прямоугольный ЛЧМ-импульс; (в), (г) – дискретно-кодированные сигналы с частотным и фазовым кодированием соответственно. Здесь f_k – случайным образом выбранное значение частоты, θ_k – фазы элемента сигнала, K – количество элементов в сигнале. Для гауссового ЛЧМ-импульса $2T$ равно длительности импульса на уровне 0.6, для прямоугольного $a_0(t)$ отличается от нуля лишь на длительности импульса T . Для обоих ЛЧМ-сигналов $f^{\ₜ}$ – скорость изменения частоты. Для третьего и

четвертого сигналов $a_k(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } (k-1)T \leq t \leq kT \\ 0, & \text{для всех других } t \end{cases}$.

Найдя спектр сигналов при условии большой базы, и далее, рассматривая их распространение в дисперсном канале с передаточной функцией в виде (1), а затем в фильтре, согласованном с излучаемым сигналом, в итоге для пиковой мощности получим следующие выражения:

$$P_1(\Delta f, \Delta f_{kj}) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi \Delta f T |H_0(f_p)|^2}{2[1+(p)^4]^{0.5}}, \text{ (a)} \\ \frac{4 \Delta f T |H_0(f_p)|^2 [C^2(X) + S^2(X)]}{X^2}, \text{ (б)} \\ \frac{K^2 |H_0(f_p)|^2 [C^2(Y) + S^2(Y)]}{Y^2}, \text{ (в)} \\ \frac{K^2 |H_0(f_p)|^2 [C^2(Z) + S^2(Z)]}{2}, \text{ (г)} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $C(V)$, $S(V)$ – интегралы Френеля; $V = \{X, Y, Z\}$; $X = \sqrt{2s_j} f^{\ₜ} = 0.8 \Delta f / \Delta f_{kj} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} p = 0.8p$;

$Y = \sqrt{2s_j} \Delta f / 2 \approx 0.8 \Delta f / \Delta f_{kj} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} p = 0.8p$; $Z = T / \sqrt{2s_j} = 0.63 \Delta f_{kj} / \Delta f = \sqrt{\frac{\pi}{8}} \frac{1}{p} = \frac{0.63}{p}$; $K^2 = \Delta f / \varpi$, где ϖ – скорость передачи информации, а p – коэффициент дисперсии радиоканала, равный отношению полосы канала к его полосе когерентности.

Для каналов со слабой дисперсией ($p^2 \ll 1$), раскладывая интегралы Френеля по малому аргументу в ряд Тейлора, получим:

$$\begin{aligned} C^2(X) + S^2(X) &\approx X^2 + \pi^2 X^6 / 36 \approx X^2, \\ C^2(Y) + S^2(Y) &\approx Y^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Откуда следует, что пиковая мощность растёт $P_1 \propto \Delta f$.

В случае фазо-кодированного сигнала аргумент Z в интегралах Френеля стремится к бесконечности. При этом интегралы имеют иную асимптотику:

$$\begin{aligned} C(Z) &\approx 0.5 + (1/\pi Z) \sin(\pi Z / 2) + \dots \approx 0.5, \\ S(Z) &\approx 0.5 + (1/\pi Z) \cos(\pi Z / 2) + \dots \approx 0.5. \end{aligned} \quad (5)$$

Учитывая только первые члены разложений, получим, что и в этом случае $P_1 \propto \Delta f$. Однако из-за тригонометрических функций в интегралах (5) при монотонном изменении полосы сигнала, пиковая мощность на полосе когерентности будет испытывать колебания.

Для дисперсных каналов $p^2 \gg 1$, т.е., когда полоса канала превышает полосу когерентности, пиковая мощность сигнала убывает с ростом полосы. При этом для достаточно больших полос она во всех случаях убывает как $(\Delta f)^{-1}$. Следовательно, при увеличении полосы сложного сигнала пиковая мощность сжатого

сигнала имеет максимум и можно говорить о его оптимальной полосе частот. Расчеты показывают, что для рассматриваемых сигналов $\Delta f_{opt} = \{1; 1.25; 1.25; 0.63\} \Delta f_{kj}$.

Некоторые отличия оптимальных полос от полосы когерентности связаны с «разрывами» для амплитуд излучаемых сигналов, а гауссова огибающая ЛЧМ-сигнала приводит к известному эффекту «сглаживания», и результаты расчетов для этого случая дают сглаженную оценку.

Если для коэффициента потерь в разрешении принять функцию $g(p) = 10 \lg(T_2/T_1)$, где $T_{1,2}$ – длительность «сжатого» сигнала при распространении в дисперсной среде и в среде без дисперсии, то для сглаженной оценки (случай гауссового ЛЧМ-сигнала) этого коэффициента получим формулу:

$$g(p) = 5 \lg \frac{4}{4+p^4} \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что потери в разрешении за пределами полосы когерентности канала (с ростом Δf) растут как $(\Delta f)^{-2}$. Можно показать, что при этом аналогичным образом растут и энергетические потери, определяемые коэффициентом $q = 10 \lg(P_1/P_2)$, где P_1 и P_2 – мощность искаженного и неискаженного сигналов соответственно.

Таким образом, на основе теоретического анализа распространения сложных сигналов в дисперсных радиоканалах определены значения их оптимальных полос. Показано, что в случае превышения полосой сигнала полосы когерентности КВ-канала энергетические потери сжатого сигнала и потери в разрешении по групповому запаздыванию растут как $(\Delta f)^{-2}$.

The purpose of work is the research of optimal complex signal pass bands on the basis of analyzing of losses at their compression.

Power loss features of propagated in dispersive media complex. Signals optimal pass bands. For amplitude-frequency characteristics $H_0(f)$ and phase-frequency characteristics $\varphi(f)$ of multipath radio channels on work frequency f_p it is possible to take advantage of Taylor's polynoms of a zero and second degree (accordingly) concerning a difference $(f - f_p) = \Delta f$ representations:

$$\begin{aligned} H_{0j}(f) &\approx H_{0j}(f_p), \\ \varphi_j(f) &\approx \varphi_j(f_p) + 2\pi\tau_j(f_p)\Delta f + \pi s_j(f_p)\Delta f^2, \end{aligned} \quad (1)$$

where j – received mode number.

As a radio channel's band of coherence Δf_{kj} we choose the range of frequencies at which boundary values of phase nonlinear component (1) entering is equal to 1 radian, $\Delta f_k = 2/\sqrt{\pi|s|}$.

We make use of complex model for the following signals:

$$a_T(t) = \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(-\frac{t^2}{2T^2}\right) \exp i\pi(2f_p t + \dot{f}t^2), \quad (a) \\ a_0(t) \exp i\pi(2f_p t + \dot{f}t^2), \quad (b) \\ \sum_{k=1}^K a_k(t) \exp i2\pi(f_p + f_k)t, \quad (c) \\ \sum_{k=1}^K a_k(t) \exp i(2\pi f_p + \theta_k), \quad (d) \end{array} \right\}, \quad (2)$$

where (a) is the linear frequency modulated (LFM) impulse with Gauss envelope; (b) is the rectangular linear frequency modulated impulse; (c), (d) are the discrete-coded signals with frequency and phase coding accordingly. Here f_k is the random value of frequency, θ_k is the signal element's phase, K is the quantity of elements in a signal. For the Gauss LFM impulse $2T$ equally duration of impulse at level 0.6, for rectangular $a_0(t)$ differs from zero only from duration of impulse T . For both LFM signals \dot{f} is the frequency tuning velocity. For the third and fourth signals

$$a_k(t) = \begin{cases} 1, & (k-1)T \leq t \leq kT \\ 0, & \text{for other } t \end{cases}.$$

Calculating spectrum of signals under condition of big base, and further, considering their propagation in dispersive radio channel with transfer function as (1), and then in the filter matched with transmitted signal, in a result for peak power we get the following expressions:

$$P_1(\Delta f, \Delta f_{kj}) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi \Delta f T |H_0(f_p)|^2}{2[1+(p)^4]^{0.5}}, (a) \\ \frac{4 \Delta f T |H_0(f_p)|^2 [C^2(X) + S^2(X)]}{X^2}, (b) \\ \frac{K^2 |H_0(f_p)|^2 [C^2(Y) + S^2(Y)]}{Y^2}, (c) \\ \frac{K^2 |H_0(f_p)|^2 [C^2(Z) + S^2(Z)]}{2}, (d) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

where $C(V)$, $S(V)$ are the Frenel integrals; $V = \{X, Y, Z\}$; $X = \sqrt{2s_j} fT = 0.8 \Delta f / \Delta f_{kj} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} p = 0.8 p$;

$Y = \sqrt{2s_j} \Delta f / 2 \approx 0.8 \Delta f / \Delta f_{kj} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} p = 0.8 p$; $Z = T / \sqrt{2s_j} = 0.63 \Delta f_{kj} / \Delta f = \sqrt{\frac{\pi}{8}} \frac{1}{p} = \frac{0.63}{p}$; $K^2 = \Delta f / \varpi$, where ϖ

is the information transfer velocity, p is the radio channel's dispersion coefficient, that value equals to channel's passband divided channel's band of coherence.

For channel with weak dispersion ($p^2 \ll 1$), distributing Frenel integrals on small argument in Taylor series, we can get:

$$\begin{aligned} C^2(X) + S^2(X) &\approx X^2 + \pi^2 X^6 / 36 \approx X^2, \\ C^2(Y) + S^2(Y) &\approx Y^2, \end{aligned} \quad (4)$$

whence follows that power peak grows $P_1 \propto \Delta f$.

In the event of phase-coded signal argument Z in integral Frenelya it strives to infinity. At integrals have other asymptotic:

$$\begin{aligned} C(Z) &\approx 0.5 + (1/\pi Z) \sin(\pi Z / 2)^2 + \dots \approx 0.5, \\ S(Z) &\approx 0.5 + (1/\pi Z) \cos(\pi Z / 2)^2 + \dots \approx 0.5. \end{aligned} \quad (5)$$

Considering only first members of the decompositions, shall get, as in this case $P_1 \propto \Delta f$. However because of trigonometric function in integral (5) under monotonous change the band of the signal, peak power on band coherence will feel the fluctuations.

For dispersive channel $p^2 \gg 1$, i.e. when band of the channel exceeds the band когерентности, peak power of the signal decreases with growing of the band. Herewith for it is enough greater bands she in all events decreases as $(\Delta f)^{-1}$. Consequently, when increase the band of the complex signal peak power compressed signal has a maximum and possible speak of his(its) optimum band of the frequencies. The calculations show that for considered signal $\Delta f_{opt} = \{1; 1,25; 1,25; 0,63\} \Delta f_{kj}$.

Some differences of the optimum bands from band coherence is bound "breakup" for amplitudes radiated signal, but Gauss bending around LCHM signal brings about the known "smoothing" effect and results calculation for this event give the smoothed estimation.

If the coefficient of losses in permit to take the function $g(p) = 10 \lg(T_2/T_1)$, where $T_{1,2}$ is the duration of "compressed" signal when spreading in dispersed ambience and in ambience without dispersion then for smoothed estimations (Gauss LFM signal) of this factor we shall obtain the expression:

$$g(p) = 51 \lg \frac{4}{4+p^4}. \quad (6)$$

From the expression (6) it is seen that loss in permit outside the channel's band of coherence (with growing Δf) grow as $(\Delta f)^{-2}$. It is possible to show that herewith similar image grow and energy losses defined by coefficient $q = 10 \lg(P_1/P_2)$, where P_1 and P_2 are the power distorted and undistorted signals.

In that way on the base of the theoretical analysis of the spreading complex signal in dispersed radio link are definite sign their optimum bands. It is shown that in the case of excess by band of the signal of the band coherence SQ-channel energy losses compressed signal and loss in permit on group delay grows as $(\Delta f)^{-2}$.

РАДАРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ МАРСИАНСКИХ ПОЛЯРНЫХ ЩИТОВ: МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО РАДИАЦИОННОГО ПЕРЕНОСА

Я.А. Илюшин

Московский государственный университет, Москва
ilyushin@phys.msu.ru

DEEP RADAR SOUNDING OF THE MARTIAN POLAR SHEETS: NON-STATIONARY RADIATIVE TRANSFER MODEL

Ya.A. Pyushin

Проблема глубинного радиозондирования марсианских полярных щитов [1, 2] рассматривается с точки зрения некогерентной теории переноса излучения. Предложено несколько физических моделей полярных щитов. Получены асимптотические решения рассматриваемой задачи для всех предложенных моделей. Указаны методы определения физических параметров полярных щитов по результатам радиозондирования.

Современные модели строения марсианских полярных щитов [1] предполагают наличие в их толще слоев пыли метровой толщины, разделенных слоями льда толщиной 15–45 м и 80–120 м для северного полярного щита соответственно. При этих условиях можно считать, что рассеяние сверхширокополосного ЛЧМ-импульса на различных пыльных слоях происходит независимо друг от друга. В приближении непрерывной рассеивающей среды распространение импульса в толще полярного щита может быть описано системой уравнений нестационарной теории переноса излучения [3]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial I^+(J, \tau)}{\partial J} + \frac{\partial I^+(J, \tau)}{\partial \tau} &= -I^+(J, \tau) + \lambda I^-(J, \tau), \\ \frac{\partial I^-(J, \tau)}{\partial J} - \frac{\partial I^-(J, \tau)}{\partial \tau} &= -I^-(J, \tau) + \lambda I^+(J, \tau),\end{aligned}$$

где $d\tau = kdz$ – оптическая толщина; $dJ = kcdt$ – безразмерное нормированное время; z – глубина; k – коэффициент ослабления интенсивности излучения; λ – альbedo однократного рассеяния; I^\pm – интенсивности потоков излучения противоположных направлений. Для полубесконечной среды интенсивность отраженного излучения на больших временах равна

$$I(J, 0) = Ekc \frac{J^{-3/2}}{\sqrt{2\pi\lambda}} e^{-(1-\lambda)J},$$

где E – полная энергия излученного радаром ЛЧМ-импульса. Макроскопические параметры среды λ , k и c , связанные с физико-химическим составом и геометрической структурой ледяного щита, могут быть определены по наблюдаемому спаду интенсивности выходящего излучения со временем.

В работе проанализированы возможности оценки физико-химических и структурных параметров ледяного щита по данным радарного зондирования, а также определения наличия жидкой воды в основании щита по спаду интенсивности отраженного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pyushin Ya.A. Martian northern polar cap: layering and possible implications for radar sounding // Planet. and Space Sci. 2004. V. 52, N 13. P. 1195–1207.
2. Илюшин Я.А. Глубинное радиозондирование марсианских полярных отложений: моделирование и прогноз результатов // Тезисы Международной Байкальской конференции молодых ученых (БШФФ-2004) "Взаимодействие полей излучения с веществом". Иркутск, 2004. С. 25.
3. Нагирнер Д.И. Теория нестационарного переноса излучения // Астрофизика. 1974. Вып. 3. С. 445–469.

The problem of deep sounding of martian polar sheets [1, 2] is considered from the point of view of the incoherent radiative transfer theory. Several physical models of polar sheets are proposed. The asymptotical solutions of the posed problem are derived for all these polar sheet models. Methods of determination of the physical parameters of polar sheets are discussed.

Modern structural models of martian polar sheets [1] imply the presence of the dusty layers inside of them, embedded in the ice. Thickness of the icy layers, separating them, is 15–45 m and 80–120 m for north and south polar sheets, respectively. Under these conditions it can be assumed, that the dusty layers scatter the ultra wide band LFM pulse independently and incoherently. Within this approximation, propagation of UWB LFM pulse obeys the system of equations of non-stationary radiative transfer theory [3]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial I^+(J, \tau)}{\partial J} + \frac{\partial I^+(J, \tau)}{\partial \tau} &= -I^+(J, \tau) + \lambda I^-(J, \tau), \\ \frac{\partial I^-(J, \tau)}{\partial J} - \frac{\partial I^-(J, \tau)}{\partial \tau} &= -I^-(J, \tau) + \lambda I^+(J, \tau),\end{aligned}$$

where $d\tau = kdz$ is the optical thickness; $dJ = kcdt$ – normalized dimensionless time; z – depth; k – volume extinction coefficient; λ – single scattering albedo; I^\pm – intensities of radiation fluxes going in the opposite directions. For semi-infinite medium, the intensity of outgoing radiation is

$$I(J, 0) = Ekc \frac{J^{-3/2}}{\sqrt{2\pi\lambda}} e^{-(1-\lambda)J},$$

where E is the total radiated energy of LFM pulse. Macroscopic parameters of the medium λ , k and c , connected with physical and chemical composition and geometrical structure of the ice sheet, can be retrieved from the observed temporal decrease of the outgoing radiation.

In the present paper the possibilities of retrieval of physical, chemical and structure parameters of the ice sheet from the radar sounding data are discussed. The problem of detection of liquid water at the base of polar sheet (basal melting) is solved.

РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЕ КОМЕТНОГО ЯДРА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМЕТНОЙ КОРЫ

Я.А. Илюшин

Московский государственный университет, Москва
ilyushin@phys.msu.ru

RADIO TRANSMISSION DIAGNOSTICS OF THE COMETARY NUCLEUS: DETERMINATION OF THE COMETARY CRUST PARAMETERS

Ya.A. Ilyushin

В работе исследуется возможность определения структуры приповерхностного слоя кометного ядра по данным бистатического радарного зондирования. Анализ проблемы на качественном уровне на основе скалярного волнового уравнения был проведен в работе [1, 2]. В данной работе дается строгое решение задачи на основе векторных уравнений электромагнитного поля [3].

По современным представлениям, поверхностный слой кометного ядра является сложным образованием, физико-химические и электрические свойства которого определяются целым рядом физико-химических процессов, протекающих в нем. В данной работе на основе векторных уравнений теории электромагнитных волн проведен анализ распространения радиоимпульсов в идеализированной модели кометного ядра с двухслойной структурой типа «ядро–мантия». Определены возможные подходы к интерпретации данных эксперимента CONSERT-ROSETTA по радиопросвечиванию ядра кометы 67/P Чурюмова-Герасименко, в частности, определению диэлектрических параметров кометной коры. Выводы настоящей работы в основном совпадают с результатами ранее проведенного исследования на основе скалярного волнового уравнения [1, 2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ilyushin Y.A., Hagfors T., Kunitsyn V.E. Cometary surface layer properties: Possible approaches to radio sounding retrieval during the CONSERT experiment-Numerical simulation and discussion // Radio Science, V. 38, N 1 P. 1008. doi 10.1029/2001RS002487 February 2003
2. Илюшин Я.А. Определение структуры приповерхностного слоя кометы 46/P-Wirtanen по данным радиопросвечивания (эксперимент CONSERT-ROSETTA): численное моделирование. Тезисы докладов VI Сессии молодых ученых Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике БШФФ-2003. Иркутск, Россия, 15–20 сентября 2003.
3. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 664 с.

The possibility of retrieval of the parameters of the cometary crust from the bistatic radio transmission data is investigated in the present work. Semi-qualitative analysis of the problem has been performed in the previous papers [1, 2]. Here the strict vectorial treatment of the problem is presented.

According to the modern state of knowledge, the topmost surface layer of the cometary nucleus is a very complicated structure, physical and chemical properties of which are dominated by a number of complex physical and chemical processes, taking place in it. In the present work, the propagation of the ultra wide band chirp radar pulse in the idealized layered spherical model of the cometary nucleus is analysed on the basis of strict equations of electromagnetic field [3]. Possible approaches to the interpretation of the radio transmission data of the CONSERT-ROSETTA experiment with the nucleus of the 67/P Churyumov-Gerasimenko comet [1]. In particular, the ability of determination of dielectric parameters of the cometary crust is shown. Basic results of present investigation agree with the results of earlier scalar treatment of this task [1, 2].

ДВУХПОЗИЦИОННАЯ КВ ДИАГНОСТИКА ПИВ НАД АНТАРКТИЧЕСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ

В.Г. Галушко, А.С. Кашеев, А.В. Колосков, И.И. Пикулик, Ю.М. Ямпольский

Радиоастрономический институт НАН Украины, anton_k@ian.kharkov.ua

Исследование перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) представляет большой интерес для расширения знаний о физических процессах в верхней атмосфере. Это обусловлено тем, что ПИВ, которые

представляют собой квазипериодические возмущения электронной концентрации ионосферы, являются следствием распространения в ней атмосферно-гравитационных волн (АГХ), которые, в свою очередь, играют важную роль в энергетическом обмене и взаимодействии различных областей верхней атмосферы. Кроме того, ПИВ являются своеобразным индикатором генерируемых АГВ процессов как естественного, так и искусственного происхождения. Исследования ПИВ в высокоширотной атмосфере в районе Антарктического полуострова представляют большой интерес по ряду причин: 1) полярная ионосфера посредством геомагнитного поля связана с внешней магнитосферой и ближним космосом; 2) район Антарктического полуострова характеризуется повышенной циклонической активностью; 3) в отличие от северного заполярья, где исследования в этой области ведутся достаточно интенсивно, в Антарктиде они единичны. Известно несколько различных дистанционных методов исследования параметров ПИВ, таких как радары некогерентного рассеяния, доплеровские радары, спутниковые измерители полного содержания электронной концентрации и т.д. Но наиболее перспективным является метод двухпозиционного коротковолнового частотно-углового зондирования ионосферы (ЧУЗИ), основанный на измерении доплеровского смещения частоты и углов прихода коротковолновых сигналов неспециальной формы (например, сигналов ширококвещательных станций) и разработанный в Радиоастрономическом институте НАН Украины. В 2002 г. комплекс ЧУЗИ был установлен на украинской антарктической станции «Академик Вернадский». Но в связи с отсутствием вблизи станции ширококвещательных передатчиков, и как следствие, использованием трасс большой протяженности, характеристики ПИВ восстанавливались довольно далеко от района повышенной циклонической активности. Поэтому был создан специальный передатчик малой мощности, который был установлен летом 2004 г. на польской антарктической станции «Генрих Арктовский». Длина радиотрассы составила порядка 440 км. Всего было проведено более 1000 часов наблюдений, из которых примерно в 15 % случаев регистрировались ПИВ. Определены наиболее вероятные времена появления ПИВ, а также восстановлены их характерные параметры, такие как направление и скорость движения, период и амплитуда.

BISTATIC DIAGNOSTIC OF TID OVER THE ANTARCTIC PENINSULA

V.G. Galushko, A.S. Kashcheyev, A.V. Koloskov, I.I. Pikulik, Y.M. Yampolsky

Institute of Radio Astronomy NAN of Ukraine, anton_k@rian.kharkov.ua

Investigations of traveling ionospheric disturbances (TID) are of considerable importance for enhancing our knowledge of physical processes in the upper atmosphere. The reason is that the TIDs, representing quasiperiodic disturbances in the electron density of the ionosphere, are an implication of atmospheric gravity waves (AGW) that play an important role in the energy exchange between different parts of the upper atmosphere. In addition, TID are kind of an indicator of the various processes responsible for AGW generation, both of natural and artificial origin. The three reasons why investigations of TID in Antarctica are of great interest: 1) the polar ionosphere is coupled to the outer magnetosphere and near space through the geomagnetic field; 2) the Antarctic peninsula region is known for its high cyclonic activity; 3) in contrast to the Northern polar region which allocates a great number of diagnostic means, there are only a few such facilities in Antarctica. Compared with the traditional methods of TID parameter reconstruction like incoherent scatter radars, Doppler radars and satellite instruments for total electron content measurements, bistatic frequency-and-angular sounding at HF (FASTID) is more perspective and cost effective. It is based on estimating the Doppler frequency shift and angles of arrival of non-special probe signals (e.g. broadcast station signals). The method was developed in the Institute of Radio Astronomy NAS of Ukraine and FASTID complex was installed at the Ukrainian Antarctic station “Academician Vernadsky” in 2002. But because of the absence of broadcast stations near the station, the site for TID parameter reconstruction was located far from the place of our interest. Therefore in the summer of 2004 a special low-power transmitter was installed at the Polish Antarctic station “Henryk Arctowsky”. Thus the length of the radio path was about 440 km. More than 1000 hours of observations were made from which TID were registered in about 15 % of cases. The most probable periods of appearance of TID were determined and TID parameters like velocity, direction, period and amplitude were reconstructed.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИОНОГРАММ КАМЧАТСКОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ 7–11 НОЯБРЯ 2004 г.

Ким А.Г., ¹Котович Г.В., ¹Грозов В.П., ²Бычков В.В., ²Шумейко А.В.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск;

²Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
kim_anton@mail.ru

**APPLICATION OF CONTEMPORARY TECHNOLOGIES FOR KAMCHATKA'S AIS
IONOGRAMM PROCESSING. OBSERVATION RESULTS FOR THE NOVEMBER 7–11, 2004**

¹Kim A.G., ¹Kotovitch G.V., ¹Grozov V.P., ²Bytchkov V.V., ²Shumeiko A.V.

Наблюдения за ионосферой необходимы как для исследовательских научных задач, так и для практических целей. Для получения сведений о состоянии ионосферы в конкретные моменты времени широко применяются различные ионосферные станции (автоматические ионосферные станции (АИС), ЛЧМ-ионозонды, дигизонды и т.п.). И, если способы регистрации ионограмм ионосферными станциями могут отличаться, то способы обработки, интерпретации ионограмм могут быть, как правило, описаны общими правилами и руководствами [1]. Логичным в такой ситуации является создание единого универсального программного аппарата для интерпретации ионограмм и применение его независимо от типа ионосферных станций.

В качестве такого аппарата предлагается SAO-Explorer, входящий в комплект цифрового ионозонда (дигизонда) DPS-4. Он позволяет проводить полную обработку ионограмм вертикального зондирования (ВЗ) ионосферы, а также получать прогнозные значения и рассчитывать профиль электронной концентрации с использованием международной справочной модели ионосферы IRI [2]. Единственная техническая трудность, которая встает на этом пути, – это приведение формата ионограмм, полученных с помощью не дигизонда, а например на АИС, в формат, понятный SAO-Explorer. Это решается путем переформатирования данных в формат ионограмм дигизонда.

Работа показала на примере АИС, что переформатирование данных в формат SAO-Explorer и их последующая обработка значительно облегчают и ускоряют процесс интерпретации ионограмм ВЗ. Таким способом были обработаны ионограммы, полученные камчатской АИС в период сильной магнитной бури 7–11 ноября 2004 г.

Станция расположена в восточном регионе России в средних широтах (53.10° N, 158.63° E). Суточный ход критических частот и высот максимума ионизации свидетельствует о нарушении свойств ионосферы, которые присущи среднеширотной ионосфере. Наблюдаются существенные отклонения критических частот в период возмущения от медианы. За медиану принималась зависимость, полученная по модели IRI для среднемесячного индекса F10.7. В период наблюдений магнитная буря породила отрицательное ионосферное возмущение, проявление которого заметно ухудшило структуру ионосферы по всему региону. Это наблюдалось и на других станциях ВЗ (Иркутск, Якутск, Норильск, Жиганск).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №03-05-64527) с использованием данных центра коллективного пользования ВСЦИИЗ и в рамках гранта №НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Piggott W.R., Rawer K., U.R.S.I. Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction. World Data Center A. Report UAG – 23A. 1978.
2. Bilitza D. The International Reference Ionosphere. National Science Data Center. NSSDC/WDC-A S Report. S. 90-22, 1990.

Ionospheric observations are necessary as for research scientific problems as for practical purposes. Different ionospheric stations (AIS, Chirp-ionosondes, digisondes) are used widely for obtaining of information about ionosphere condition at the concrete time moments. The methods of ionogram registration of ionospheric stations can be distinguished, but ionogram processing and interpretation methods can be generally described by common regulations and manuals [1]. Creation of unified universal program apparatus for interpretation of ionograms and application it independently from ionospheric stations type is logical in such situation.

“SAO-Explorer” included in digital ionosonde (digisonde) DPS-4 set is suggested as such apparatus. It allows carrying out complete processing of ionosphere vertical sounding (VS) ionograms, to obtain prediction meanings and to calculate electron density profile using International Reference Ionosphere IRI model [2] also. The only appeared technical difficulty is reduction of format of ionograms obtained using not digisonde but AIS for example to format understandable for “SAO-Explorer”. It is solved by data reformatting to format of digisonde ionograms.

This work demonstrated with an example of automatical ionospheric station (AIS) that data reformatting to “SAO-Explorer” format and further processing of them noticeably lighten and accelerate process of interpretation of VS ionograms. Ionograms obtained by the Kamchatka's AIS during the period of intense magnetic storm of the November 7-11, 2005 were processed.

The station is located at the eastern part of Russia at mid-latitudes (53.10° N, 158.63° E). Diurnal variations of critical frequencies and heights of ionization maximum are evidence of ionospheric characteristics disturbance which are peculiar to mid-latitude ionosphere. Significant deviations of critical frequencies during disturbance from median are observed. As median it was accepted dependence obtained using IRI model for average monthly index F_{10.7}. At the observation period magnetic storm caused negative ionospheric disturbance made worse ionospheric structure of the entire region. It was observed at other VS stations (Irkutsk, Yakutsk, Norilsk, Zhigansk) also.

This work was supported by the Foundation for State Support of Leading Scientific School of the Russian Federation (grant №Sh – 272.2003.5) and RFBR (grant №03-05-64527).

СТРУКТУРА СОБСТВЕННЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ КОЛЕБАНИЙ С $m \gg 1$ В ДИПОЛЬНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМОЙ

Д.А. Козлов, А.С. Леонович

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
kozlov_da@pochta.ru

THE STRUCTURE OF ALFVÉN OSCILLATIONS OF A DIPOLE MAGNETOSPHERE WITH ROTATING PLASMA

D.A. Kozlov, A.S. Leonovich

В большинстве работ, посвященных изучению МГД-колебаний магнитосферы Земли, использовались модели среды, в которых плазма как внутри магнитосферы, так и в области солнечного ветра, предполагалась покоящейся. Реальная магнитосфера представляет собой динамически равновесную плазменную конфигурацию. Другими словами, движение является неотъемлемым свойством магнитосферной плазмы. Это обстоятельство, несомненно, играет важную роль в формировании структуры и спектра собственных МГД-колебаний магнитосферы.

В работе проведено теоретическое исследование спектра и полной пространственной структуры стоячих альфвеновских волн в дипольной магнитосфере с движущейся плазмой. Движение плазмы моделируется ее азимутальным вращением. Такая модель позволяет описать переход от внутренней плазмосферы через плазмопаузу к внешней магнитосфере с конвектирующей плазмой и далее через магнитопаузу к движущейся плазме солнечного ветра.

Получено уравнение, описывающее структуру стоячих альфвеновских волн с большими азимутальными волновыми числами $m \gg 1$. С помощью метода разных масштабов данное двумерно-неоднородное уравнение сводится к последовательному решению двух одномерных задач – продольной (описывает структуру стоячих альфвеновских волн вдоль силовых линий) и поперечной (описывает структуру альфвеновских колебаний поперек магнитных оболочек).

При рассмотрении продольной задачи проанализированы особенности альфвеновских колебаний с тороидальной и полоидальной поляризацией в магнитосфере с вращающейся плазмой. Решения продольного уравнения найдены как в ВКБ-приближении, так и численно. Построены спектры нескольких первых гармоник полоидальных и тороидальных стоячих альфвеновских волн при различных значениях m . Показано, что во вращающейся плазме происходит дополнительное расщепление спектра собственных альфвеновских колебаний. На каждой магнитной оболочке различаются собственные частоты не только тороидальных и полоидальных колебаний, но и частоты полоидальных колебаний с различными m . Исследована величина поляризационного расщепления спектра – разности собственных тороидальной и полоидальной частот. Показано, что основная гармоника ($N = 1$) обладает уникально большим значением поляризационного расщепления.

Получены уравнения, описывающие поперечную структуру стоячих альфвеновских волн в магнитосфере с вращающейся плазмой вблизи полоидальной и тороидальной резонансных поверхностей. Построено модельное уравнение, которое позволяет определить поперечную структуру рассматриваемых альфвеновских колебаний не только вблизи резонансных поверхностей, но и во всей области их существования. Получено аналитическое решение этого уравнения. Проведен сравнительный анализ поперечной структуры колебаний, возбуждаемых в различных областях магнитосферы ионосферными сторонними токами одинаковой интенсивности.

Показано, что поперечная структура стоячих альфвеновских волн очень похожа на структуру многополосных полярных сияний. Характерная поперечная длина волны таких колебаний в проекции на ионосферу совпадает с характерным размером отдельной полосы сияний. Количество наблюдаемых полос также соответствует количеству максимумов амплитуды колебаний. Наличие продольной компоненты электрического поля этих колебаний способствует усилению высыпаний заряженных частиц, которые могут проявляться в ионосфере в виде сияний.

Most of the papers studying MHD-oscillations of Earth's magnetosphere employ models of a magnetosphere in which plasma is in rest both inside the magnetosphere and in the solar wind. The real magnetosphere is a plasma configuration in dynamical equilibrium, so the motion is a main characteristic of magnetospheric plasma, which badly affects on the structure and the spectrum of eigen MHD-oscillations of a magnetosphere.

Theoretical investigation of the spectrum and the spatial structure of standing Alfvén waves in a dipole magnetosphere with moving plasma is carried out. The plasma motion is modelled by its azimuthal rotation. The equation describing the structure of azimuthally small-scaled standing Alfvén waves is derived. By using the method of different scales this equation is reduced to the two equations that describe the structure of Alfvén oscillations along magnetic field lines and across magnetic shells.

The features of Alfvén oscillations with the poloidal and toroidal polarization have been analysed in solving a longitudinal equations. Solutions of these equations are found both in WKB-approximation and numerically. The special attention is paid to polarized splitting of the spectrum – differences between the eigen-frequencies of toroidal

and poloidal Alfvén oscillations. It is shown that in the magnetosphere with moving plasma, in contrast to the models where plasma is in rest, an additional spectrum splitting of poloidal Alfvén oscillations with the different values of azimuthal wave number appears.

The equations describing transversal structure of standing Alfvén waves in a dipole magnetosphere with rotating plasma near the poloidal and toroidal resonant shells is derived. The model equation which determines the structure of Alfvén oscillations is deduced. An analytical solution of the equation is found. Comparative analysis of the transversal structure of the oscillations driven by ionospheric currents of the same intensity in different regions of magnetosphere is made.

It is shown that the structure of standing Alfvén waves across magnetic shells is similar to the structure of discrete auroral arcs. The typical transversal wavelength of the oscillations in projection to the ionosphere is equal to the typical size of the single auroral arc. The number of observable arcs corresponds to the number of oscillation magnitude maxima across magnetic shells. The longitudinal component of an electric field in these oscillations provides structuring of the charged particle precipitation.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ С КРАТНЫМИ ЧАСТОТАМИ ПРИ КНЧ-МОДУЛЯЦИИ ВЧ-СИГНАЛОВ

А.А. Колмаков

Сибирский физико-технический институт, Томск
kolmakov@elefot.tsu.ru

THE RESEARCH OF OCCURRENCE OF SIGNALS WITH MULTIPLE FREQUENCIES BY ELF MODULATION OF HF SIGNALS

A.A. Kolmakov

При проведении экспериментальных исследований было установлено, что при ионосферном распространении ВЧ-сигналов различных радиовещательных станций в ряде случаев в огибающих этих сигналов появляются четко выраженные составляющие КНЧ-диапазона [1]. Это явление было названо КНЧ-модуляцией ВЧ-сигналов. Характерным типом модулирующих сигналов являются сигналы с кратными частотами.

Несмотря на то, что международными нормативными актами запрещено излучение радиовещательными ВЧ-станциями сигналов, содержащих в спектре составляющие КНЧ-диапазона, полностью исключить эту возможность, по-видимому, нельзя. Известно, что мощная радиоволна, проходя сквозь ионосферную плазму, будет претерпевать самовоздействие. В частности, у модулированной волны будут изменяться амплитуда и фаза модулирующих гармоник, будут появляться сигналы с частотами, кратными основной модулирующей частоте.

Решение методом малых возмущений волнового нелинейного уравнения (1) с граничным условием (2) в приближении геометрической оптики для случая наклонного падения модулированной ВЧ-радиоволны с вектором поляризации, ортогональным плоскости распространения в декартовой прямоугольной системе координат (ось z совпадает с нормалью к слою, волновая нормаль лежит в плоскости yz) позволяет определить напряженность поля в глубине плазмы, а после этого определить величину коэффициента нелинейных искажений (3).

$$\Delta \vec{E} - \text{grad} \text{ div} \vec{E} + \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon'(\omega, \vec{r}, E_0(\vec{r})) \vec{E} = 0. \quad (1)$$

Здесь c – скорость света; ε' – комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы; ω – циклическая частота ВЧ-радиоволны.

Поле на границе плазмы представляется в виде:

$$E|_{z=0} = E_0 [1 + \mu_0 \cos \Omega t] \exp \left(-i \frac{\omega}{c} (\sin \theta_0 y + \cos \theta_0 z) \right). \quad (2)$$

Здесь θ_0 – угол падения волны, μ_0 – глубина модуляции, Ω – модулирующая частота.

Эффективность взаимодействия волны с плазмой (для случая ВЧ-волн, когда $v_{e0} \ll \omega$) будет определяться коэффициентом нелинейных искажений:

$$q = \left[\frac{E_0}{E_p} \right]^2 \frac{1}{n_0 \cos \theta} \left[\frac{T_{e0}}{2v_{e0}} \left(\frac{dv_e}{dT_e} \right)_{T_{e0}} + \frac{\gamma_1}{2} \right] \left(1 - \exp \left(-2 \frac{\omega}{c} \int_0^{z_0} \chi_0(z) \cos \theta(z) dz \right) \right). \quad (3)$$

Здесь E_p – плазменное поле [2], v_{e0} – невозмущенная (при отсутствии нагрева) эффективная частота соударений электронов, E_0 – средняя доля теряемой электроном энергии при одном соударении, γ_1 – коэффициент сдвига ионизационного равновесия (коэффициент пропорциональности между изменением концентрации и изменением температуры), T_{e0} – невозмущенная температура электронов, T_e – температура электронов в поле волны, n_0 – коэффициент преломления, χ_0 – коэффициент поглощения.

При $\theta = 0$ – имеем случай, полностью совпадающий с нормальным падением волны на слой [2], что свидетельствует о непротиворечивости полученного решения известному. Следует отметить, что данная модель имеет ограниченное применение. Вблизи точки отражения волны ($\theta = \pi/2$), данная модель оказывается неприменимой в силу того, что в выражении (3) возникает неопределенность типа $(0/0)$.

Первоначально в расчетах определялась траектория распространения радиоволны с учетом преломления. Затем определялось воздействие радиоволны на плазму – вычислялся нагрев электронов в поле волны вдоль пути распространения. На следующем этапе рассчитывалось изменение эффективной частоты соударений электронов в плазме, возникающее в результате нагрева. В заключение определялась величина нелинейных искажений, вносимых в сигнал.

Учитывая, что максимальные нелинейные искажения возникают на первом скачке при входе волны в плазму, для 1995 г. в рамках данного приближения были определены значения q для различных радиостанций [1]. При увеличении угла падения наблюдается эффект инверсии суточного хода коэффициента нелинейных искажений q . Для передающей станции, находящейся в Лондоне, с несущей частотой $f = 15070$ кГц проведены расчеты суточного хода коэффициента нелинейных искажений q .

Проведенная оценка влияния нелинейности нагревного типа на возникновение кратных гармоник в модулирующих КНЧ-сигналах позволила установить, что наблюдаемая картина качественно меняется в зависимости от угла падения радиоволны на плазму, рассчитанный суточный ход обладает рядом серьезных отличий от хода, полученного при проведении измерений. Это в свою очередь опровергает принятые предположения и является косвенным доказательством того, что в спектре излученного ВЧ-сигнала КНЧ-гармоники отсутствуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А., Шинкевич Б.М. Анализ данных многолетнего мониторинга электромагнитных полей // Изв. ВУЗов. Физика. 2000. № 1. С. 96–98.
2. Гуревич А.В., Шварцбург А.Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. М.: Наука, 1973. 272 с.

Within the framework of research of the phenomenon ELF-modulation of HF-signals occurrence is considered by ionospheric propagation of HF-signals of modulating ELF-signals with multiple frequencies.

The estimation of influence of heating-nonlinearity on occurrence of multiple harmonics at modulating ELF-signals is carried out. In work to be carried out comparison of results of mathematical modeling with the experimental data. It is established, that the daily course of factor of nonlinear distortions qualitatively varies depending on the angle of falling of a radio waves on plasma. It is shown, that the designed daily course possesses a line of serious differences from experimental data.

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ЭМИССИИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ 630 НМ В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Н.В. Костылева

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

По результатам наблюдений собственного свечения верхней атмосферы исследуется сезонный ход эмиссии верхней атмосферы в линии атомарного кислорода на длине волны 630 нм (OI) в регионе Восточной Сибири (52° N, 103° E). Построен средний ночной ход интенсивности эмиссии 630 нм для каждого месяца. Полученные данные сравниваются с сезонными вариациями эмиссии 630 нм, полученными в прошлые годы на других среднеширотных станциях.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ F2 ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ТОМСКОЙ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ ЗА ПЕРИОД 1936–2003 г.

С.М. Костюкевич, Б.Б. Цыбиков

Томский государственный университет, Томск
bair@elefot.tsu.ru

LONG-TERM VARIATIONS OF PARAMETERS OF LAYER F2 OF THE IONOSPHERE ACCORDING TO TOMSK IONOSPHERIC STATIONS FOR THE PERIOD 1936–2003

S.M. Kostjukevich, B.B. Tsybikov

В последнее время проявляется большой интерес к исследованиям долгопериодных вариаций (трендов) параметров верхней атмосферы Земли, связанных с широко обсуждаемой проблемой глобального изменения климата Земли. В связи с этим в ионосферных исследованиях возникло новое направление, целью которого является анализ рядов данных вертикального зондирования ионосферы на предмет выявления устойчивых тенденций роста или, наоборот, уменьшения анализируемых характеристик ионосферной плазмы. Поведение

этих характеристик связывают с общим ростом температуры на высотах термосферы и в приземных слоях атмосферы, приводящим к изменению химического состава верхней атмосферы. Тем не менее, вопрос о возможности использования параметров верхней атмосферы, в частности, критических частот различных слоев ионосферы Земли как одного из возможных индикаторов последствий глобального повышения температуры приземной атмосферы все еще остается открытым.

Высокая корреляция среднегодовых медианных значений критической частоты слоя F2 с уровнем солнечной активности (СА) указывает на необходимость учета солнечно-обусловленных вариаций критической частоты слоя F2 (f_0F2) при анализе трендов ионосферных параметров. Из литературы известны различные способы анализа трендов f_0F2 , однако основные выводы получены из рассмотрения медианных значений критической частоты слоя F2, полученных в полдень или усредненных за дневное время суток, что не позволяет отследить динамику изменения ионосферных параметров в целом. Поэтому представляет большой интерес анализ долгопериодных вариаций f_0F2 в зависимости от сезона и времени суток.

Для анализа долгопериодных вариаций f_0F2 использовались данные вертикального зондирования Томской ионосферной станции (ТИС) за период 1936–2003 гг. Для исключения влияния геомагнитной активности в вариациях критических частот слоя F2 рассчитывались месячные медианы для всех 15-минутных тактов зондирования (штатный режим работы ТИС – 15-минутный такт зондирования, число циклов зондирования в течение суток составляет 96). Для каждого временного отсчета, для каждого месяца соответственно находилась зависимость f_0F2 от уровня СА (W). Для исключения зависимости f_0F2 от уровня СА из рядов данных ионосферных параметров вычитался полином, аппроксимирующий зависимость f_0F2 от W . Для того чтобы оценить тенденцию роста или, наоборот, уменьшения f_0F2 , фильтрованный ряд подвергался линейному регрессионному анализу (линейный тренд), по углу наклона которого производилась оценка скорости изменения f_0F2 .

Получено, что в зависимости от сезона года и времени суток наблюдаются как положительные, так и отрицательные тренды, причем в полуденные часы тренды отрицательные, а в переходное время суток и вечерние часы положительные.

В зимние месяцы в утренние и дневные часы скорость изменения f_0F2 имеет отрицательные значения (отрицательный тренд), а в ночные часы положительные (положительный тренд).

В период весеннего равноденствия в переходное время суток более ярко (по сравнению с осенью) выражены положительные тренды, а скорости изменения f_0F2 по своему абсолютному значению превышают осенние примерно в два–три раза.

Летом зависимость скорости изменения f_0F2 от времени суток подобна зимним условиям, скорости отличаются на небольшие величины по своему абсолютному значению.

В целом для всех сезонов года в полуденные часы наблюдаются различные по абсолютной величине отрицательные скорости изменения f_0F2 , причем величины отрицательных скоростей изменения f_0F2 по абсолютному значению примерно в шесть раз превышают положительные и составляют ~ 20–25 кГц в год.

Recently the big interest to researches long-term variations (trends) of parameters of the top atmosphere of the Earth, connected with widely discussed problem of global change of a climate of the Earth is shown. In this connection in ionospheric researches there was a new direction which purpose is the analysis of numbers of data of vertical sounding of an ionosphere for revealing steady tendencies of growth or on the contrary, reduction of analyzed characteristics of ionosphere. Ionospheric plasmas connect the given behaviour of characteristics with the general growth of temperature at ground layers of the atmosphere, leading change of a chemical compound of the top atmosphere. Nevertheless, a question on an opportunity of use of parameters of the top atmosphere, in particular critical frequencies of various layers of an ionosphere of the Earth as one of possible indicators of consequences of global rise in temperature of a ground atmosphere still remains opened.

High correlation mid-annual medians values of critical frequency of layer F2 with a level of solar activity (SA) specifies necessity of the account of the sun-caused variations of critical frequency of layer F2 (f_0F2). From the literature various ways of the analysis of trends f_0F2 are known, however the basic conclusions are received from consideration of medians values of critical frequency of layer F2, received in midday or the day average for day time that does not allow to trace dynamics of change ionospheric parameters as a whole. The big interest represents the analysis long-term variations f_0F2 from a season of year and time of day.

For the analysis long-term variations f_0F2 data of vertical sounding Tomsk ionospheric stations (TIS) for the period 1936–2003 were used. For exception of influence of geomagnetic activity in variations of critical frequencies of layer F2 monthly medians for all 15-minutes steps of sounding (a regular operating mode the TIS – 15-minutes step of sounding, the number of cycles of sounding within one day makes 96) paid off. For each time report, for each month accordingly there was a dependence f_0F2 from a level of solar activity (W). For exception of dependence f_0F2 from level SA from numbers given ionospheric parameters the polynom approximating dependence f_0F2 from W was subtracted. To estimate the tendency of growth or on the contrary, reduction f_0F2 the filtered number was exposed linear regression to the analysis (a linear trend) on which corner of an inclination the estimation of speed of change f_0F2 was made.

It is received, that depending on a season of year and time of day trends negative, and during transitive time of day and evening hours positive are observed both positive and negative trends, and at midday o'clock. In winter months in morning and a day time speed of change f_0F2 for night hours has negative values (a negative trend), and

at night positive (a positive trend). During a spring equinox during transitive time of day more brightly (in comparison with an autumn) are expressed positive trends, and speeds of change f_0F2 on the absolute value exceed autumn in 2–3 times. In the summer behaviour of speed of change f_0F2 from time of day similarly to winter conditions, differing thus on small sizes on the absolute value.

As a whole for all seasons of year at midday o'clock negative speeds of change f_0F2 are observed various on absolute size, and sizes of negative speeds of change f_0F2 on absolute value in 6 times exceed positive and make 20–25 kHz in a year.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОИОННОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ ЛУЧЕЙ НА ДАЛЬНИХ КВ-РАДИОЛИНИЯХ

В.А. Иванов, Д.В. Иванов, М.П. Лаптев

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл
vai@marstu.mari.ru

Известно, что на декаметровых радиолониях большой протяженности магнитоионные компоненты нижних лучей не разрешаются даже современными ЛЧМ-ионозондами из-за малой задержки между ними. Очевидно, что при определенных условиях разделение интерферирующих магнитоионных лучей возможно с применением метода кепстрального анализа.

Целью работы является теоретическое обоснование возможности применения кепстрального анализа к разделению магнитоионных компонент лучей при наклонном зондировании ионосферы непрерывным сигналом с линейной частотной модуляцией, разработка алгоритмов и программного обеспечения для реализации данного метода и апробация разработанного радиофизического метода в натуральных экспериментах.

Математическое моделирование

Общее выражение для ЛЧМ-сигнала, излучаемого передатчиком ионозонда, может быть представлено в виде:

$$a_T(t) = a_0 \cos\left(2\pi\left(f_H t + 0,5 \dot{f} t^2\right) + \varphi_1\right), \quad (1)$$

где $f = f_H + \dot{f}t$ – текущая частота; $f \in [f_H, f_K]$, где f_H и f_K – начальная и конечная частоты излучаемого сигнала соответственно; $\dot{f} = df/dt$ – скорость изменения частоты, φ_1 – начальная фаза сигнала.

После распространения диагностирующего ЛЧМ-сигнала (1) в ионосферном стационарном радиоканале ($\tau_{\phi}(t) = \text{const}$) принимаемый ЛЧМ-сигнал, попадая в приемник, обрабатывается методом сжатия в частотной области.

Низкочастотный сигнал $A(t)$ разностной частоты, выделяемый ФНЧ, можно записать в виде:

$$A(t) = \sum_{j=1}^m \frac{|H_j(f)| a_0^2}{2} \cos(\varphi_{Rj} - \varphi_{Tj}) = \sum_{j=1}^m \frac{|H_j(f)| a_0^2}{2} \cos\left(2\pi\left(f_H \tau_{\phi_j} - 0,5 \dot{f} \tau_{\phi_j}^2 + \dot{f} \tau_{\phi_j} t\right) + \Delta\varphi\right), \quad (2)$$

где $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

Сигнал разностной частоты для j -ой моды передаваемого ЛЧМ-сигнала может быть записан без учета начальной фазы в виде:

$$A_j(t) = H_j \cos(2\pi \dot{f} \tau_j t) \quad (3)$$

В случае магнитоионного расщепления сигнал представляет из себя сумму двух компонент, обыкновенной и необыкновенной (ordinary and extraordinary). Тогда в точке приема будет получен сигнал:

$$A(t) = H_0 \cos(2\pi \dot{f} \tau_0 t) + H_x \cos(2\pi \dot{f} \tau_x t) \quad (4)$$

Модуль спектра суммы магнитоионных компонент можно вычислить по формуле:

$$\begin{aligned} |S_0 + S_x|^2 &= \left| r_0 e^{i\phi_0} + r_x e^{i\phi_x} \right|^2 = r_0^2 + r_x^2 + 2r_0 r_x \cos(\phi_0 - \phi_x) = \\ &= \left(T_3 \sin c\left(\left(\omega_{0,x} - \omega\right) \frac{T_3}{2}\right) \right)^2 \left(H_0^2 + H_x^2 + 2H_0 H_x \cos(\Delta\omega(t_H + \frac{T_3}{2})) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

где $\Delta\omega = 2\pi\Delta f = 2\pi\dot{f}\Delta\tau_{cp}$, а $\Delta\tau_{cp} = \tau_{zpo} - \tau_{zpx}$ – задержка между магнитоионными компонентами;

$\omega_0 \approx \omega_x = \omega_{0,x}$, т.е. задержки магнитоионных компонент близки.

Видно, что квадрат спектральной плотности суммы разностных сигналов магнитоионных компонент имеет пик на частоте $\omega_{0,x}$, а его амплитуда подвержена гармоническим колебаниям, частота которых зависит от задержки между магнитоионными компонентами, а амплитуда – от соотношения их амплитуд.

Кепстр разностного сигнала можно записать в следующем виде:

$$C(q) = \int_{f_n}^{f_n+f_3} \ln |S(f)|^2 \exp(i2\pi f q) df = (2 \ln(T_3) + \ln(H_o^2 + H_x^2)) \exp(i2\pi q(f_n + \frac{f_3}{2})) f_3 \sin c(2\pi q \frac{f_3}{2}) +$$

$$+ \left(\frac{H_o H_x}{2(H_o^2 + H_x^2)} \right)^2 \exp(-i2\pi \Delta\tau_{cp} \Delta f) \exp(i2\pi(q - 2\Delta\tau_{cp})(f_n + \frac{f_3}{2})). \quad (9)$$

$$\cdot \frac{f_3}{2} \sin c(2\pi(q - 2\Delta\tau_{cp}) \frac{f_3}{2}) + 2 \exp(i2\pi(f_n + \frac{f_3}{2})) f_3 \sin c(2\pi q) \frac{f_3}{2} + \dots$$

Видно, что за задержку отвечает второе слагаемое в кепстре, имеющее максимум на частоте $q = \Delta\tau$. Амплитуда этого слагаемого зависит от величины отношения произведения к сумме квадратов амплитуд магнитоионных компонент. Поэтому данная частота отсутствует, если на приеме отсутствует хотя бы одна компонента.

При решении задачи определения задержек между магнитоионными компонентами важно уметь оценивать уровень пиков на частотах, соответствующих искомым задержкам. Кроме того, для получения оценок энергии обыкновенного и необыкновенного лучей нужно знать их амплитуды. Из анализа предложенной модели можно сделать вывод, что отношение амплитуд магнитоионных компонент H_x / H_o влияет на уровень пиков кепстра. Была исследована зависимость амплитуды первого пика (на частоте, отличной от 0 мкс) от отношения амплитуд магнитоионных компонент.

Поскольку кепстральная обработка чувствительна к влиянию помех, было проведено исследование с целью определения границ применимости данного метода к решению задачи определения малых задержек. В результате моделирования был сделан следующий вывод: при отношении сигнал/шум, меньшем 30 дБ, полезные пики размываются шумом и кепстральная обработка становится затрудненной.

Натурный эксперимент и интерпретация полученных данных

Эксперименты по апробации алгоритма были проведены на двух радиолиниях широтного распространения (Хабаровск—Йошкар-Ола и Inskip—Йошкар-Ола). В начале были получены спектры мощности сигналов разностной частоты для анализируемых мод. При этом $2F2$ является первой принимаемой модой для трассы Хабаровск—Йошкар-Ола, а $1F2$ – первой для трассы Inskip—Йошкар-Ола. Кепстральной обработке подвергались нижние лучи, для которых магнитоионные компоненты не разрешались по задержке ионозондом с инструментальной разрешающей способностью, равной 24 мкс.

Анализ полученных кепстров показал, что для трассы Хабаровск—Йошкар-Ола задержка ИХ магнитоионных компонент на выделенных на ионограмме частотах составляла 3 мкс, для трассы Inskip—Йошкар-Ола – 2.15 мкс. Эти экспериментальные результаты согласуются с теоретическими оценками возможной задержки между магнитоионными компонентами для этих радиотрасс, полученными в численных экспериментах с использованием статистической модели ионосферы IRI.

Выводы

Теоретически обоснована возможность применения кепстрального анализа к разделению магнитоионных компонент мод распространения при наклонном зондировании ионосферы непрерывным сигналом с линейной частотной модуляцией.

Предложено применить метод кепстрального анализа к исследованию характеристик магнитоионных лучей в экспериментах по наклонному зондированию ионосферы на трассах большой протяженности. Метод показал, что на трассах протяженностью 2500–6000 км разность задержек между магнитоионными компонентами первой принимаемой моды составляет 2–3 мкс.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты: 04-05-65120, 05-07-90313).

RESEARCHING OF MAGNETOIONIC RAY SPLITTING ON LONG-RANGE HF RADIO CHANNELS

V.A. Ivanov, D.V. Ivanov, M.P. Laptev

It is well known that on long-range HF radio channels magnetoionic components of lower rays cannot be distinguished even by means of up-to-date chirps because delay is too short. Obviously that under determined condition division magnetoionic rays possible with using the method cepstral analysis.

The purpose of the work is the theoretical motivation for the possibility of the using cepstral analysis to division magnetoionic rays under tilted flexing the ionosphere by unceasing signal with linear frequency inflexion. The algorithms and software for realization given method are developed. Designed radiophysicis method are experimentally approved.

Mathematical modeling

The General expression for chirp signal, radiated by ionosounder transmitter, can be presented as

$$a_T(t) = a_0 \cos\left(2\pi\left(f_n t + 0,5 \dot{f} t^2\right) + \varphi_1\right), \quad (1)$$

where $f = f_H + \dot{f}t$ is a current frequency; $f \in [f_H, f_K]$, where f_H and f_K are initial and final frequency of the radiated signal accordingly; $\dot{f} = df/dt$ is a velocity of the change the frequency, φ_1 is initial phase of the signal.

After spreading diagnosing LCHM signal (1) in ionospheric stationary radio link ($\tau_\phi(t)=\text{const}$) taken LCHM signal, falling into receiver, is processed by method of the compression in frequency area.

Низкочастотный сигнал $A(t)$ разностной частоты, выделяемый ФНЧ, можно записать в виде:

LF signal $A(t)$ can be written as:

$$A(t) = \sum_{j=1}^m \frac{|H_j(f)| a_0^2}{2} \cos(\varphi_{Rj} - \varphi_{Tj}) = \sum_{j=1}^m \frac{|H_j(f)| a_0^2}{2} \cos\left(2\pi\left(f_H \tau_{\phi_j} - 0,5 \dot{f} \tau_{\phi_j}^2 + \dot{f} \tau_{\phi_j} t\right) + \Delta\varphi\right), \quad (2)$$

where $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

Signal for j modes sent chirp signal can be recorded disregarding initial phase in the manner of:

$$A_j(t) = H_j \cos(2\pi \dot{f} \tau_j t) \quad (3)$$

In the event of magnetoionic signal splitting presents from itself amount two components, ordinary and extraordinary. Then in point of the acceptance will is received signal:

$$A(t) = H_0 \cos(2\pi \dot{f} \tau_0 t) + H_x \cos(2\pi \dot{f} \tau_x t) \quad (4)$$

Module of the spectrum of the amount magnetoionic component can be calculated by the formula:

$$\begin{aligned} |S_0 + S_x|^2 &= |r_0 e^{i\phi_0} + r_x e^{i\phi_x}|^2 = r_0^2 + r_x^2 + 2r_0 r_x \cos(\phi_0 - \phi_x) = \\ &= (T_3 \sin c((\omega_{0,x} - \omega) \frac{T_3}{2}))^2 (H_0^2 + H_x^2 + 2H_0 H_x \cos(\Delta\omega(t_H + \frac{T_3}{2}))) \end{aligned} \quad (5)$$

where $\Delta\omega = 2\pi\Delta f = 2\pi\dot{f}\Delta\tau_{cp}$, and $\Delta\tau_{cp} = \tau_{cp0} - \tau_{cpx}$ is delay between magnetoionic component; $\omega_0 \approx \omega_x = \omega_{0,x}$ (i.e. magnetoionic component delays are close).

It is seen that square to spectral density of the amount signal has a peak on frequency $\omega_{0,x}$, but its amplitude to subject to harmonic fluctuations, which frequency depends on delays between magnetoionic component, but amplitude from correlation of their amplitudes.

Cepstrum of the signal possible to write in following type:

$$\begin{aligned} C(q) &= \int_{f_H}^{f_H+f_3} \ln |S(f)|^2 \exp(i2\pi f q) df = (2 \ln(T_3) + \ln(H_0^2 + H_x^2)) \exp(i2\pi q (f_H + \frac{f_3}{2})) f_3 \sin c(2\pi q \frac{f_3}{2}) + \\ &+ \left(\frac{H_0 H_x}{2(H_0^2 + H_x^2)} \right)^2 \exp(-i2\pi \Delta\tau_{cp} \Delta f) \exp(i2\pi (q - 2\Delta\tau_{cp})(f_H + \frac{f_3}{2})) \cdot \\ &\cdot \frac{f_3}{2} \sin c(2\pi (q - 2\Delta\tau_{cp}) \frac{f_3}{2}) + 2 \exp(i2\pi (f_H + \frac{f_3}{2})) f_3 \sin c(2\pi q \frac{f_3}{2}) + \dots \end{aligned} \quad (9)$$

It is seen that for the delay answers second summand in cepstrum, having maximum on qerfreny $q = \Delta\tau$. The amplitude this composed depends on values relations product to amount square amplitudes vfgnetoionic components. So given qerfreny is absent if on acceptance is absent at least one component.

At decision of the problem of the determination delay between magnetoionic components it is important to know how to value the level a peak on qerfreny, corresponding to sought delay. Besides, for reception estimation to energy ordinary and extraordinary rays it is necessary to know their amplitudes. From analysis offered models possible to draw a conclusion that attitude of the amplitudes magnetoionic components H_x/H_0 influences upon level peak of the cepstrum. Explored dependency of the amplitude first peak (on erfreny different from 0 microsecond) from ratio of the amplitudes магнитоионных component.

Since cepstral processing sensitive to influence of the hindrances, was organized study for the reason determinations of the borders to applicability given method to decision of the problem of the determination small delay. As a result of modeling was made following conclusion: at attitude signal/noise smaller 30 db useful spades (peaks) are smeared by noise and cepstral processing becomes labored.

Experiment and interpretation of obtained data

The experiments on approximations of the algorithm were organized on two radiolines of the width spreading (the Khabarovsk—Yoshkar-Ola and Inskip—Yoshkar-Ola). At the beginning were initially received spectrums to powers signal of the difference frequency for analysed modes. Herewith 2F2 is first taken by mode for route Khabarovsk — Yoshkar-Ola, but 1F2 – first for route Inskip—Yoshkar-Ola. Cepstral processing were subjected to the lower rays, for which magnetoionic components did not be permitted on delay by ionosonde with instrumental allowing ability equal 24 microseconds.

The analysis of obtained cepstra has shown that: for route Khabarovsk—Yoshkar-Ola delay of pulse characteristics magnetoionic components on chosen on ionograms frequency formed 3 microseconds, for route Inskip—Yoshkar-Ola – 2.15 мкс. These experimental results will with theoretical estimation of the possible delay between magnetoionic components for these radiolines, got in the numerical experiment with use the statistical model of the ionosphere IRI.

Resume

Theoretically possibility of the using cepstral analysis is motivated to division magnetoionic components of the modes of the spreading under tilted flexing the ionosphere by unceasing signal with linear frequency inflexion.

The offered method of cepstral analysis to study of the features magnetoionic rays in experiment on tilted flexing the ionosphere on route of big extent. The offered method has shown that on route, extent 2500–6000 km, difference delay between magnetoionic components first taken modes forms 2–3 microseconds..

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНОГО ТРАКТА РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

¹**А.В. Заворин**, ¹**В.Е. Заруднев**, ²**В.Н. Кулагин**, ²**В.В. Лепетаев**

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск;

²Омский государственный технический университет, Омск

kvnlab@mail.ru

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF RECEIVING SECTION OF INCOHERENT SCATTERING RADAR

¹**A.V. Zavorin**, ¹**V.E. Zarudnev**, ²**V.N. Kulagin**, ²**V.V. Lepetaev**

Особенностью работы приемника в составе импульсной моностатической радиолокационной установки, предназначенной для исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) и одновременного измерения параметров космических аппаратов (КА), является совокупность большого числа противоречивых требований, обусловленных многоплановостью одновременно проводимых исследований.

К ним следует отнести, в первую очередь, высокую чувствительность, необходимую для получения спектров обратного некогерентного рассеяния и профилей мощности НР-сигнала. Анализ когерентных сигналов, отраженных от КА, требует высокой амплитудной линейности приемного тракта и стабильности его фазовых характеристик. Ввиду того, что измерение обоих типов сигналов происходит во время одного хода развертки, невозможно (или технически сложно) разделить данные задачи на самостоятельные.

Кроме того, импульсный характер работы радара требует обеспечения защиты высокочувствительных входов приемного тракта от поражения импульсами передатчика.

Таким образом, выстраивается цепочка технических задач, совокупное решение которых позволяет реализовать весь комплекс одновременных измерений параметров ионосферы и КА, попадающих в объем, освещаемый радаром.

Противоречивость требований по обеспечению высокой чувствительности (коэффициент шума не более 1.2) и высокой линейности (более 70 дБ) накладывает жесткие ограничения на параметры приемного тракта. Большая удаленность измерительного комплекса от приемной антенны предопределяет реализацию приемного тракта в виде распределенной структуры с выносом входных каскадов непосредственно к антенне. Это, в свою очередь, приводит к необходимости обеспечения высокой линейности и нагрузочной способности предварительных каскадов усиления с целью компенсации потерь в линиях связи.

В результате решения оптимизационных задач в области радиофизики, радиотехники, системотехники, схемотехники и программирования реализован автоматизированный измерительный комплекс для радара НР, представляющий собой многоканальное распределенное радиоприемное устройство с двойным преобразованием частоты, состоящее из двух выносных приемных устройств, центроида, формирователей частотных подставок первых гетеродинов и управляющей ЭВМ.

Выносное приемное устройство (ВУП) включает в себя два идентичных канала, каждый из которых имеет ключ стробирования приемного тракта на время излучения передатчика; ключ подачи импульсов калибратора; входной малошумящий избирательный усилитель; направленный ответвитель, разделяющий сигнал для последующей обработки в узкой и широкой полосе; избирательный усилитель высокой частоты, нагруженный на первый смеситель; фильтр первой промежуточной частоты; фазостабильный широкополосный усилитель; противозумовой фильтр и широкополосный выходной каскад с линейностью не менее 5 В. Здесь же в корпусе ВУП расположены умножители частоты первых гетеродинов для каналов узкой и широкой полос, а также микропроцессорная система управления и источники питания. Управление каналами приема и передача в центроид телеметрической информации осуществляется с помощью помехозащищенного интерфейса.

В центроиде расположены тракты второй промежуточной частоты четырех каналов узкой и широкой полос, блок формирования опорных частот, модуль управления и панель управления многоканального РПУ.

Общее управление системой осуществляется от управляющей ЭВМ посредством многоэкранного меню. Сеансы измерений проектируются в виде сценариев, которые реализуются автоматически в заданное время.

Комплексное решение аппаратных и программных задач позволило создать многоканальное автоматизированное радиоприемное устройство с высокими метрологическими характеристиками.

Feature of work of the receiver in structure of the pulse monostatic radar-tracking installation intended for research of an ionosphere by a method of incoherent scattering (IS) and simultaneous measurement of parameters of space vehicles (SV), is set of the big number of the inconsistent requirements caused by diversity of simultaneously spent researches.

Here it is necessary to carry, first of all, the high sensitivity necessary for reception of spectra of return incoherent scattering and structures of power of IS signal. The analysis of the coherent signals reflected from SV, demands high peak linearity of a receiving section and stability of its phase characteristics. Whereas measurement of both types of signals occurs during one course of scansion, it is impossible (or it is technically difficult) to divide the given tasks on independent.

Besides the pulse nature of a radar demands maintenance of protection of high-sensitivity inputs of a receiving section from defeat by impulses of the transmitter.

Thus, the chain of technical tasks which cumulative decision allows to realize all complex of simultaneous measurements of parameters of an ionosphere and SV, getting in the volume covered by a radar is built.

Discrepancy of requirements on maintenance of high sensitivity (factor of noise no more than 1,2) and high linearity (more than 70 db) imposes rigid restrictions on parameters of a receiving section. Big remoteness of a measuring complex from the reception aerial predetermines realization of a receiving section in the form of the distributed structure with carrying out of entrance cascades directly to the aerial. It, in turn, leads to necessity of maintenance of high linearity and loading ability of preliminary cascades of amplification with the purpose of indemnification of losses in communication lines.

As a result of the decision optimization tasks in the field of radiophysics, a radio engineering, system engineering, circuitry and programming the automated measuring complex for radar IS, representing the multichannel distributed radioreception device with double transformation of the frequency, consisting of two remote reception devices, centroid, shapers of frequency supports of the first oscillators and operating computer is realized.

The remote receiving device (RDR) includes: two identical channels, each of which has a strobbing key a receiving section for the period of radiation of the transmitter; a key of submission of impulses of the calibrator; entrance low-noise the selective amplifier directional coupler, a dividing signal for the subsequent processing in a narrow and wide band; the selective amplifier of high frequency loaded on the first mixer; the filter of the first intermediate frequency; the phase-stable broadband amplifier; the antinoise filter and the broadband target cascade with linearity not less than 5 V. Here in case RDR frequency multipliers of the first oscillators for channels of narrow and wide bands, and also a microprocessor control system and power supplies are located. Management of channels of reception and transfer to centroid the telemetering information is carried out by means of noise-immune the interface.

In a centroid section of the second intermediate frequency of four channels of narrow and wide bands, the block of formation of reference frequencies, the control module and the control panel multichannel of radioreception device are located. The common management of system is carried out from the operating computer by means of the multiscreen menu. Sessions of measurements are designed in the form of scripts which are realized automatically during set time.

The complex decision of hardware and program tasks has allowed to create the multichannel automated radioreception device with high metrological characteristics.

О МОДЕЛИРОВАНИИ АТМОСФЕРНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА

И.Ю. Лобычева, Е.А. Пономарев, А.Г. Сорокин

Институт солнечно земной физики СО РАН, Иркутск
loir@iszf.irk.ru

ABOUT SIMULATION OF AN ATMOSPHERIC ACOUSTIC CHANNEL

I.Yu. Lobycheva, E.A. Ponomarev, A.G. Sorokin

Для расчета условий распространения инфразвуковых сигналов на большие расстояния необходимо знать структуру атмосферного акустического канала т.е. распределение температуры и скорости ветра. Такое распределение можно получить из глобальных моделей атмосферы, например MSIS, и открытых оперативных метеорологических данных NOAA (США), полученных в рамках совместного проекта IDEAS (Investigation of Distributed Environmental Archives System), которые достаточно полно описывают поле температуры и ветра.

В работе вводится параметр $U = \frac{\Omega^2}{C^2} - k_x^2$, условно называемый потенциалом, где $\Omega = \omega = kV$, а ω , V , C – соответственно частота, скорость ветра и скорость звука. Все пространство делится на две области: 1) $U > 0$ –

зона волноводного распространения инфразвука; 2) $U < 0$ – зона свободного распространения инфразвука. Таким образом, анализ потенциала позволяет выделять в пространстве зоны канализации инфразвуковых сигналов для заданных значений ω и k_x .

В работе обсуждается распределение зон канализации инфразвука по выбранной трассе и сравнение с экспериментальными данными наблюдений микробаром.

For calculation of propagation conditions of infrasonic signals on large distances it is necessary to know structure of an atmospheric acoustic channel i.e. distribution of temperature and wind velocity. Such distribution is possible to receive from global atmospheric models, for example MSIS and open operating weather data NOAA (USA), obtained within the framework of the joint project IDEAS (Investigation of Distributed Environmental Archives System), which adequately describe a field of temperature and wind.

There is introduced the parameter $U = \frac{\Omega^2}{C^2} - k_x^2$, conditionally called as a potential, where $\Omega = \omega = kV$; ω , V , C – accordingly frequency, wind velocity and a sound velocity. All space is divided into two areas: 1) $U > 0$ – zone of wave-guide distribution of an infrasound; 2) $U < 0$ – zone of free distribution of an infrasound. Thus, the analysis of a potential allows to select in space of zone of the channel of infrasonic signals for values ω , k_x .

In activity the distribution of zones of the channel of an infrasound on a selected line and matching with experimental data of observations by a microbar is considered.

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ПЕРИОД СПАДА 23-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М.В. Ляшенко

Институт ионосферы Национальной академии наук и Министерства образования и науки Украины
Lyashenko@kpi.kharkov.ua

VARIATIONS OF IONOSPHERIC PLASMA PARAMETERS DURING 23-rd CYCLE OF SOLAR ACTIVITY DECLINE

M.V. Lyashenko

Интерпретация и моделирование вариаций основных параметров ионосферной плазмы является одной из актуальных задач исследования геокосмоса. Ионосфера Земли, строго говоря, не является сферически-симметричной, что, в свою очередь, накладывает ограничения на использование данных, полученных в одном регионе, для моделирования поведения параметров ионосферы другого региона в тех же широтах. Поэтому выявление и анализ региональных особенностей распределения параметров ионосферы является одной из важных задач исследования околоземной плазмы.

В работе проведен анализ суточных и сезонных вариаций параметров ионосферы в 2003–2004 гг., т.е. в период спада солнечной активности, для дат, близких к весеннему и осеннему равноденствиям, а также летнему и зимнему солнцестояниям. Для наблюдений использовался Харьковский радар некогерентного рассеяния.

Для средних широт Центрально-Европейского региона подтверждено, что основные параметры ионосферной плазмы испытывают значительные суточные и сезонные вариации. Как и следовало ожидать, вариации электронной концентрации для высот ниже максимума области F2 ионосферы как зимой, так и летом контролируются преимущественно величиной зенитного угла Солнца. На высотах, больших высоты максимума ионизации, ночью появляются локальные максимумы, обусловленные потоками частиц из плазмосферы в ионосферу.

Температура электронов также испытывает значительные суточные вариации. В суточных вариациях температуры электронов присутствуют два максимума – утренний (около 11:00 LT) и дневной (около 16:00 LT). С увеличением высоты температуры электронов и ионов увеличиваются, положение утреннего и дневного максимумов в суточных вариациях смещается на более ранние и поздние часы соответственно.

Подтверждено существование эффекта сезонной аномалии, заключающегося в превышении зимних дневных значений концентрации электронов над летними значениями в окрестности максимума области F2 ионосферы. Установлено, что в интервале высот $h \approx 190$ –260 км имеет место превышение примерно в 2 раза. С увеличением высоты значения N летом и зимой выравниваются, а и при $h \geq 390$ км летние значения N превышают зимние. Основной механизм, объясняющий сезонную аномалию, может быть связан с сезонными вариациями в ионном составе на высотах вблизи максимума области F2 ионосферы.

Для температуры электронов сезонные вариации выражаются в том, что днем летние значения T_e примерно на 100–150 К больше, чем зимние значения, ночью – на 150–800 К. Для температуры ионов имеет место подобная ситуация – днем летние значения T_i примерно на 100–450 К больше зимних, ночью – на 150–400 К. Такие сезонные изменения температур ионов и электронов подтверждают несимметричность земной ионосферы вследствие несовпадения географических и магнитных полюсов, что приводит к каче-

ственным и количественным различиям в пространственно-временном распределении параметров ионосферы в Западном и Восточном полушариях.

Полученные результаты в дальнейшем будут служить в качестве реперных для построения модели ионосферы Центрально-Европейского региона.

Interpretation and modeling of basic plasma parameter variations is one of the topical geospace investigation problems.

The Earth' ionosphere, strongly saying, is not spherically symmetric that imposes restrictions on data using, obtained in some region, for ionospheric parameter behavior modeling of another region at the same latitudes. Therefore, revelation and analysis of ionospheric parameter distribution regional features is one of the basic problems of the geospace plasma investigation.

In this study, a diurnal and seasonal variation analysis of ionospheric plasma parameters for winter and summer solstices, vernal and autumnal equinoxes in 2003–2004, i.e. at period of the solar activity decline was carried out. The Kharkov incoherent scatter radar is used for observations.

It is confirmed that basic ionospheric plasma parameters exhibit significant seasonal and diurnal variations for mid-latitudes of the Central Europe. As it was expected, electron density variations at the heights below peak F2-layer are controlled, mainly, by the solar zenith angle value both in winter and in summer. At night local maximum appears at heights above ionization maximum due to particles flows from plasmasphere to ionosphere.

Electron temperature also exhibits significant diurnal variations. Two maximums – morning (near 11 LT) and daily (near 16 LT) ones take place in these diurnal variations. Ion and electron temperatures increase with height increasing, morning and daily maximum location in diurnal variations shifts at more early and later times respectively.

Seasonal anomaly effect existence including the exceeding of winter daily electron density values over summer ones near peak F2-layer was confirmed. It is determined, that this exceeding compose by factor of 2 in range of heights $h \approx 190\text{--}260$ km. Summer and winter electron density values become equal one to other with height increasing, while summer electron density values exceeds winter values at $h \geq 390$ km. The basic mechanism, that explains the seasonal anomaly, can be caused with ion composition seasonal variations at heights near peak F2-layer.

Seasonal variations for electron temperature (T_e) show that daily summer values of T_e are approximately 100–150 K and night ones are 150–800 K greater than in winter in range of heights 260–1030 km. Similar situation takes place for ion temperature (T_i) – daily summer values of T_i are 100–450 K and at night are 150–400 K greater than in winter. Same seasonal changes of ion and electron temperatures confirm the asymmetric of the Earth's ionosphere in consequence of convergence geographic and magnetic poles. This fact leads to qualitative and numerical differences in spatial-temporal distribution of ionospheric parameters in the Western and the Eastern hemispheres.

Obtained results will use as reference elements for development of ionospheric model conformably to the Central Europe region.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫСЫПАНИЙ В КОСМИЧЕСКОМ ЦИКЛОТРОННОМ МАЗЕРЕ

А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, Д.А. Мансфельд

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
mda1981@appl.sci-nnov.ru

LABORATORY INVESTIGATION OF ELECTRON PRECIPITATIONS IN SPACE CYCLOTRON MASERS

A.V. Vodopyanov, S.V. Golubev, D.A. Mansfeld

Обсуждаются результаты экспериментального исследования автоколебательного режима развития циклотронной неустойчивости неравновесной плазмы электронно-циклотронного резонансного разряда в простой магнитной ловушке, проводимого в рамках работ по лабораторному моделированию нестационарных процессов в космических циклотронных мазерах. Плазма в ловушке содержит две популяции электронов, одна из которых (основная) имеет концентрацию $\sim 10^{13}$ см⁻³ и температуру ~ 300 эВ, а другая (энергичная) – соответственно $\sim 10^{10}$ см⁻³ и 10 кэВ. Неустойчивость проявляется в виде квазипериодических импульсных высыпаний энергичных электронов из ловушки, сопровождающихся всплесками электромагнитного излучения на частоте ниже электронной гирочастоты в центре ловушки.

При помощи системы алюминиевых фильтров различной толщины, устанавливаемой перед датчиком, регистрирующим электроны (pin-диодом), измерена функция распределения вылетевших из ловушки электронов по энергиям. Получено максвелловское распределение по энергиям с температурой ~ 8 кэВ. Это находится в хорошем соответствии с результатами измерений температуры энергичных электронов в ловушке по их тормозному рентгеновскому излучению.

С помощью измерений диамагнетизма плазмы проведено исследование динамики энергообмена горячей компоненты плазмы и возбуждаемых в мазере волн.

При помощи перемещаемого pin-диода, расположенного в диагностической камере, проведены измерения пространственного распределения вылетающих из ловушки энергичных электронов. Установлено, что пространственная структура электронных высыпаний существенно зависит от величины магнитного поля в центре ловушки и при некоторых его значениях может носить сильно неоднородный характер. Так, при магнитном поле ловушки, соответствующем максимальной генерации СВЧ-излучения при циклотронной неустойчивости, максимум электронных высыпаний наблюдается на периферии системы, в то время как в центре имеется провал. При увеличении магнитного поля максимум высыпаний приближается к оси ловушки и в итоге распределение приобретает характер равномерно спадающего при удалении от центра. Измерения показали, что радиальное распределение концентрации основной плазмы в отличие от высыпания энергичных электронов остается монотонно спадающим от центра при всех режимах нагрева. Можно предположить, что немонотонное радиальное распределение высыпаний энергичных электронов обусловлено соответствующим распределением электромагнитного поля в возбуждаемых при циклотронной неустойчивости волнах. В этом отношении наблюдаемое явление имеет сходство с формированием пространственной структуры пульсирующих пятен в полярных сияниях.

We present the results of experimental study of an auto-oscillation regime of the cyclotron instability in nonequilibrium ECR-discharge plasma in a simple mirror machine. This work is performed in the context of laboratory modeling of non-stationary processes in space cyclotron masers. The plasma comprises two populations of electrons, one of which (bulk plasma) has the number density $\sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ and the temperature $\sim 300 \text{ eV}$, and the other (energetic) $\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and 10 keV , respectively. The instability occurs as quasi-periodic bursts of precipitated energetic electrons, accompanied with bursts of the electromagnetic radiation at frequencies below the electron gyrofrequency in the trap center.

Using the set of Al filters of different thicknesses, placed in front of the energetic electrons detector (PIN diode), the energy distribution function (EDF) of the precipitated electrons has been measured. As the result, the Maxwellian EDF with temperature $\sim 8 \text{ keV}$ has been obtained. This result is in a good agreement with the measurements of energetic-electron temperature by bremsstrahlung emission of the plasma.

The investigation of energy exchange between the hot plasma component and excited waves in maser has been performed by means of plasma diamagnetism measurements.

By moving the PIN diode across the trap axis, we obtained the spatial distribution of precipitated energetic electrons. It has been found that the spatial structure of electron precipitation essentially depends on the value of magnetic field at the trap center, and can be non-monotonic under certain conditions. In particular, if the magnetic field corresponds to the most intense electromagnetic-wave generation upon the cyclotron instability, then the precipitation is peaked at the periphery of the chamber, with a hole observed in the center. As the magnetic field increases, the precipitation maximum approaches the center, and finally the distribution acquires a monotonic radial profile. Measurements show that the radial distribution of the bulk plasma density, unlike the energetic-electron precipitation, has a monotonic structure for all regimes. We attribute the non-uniform spatial structure of energetic electrons to the respective electromagnetic field distribution in the waves excited upon the cyclotron instability. In this respect, the proposed mechanism for the observed phenomenon has a similarity with the spatial structure formation of pulsating auroral patches.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ФЛУКТУАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В.В. Марков, В.И. Козлов

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск
valery@ikfia.yasn.ru

FINE STRUCTURE OF THE HELIOSPHERIC CURRENT SHEET BY RESEARCH OF COSMIC RAY FLUCTUATIONS

V.V. Markov, V.I. Kozlov

Изучается нестационарный переходный процесс смены знака общего магнитного поля Солнца в интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ). Изучение процесса проводится нами на двух различных масштабах. Во-первых, на геоэффективных фазах 11-летнего солнечного цикла по среднеоборотным (27-дневным) значениям индекса мерцаний ГКЛ. Во-вторых, в окрестности крупномасштабных возмущений солнечного ветра: спорадических (взрывные ударные волны и магнитные облака) и рекуррентных (контактные ударные волны на границе разноскоростных потоков и «струи» солнечного ветра).

Ожидается, что при смене знака общего магнитного поля Солнца вариации отношения квадрупольной компоненты поля к дипольной его части должны проявиться в смене структуры гелиосферного токового слоя (ГТС) с двухсекторной на четырехсекторную (мультисекторную?) и наоборот.

Чувствительность индекса мерцаний космических лучей к изменчивости структуры межпланетного магнитного поля позволяет получить важную информацию о динамике структуры ГТС – важного модулирующего

параметра для интенсивности ГКЛ. В итоге получен вейвлет-образ крупномасштабного возмущения в интенсивности ГКЛ (эффекта Форбуша) и выявлен характерный масштаб волны активности ГТС – $\tau = 4 \pm 1$ сут.

The non-stationary transient process under a sign-change of general magnetic field of the Sun in the galactic cosmic ray (GCR) intensity is studied. We consider the transient process on two different scales. First – on geoeffective phases of the 11-year solar cycle by 27-day values of a flicker index of GCR. Second – in the vicinity of large-scale solar wind disturbances: sporadic (blast shocks and magnetic clouds) and recurrent (contact shocks at the boundary of the streams with different velocities and a “streams” of solar wind).

It is expected that under a sign-change of general magnetic field of the Sun the variations of a ratio of quadrupole field component to its dipole part have to be manifested in the change of the heliospheric current sheet (HCS) structure from the two-sector to the four-sector (multi-sector ?) and on the contrary.

The sensitivity of the cosmic ray flickers index to the variability of the interplanetary magnetic field structure allows obtain important information on the HCS structure dynamics as an important modulating parameter for the GCR intensity. As the result, “wavelet-image” of the large-scale disturbance in GCR intensity (Forbush-effect) has been found and characteristic scale of HCS “active wave” is detected – $\tau = 4 \pm 1$ days.

ВАРИАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ F2-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ КРУГОСВЕТНОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

В.А. Мошкова

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

VARIATIONS OF THE IONOSPHERIC F2-REGION CRITICAL FREQUENCIES USING ROUND-THE-WORLD RADIO SOUNDING

V.A. Moshkova

Кругосветные радиосигналы в декаметровом диапазоне (КС) были открыты в 20-х гг. прошлого века. С тех пор их свойства неоднократно исследовались во многих экспериментальных и теоретических работах. Вопрос диагностики параметров ионосферы с использованием данных кругосветного радиозондирования также поднимался, но до конца не был разработан.

Данная работа позволяет с помощью относительно несложного анализа экспериментальных данных по кругосветному радиозондированию проводить оценку вариаций критических частот F2-области ионосферы (f_0F2) в труднодоступных участках Земли для спокойных геомагнитных условий. Актуальность такой работы связана с тем, что вариации f_0F2 ото дня ко дню даже для спокойных условий могут достигать существенных величин, особенно в вечерние и утренние часы, однако используемой моделью они не описываются.

Главной предпосылкой, послужившей основой для разработки методики оценки вариаций f_0F2 , стало предположение о преимущественном влиянии области минимальных значений f_0F2 на величину максимальных применимых частот КС. В ходе многочисленных расчетов с использованием международной справочной модели ионосферы IRI и комплекса, основанного на методе нормальных волн, это предположение было проверено. В качестве экспериментального материала использовались данные, полученные на российской сети ЛЧМ-ионозондов.

После проведенных прямых оценок наметились пути перехода к решению обратной задачи:

– на основе модельных расчетов выделяется область минимальных значений f_0F2 , для которой проводится коррекция;

– по изменению максимальных наблюдаемых частот КС на основе оценок, проведенных предварительно для данной трассы, определяются возможные вариации f_0F2 в выделенной области.

На основе данной методики и имеющихся в отделе экспериментальных данных можно исследовать вариации f_0F2 , связанные со сменой дневных и ночных условий вдоль трассы распространения КС.

High-frequency round-the-world signals (RTW) were discovered at the 20th years of the past century. Since then the RTW properties were investigated at the many experimental and theoretical works. The question of ionospheric parameters diagnostics using RTW data was posed also but it was not elaborated.

This study allows to estimation the critical frequencies variations of the F2 ionospheric layer (f_0F2) at the terrestrial region difficult to access for the quiet geomagnetic conditions with assistance of relatively simple analysis of RTW radio sounding data. Significance of such work is connected with the problem that f_0F2 variations from day to day even for the quiet conditions can reach considerable magnitudes especially for evening and morning hours but the variations are not described by used model.

The main background for the method of f_0F2 variations estimation serves assumption about the primary influence of minimum f_0F2 magnitudes region to RTW maximum usable frequencies magnitudes. This assumption was tested by numerous computations using International Reference Ionosphere (IRI) and the program based on the normal wave method. As experimental material there were used data obtained at the Russian chirp ionosounders net.

The way for the solution of the reverse problem of diagnostics is following:

The region of the minimum f_0F_2 magnitudes is determined on the base of the model calculations.

The possible f_0F_2 variations at this region are determined using the RTW maximum observed frequencies.

On the base of this method we can investigate f_0F_2 variations concerned with the changing of day and night ionospheric conditions along the RTW path.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АМПЛИТУДА ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ GPS

П.А. Ожогин, Е.А. Косогоров

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

RELATIVE AMPLITUDE OF TOTAL ELECTRON CONTENT VARIATIONS AS DEDUCED FROM GLOBAL GPS NETWORK

P.A. Ozhogin, E.A. Kosogorov

Одной из ключевых проблем исследования ионосферы с помощью трансionoсферного зондирования является вопрос о соответствии параметров ионосферных возмущений, определенных по данным измерений полного электронного содержания (ПЭС), локальным характеристикам возмущений электронной концентрации, обусловленных распространением акустико-гравитационных волн (АГВ) естественного и техногенного происхождения (авроральные явления, метеоэффекты, землетрясения, взрывы, запуски ракет и т.д.). Прежде всего, на какой высоте расположена и какова протяженность по высоте области ионосферы, где формируется основной вклад в вариации ПЭС? Ответ на этот вопрос необходим как для интерпретации данных о вариациях ПЭС в диапазоне периодов АГВ, так и для выбора условной высоты в ионосфере, для которой рассчитываются координаты подионосферных точек.

Теоретические оценки были получены в целом ряде работ, включая обширные обзоры. Результаты расчетов показали, что максимальное значение относительной амплитуды dN/N достигается в окрестности максимума слоя F2 и варьируется в зависимости от геофизических условий в пределах от 5 до 40 %. Выше максимума амплитуда возмущения быстро убывает с высотой, уменьшаясь в два раза на интервале высот порядка 100 км, несмотря на то, что локальная электронная концентрация выше максимума F2 спадает гораздо медленнее.

Для проверки расчетов необходимо привлечение данных трансionoсферного зондирования и данных радаров некогерентного рассеяния (НР), поскольку только этот инструмент обладает необходимой чувствительностью при детектировании ионосферного отклика АГВ в широком диапазоне высот (от 150 до 800 км) и достаточным высотно-временным разрешением.

Основной задачей настоящей работы является комплексное исследование пространственно-временных характеристик относительной амплитуды dI/I вариаций полного электронного содержания (ПЭС) в сравнении с относительной амплитудой dN/N возмущений локальной электронной плотности в широком диапазоне периодов возмущений, в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях, на различных широтах, в разное время суток.

Экспериментальной основой определения характеристик ПЭС являются накопленные в ИСЗФ данные международной наземной сети двухчастотных приемников навигационной системы GPS, насчитывающей к 2005 г. не менее 2500 пунктов и поставляющей данные в Internet. Общий объем исходных данных с 1998 по 2005 г. составляет не менее 70 Гб. База данных параметров возмущений локальной электронной концентрации состоит из результатов измерений на цифровом ионозонде DPS-4 и на радаре некогерентного рассеяния ИСЗФ. Технологической основой являются разработанные в ИСЗФ СО РАН методы и технология глобального GPS детектора ионосферных возмущений, высокая чувствительность которого позволяет анализировать ионосферные возмущения с амплитудой до 10^{-3} от фонового значения ПЭС.

One of the key problems of ionospheric investigations, using transionoсperic sounding, is a question of correspondence between parameters of ionospheric disturbances, determined from total electron content (TEC) measurements, and local characteristics of electron density disturbances, caused by propagation of natural and anthropogenic acoustic-gravity waves (AGW) (auroral phenomena, meteorological effects, strong earthquakes, explosions, rocket launchings, etc). First of all, what is the altitude and extension of ionospheric region, which forms main contribution in total electron content variations? Answer on this question is needed in order to interpret data about TEC variations in period range of AGW, and also to select an altitude, for which coordinates of subionoсperic points are calculated.

Theoretical estimations were developed in many publications, including thorough reviews. Results of calculations showed, that maximum relative amplitude value dN/N is reached in vicinity of maximum of F2-region and varies from 5 to 40 %, depending on geophysical conditions. Above maximum, amplitude of disturbance decreases in two times on the interval of about 100 km, in spite of fact that local electron density above maximum of F2-region decreases much more slower.

To prove calculations we need to attract data from transionospheric probing and data from incoherent scattering radar (ISR), because only this instrument offers required sensibility when detecting ionospheric response on AGW in wide range of altitudes (from 150 to 800 km) and has sufficient altitude and time resolution

Main objective of this work is complex research of spatial-time characteristics of relative amplitude dI/I of TEC variations in comparison with relative amplitude dN/N of local electron density disturbances in wide range of time periods of disturbances, in quiet and disturbed geomagnetic conditions, in different latitudes, and in different time intervals.

Experimental basis for determination of characteristics of TEC is data collected from international ground-based network of GPS receivers, which consists of no less than 2500 stations in 2005 and provides data into Internet. Total amount of input data from 1998 to 2005 years consists of no less than 70 Gb. Database of parameters of local electron density disturbances includes results of measurements made on digital ionosonde DPS-4 and incoherent scattering radar located at the ISTP. Technological basis is method and technology of global GPS detector of ionospheric disturbances (developed at the ISTP), which allows to analyze ionospheric disturbances with amplitudes up to 10^{-3} from “background” value of total electron content.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ ВНЗ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.В. Ойнац

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

ON SIMULATION OF THE BACKSCATTER SIGNAL CHARACTERISTICS TAKING INTO ACCOUNT TERRESTRIAL SURFACE RELIEF

A.V. Oinats

Метод возвратно-наклонного зондирования ионосферы (ВНЗ) обусловлен способностью земной поверхности эффективно рассеивать радиоволны декаметрового диапазона в обратном направлении. Мощность и структура принимаемого сигнала зависят от большого числа факторов, в частности, от свойств земной поверхности вдоль трассы распространения.

Как свидетельствуют экспериментальные данные, на амплитуду сигналов ВНЗ сильно влияет форма рельефа земной поверхности. Например, ионограммы ВНЗ, полученные при зондировании в северо-восточном направлении от Иркутска, отличаются от соответствующих ионограмм для западного и северо-западного направлений большей интенсивностью принимаемого сигнала. Такое различие, по-видимому, связано с горным характером рельефа местности вдоль трассы распространения сигнала, который приводит к интенсивному рассеянию в обратном направлении. Кроме того, нередко на ионограммах ВНЗ наблюдаются отдельные следы, которые характеризуются слабой частотной зависимостью времени распространения сигналов и нерегулярностью появления их в экспериментах. Такие следы можно трактовать, в частности, как результат зеркального отражения от «точечных» объектов, находящихся на поверхности земли. В роли таких точечных объектов могут выступать, например, горные хребты с определенным углом склона. В связи с этим возникает проблема моделирования амплитудных характеристик сигналов ВНЗ в случае ярко выраженного горного рельефа земной поверхности вдоль трассы распространения для правильной интерпретации экспериментальных данных.

В докладе исследуется возможность учета горного рельефа земной поверхности при расчете характеристик сигналов ВНЗ в рамках метода нормальных волн. Рассмотрение проводится для случая азимутально-симметричной ионосферы. Согласно интегральной теореме Кирхгофа–Гельмгольца рассеянное поверхностно поле определяется поверхностным интегралом, в который входят падающее поле, функция Грина и их производные по направлению нормали к поверхности. Предполагается, что при наличии неровной рассеивающей поверхности функция Грина в первом приближении мало отличается от соответствующей функции для случая гладкой поверхности. Проводится анализ полученного в рамках указанных приближений выражения для принимаемого сигнала и обсуждается возможность его использования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 03-05-64527 и № 05-05-64634) и в рамках гранта НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

The backscatter sounding method of the ionosphere is caused by ability of the terrestrial surface to scatter HF radiowaves in the opposite direction. The power and structure of the received signal depend on the large number of the factors in particular they depend on the properties of a terrestrial surface along a path of the propagation.

As the experimental data testify, the amplitude of the backscatter signals is strongly affected by the terrestrial surface relief form. For example, backscatter ionograms obtained in Irkutsk for the northeast direction differ from ionograms for western and northwest directions by the greater intensity of the received signals. Such difference is apparently connected to the mountain character of the terrestrial surface relief along the propagation path, which

results in intensive scattering in the opposite direction. Besides we quite often observe the separate traces on the ionograms, which are characterized by weak frequency propagation time dependence and irregularity of its occurrence in the observations. In particular such traces can be interpreted as a result of mirror reflection from "dot" objects on the terrestrial surface. For example, mountains with the certain slope angle can be such "dot" objects. In this connection there is a problem of the amplitude characteristics modeling of the backscatter signals in the case of the clear defined mountain terrestrial surface relief along the propagation path for correct experimental data interpretation.

In the report the opportunity of the terrestrial surface relief account is investigated for the backscatter signals simulation on the base of waveguide approach. The consideration is carried out for the case of the azimuthal symmetric ionosphere. According to the Kirchhoff-Helmholtz integral theorem the surface scattering field is determined by the surface integral that includes the surface field, Green's function and their normal derivatives. It is supposed, that Green's function is equal to the one for the case of smooth terrestrial surface. The analysis of the received signal expression is performed and the opportunity of its use is discussed.

The present work was done under support of the Russian fund of basic research (grants No. 03-05-64527 and No. 03-05-64634) and within the framework of grant No. NSh-272.2003.5 for leading scientific schools of Russian Federation.

О РАСЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ СРЕДЫ С ПОТЕРЯМИ

А.В. Ойнац, И.И. Орлов

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

ON THE REFLECTION COEFFICIENT CALCULATION IN AN ABSORBING MEDIUM

A.V. Oinats, I.I. Orlov

При описании распространения радиоволн в слоисто-неоднородной поглощающей среде волновое уравнение имеет вид

$$\frac{d^2U}{dx^2} + k^2\varepsilon'(x, k, \nu)U = 0, \quad (1)$$

где за $\varepsilon'(x, k, \nu)$ обозначена диэлектрическая проницаемость холодной плазмы, $k = \frac{\omega}{c}$ – волновое число, а ν – эффективное число соударений, которое характеризует поглощение в среде.

Уравнение (1) можно свести к компактной эквивалентной матричной форме

$$\frac{dU}{dx} = ik\sigma_3 U + \frac{1}{ik} Q\sigma_+ U, \quad (2)$$

где $U = \begin{pmatrix} U_+^+ & U_-^+ \\ U_+^- & U_-^- \end{pmatrix}$ – фундаментальная матрица, составленная из частных решений (1), $\sigma_+ = (\sigma_3 + i\sigma_2)/2$,

σ_α – матрицы Паули, $Q(x, k) = 1 - \varepsilon'(x, k, \nu)$. Естественными условиями нормировки решения (2) являются условия при $x \rightarrow +\infty$, где имеется только проходящая волна

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} e^{-ik\sigma_3 x} U = \sigma_0. \quad (3)$$

Вводя в рассмотрение функцию отражения в виде $R_+(x, k) = \frac{U_+^-(x, k)}{U_+^+(x, k)}$, которая при $x=0$ представляет собой коэффициент отражения $R_+(0, k)$, из уравнения (2) легко получить стандартное уравнение типа Рикатти на функцию отражения. Таким образом, решая численно матричное уравнение (2) с начальными условиями (3), мы тем самым получаем также и решение уравнения Рикатти для функции отражения.

В докладе рассматривается схема численного решения (2) в случае ступенчатой аппроксимации профиля диэлектрической проницаемости. Проводится сравнение коэффициента отражения, рассчитанного по предлагаемой схеме, с известными аналитическими выражениями для параболического слоя и слоя Эпштейна.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 03-05-64527 и № 05-05-64634) и в рамках гранта НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

The radiowave propagation into the layered inhomogeneous absorbing medium described by the wave equation

$$\frac{d^2U}{dx^2} + k^2\varepsilon'(x, k, \nu)U = 0, \quad (1)$$

where $\varepsilon'(x, k, \nu)$ is medium permittivity, $k = \frac{\omega}{c}$ is wave number and ν is the effective collision number that characterizes the medium absorption properties.

We can reduce equation (1) to the compact equivalent matrix form

$$\frac{dU}{dx} = ik\sigma_3 U + \frac{1}{ik} Q \sigma_+ U, \quad (2)$$

where $U = \begin{pmatrix} U_+^+ & U_-^+ \\ U_+^- & U_-^- \end{pmatrix}$ is a fundamental matrix that consists of the particular solutions of (1), $\sigma_+ = (\sigma_3 + i\sigma_2)/2$, σ_α is the Pauli matrixes and $Q(x, k) = 1 - \varepsilon'(x, k, \nu)$. The starting normalizing conditions for (2) are the conditions at $x \rightarrow +\infty$, where there is a transmitting wave only

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} e^{-ik\sigma_3 x} U = \sigma_0. \quad (3)$$

Including the reflection function $R_+(x, k) = \frac{U_+^-(x, k)}{U_+^+(x, k)}$, which is equal to the reflection coefficient $R_+(0, k)$ at $x = 0$, we can easily obtain the Rikatti equation for reflection function from equation (2). Thus, solving (2) numerically with starting conditions (3), we can obtain the reflection function and reflection coefficient.

In the report the numerically scheme for solution of the equation (2) is considered for the discrete steps approximation of the permittivity profile. The comparison between the calculated reflection coefficients and well-known analytical expressions for parabolic layer and Epstein layer is carried out.

The present work was done under support of the Russian fund of basic research (grants No. 03-05-64527 and No. 03-05-64634) and within the framework of grant No. NSh-272.2003.5 for leading scientific schools of Russian Federation.

ОЦЕНКИ ЗАРЯДА КАПЕЛЬ В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

Г.С. Павлов

Институт космических исследований и аэронавтики им.Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск
ganya1981@mail.ru

ESTIMATIONS OF A CHARGE OF DROPS IN STORM CLOUDS

G.S. Pavlov

Одним из направлений изучения физики атмосферных облаков являются процессы образования атмосферного электричества, яркими проявлениями которых являются грозы. Важным элементом этих процессов является конденсация влажного воздуха, образование капель на инородных телах, их коагуляция и выпадение под действием силы тяжести. В работах Стожкова и Ермакова [1, 2] обосновывается механизм разделения зарядов, где в основе лежит механизм Русанова [3], обеспечивающий преимущественное образование капель на отрицательных ионах. Сами эти ионы образуются частицами внеземного происхождения – космическими лучами. Целью этой работы является определение диапазона значений, в котором может находиться заряд одной капли.

Происхождение и свойства атмосферного электричества в целом связаны с микрофизикой и макрофизикой. Электрические поля, существующие в природе и лаборатории, могут иметь разную природу.

Природные условия отличаются от лабораторных тем, что электрическая поляризация в первом случае имеет преимущественно макроскопический характер, она связана с удалением зарядов противоположного знака на значительные расстояния друг от друга, в то время как во втором случае эти расстояния часто имеют молекулярные размеры.

Если частицы вещества, с которыми связаны положительные заряды, существенно отличаются по своим размерам и массе от частиц с отрицательными зарядом, то под влиянием силы тяжести эти частицы отделяются друг от друга на значительные расстояния. При этом возникает макрополяризация образуемого ими облака и образуется электрическое поле значительной величины.

Переходя к вопросу о механизме микроразделения электрических зарядов, удовлетворяющем вышеуказанному, мы должны различать два механизма, которые представляются одинаково приемлемыми. В соответствии с первым механизмом в пересыщенном воздухе, освобожденном от пылевых ядер, конденсация происходит на ионных центрах. Вильсон [4] попытался проделать эксперимент, в котором он, ионизируя воздух в своей камере путем очень непродолжительного рентгеновского облучения и применяя электрические поля соответствующей полярности, смог обеспечить избыток ионов того или иного знака.

Второй механизм предполагает, что конденсация происходит на ядрах: на частицах пыли, дыма и т.д. Наиболее часто встречающиеся размеры этих частиц соответствуют радиусу $2.5 \cdot 10^{-5}$ см. Частицы радиусом

больше 20 мкм будут оставаться в воздухе во взвешенном состоянии лишь очень короткое время, так как они обладают скоростями падения порядка 5 см/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Физика грозных облаков // Препринт 2. ФИАН, 2004. 38 с.
2. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Космические лучи в механизме образования грозных облаков // Краткие сообщения по физике. ФИАН, 2003. № 1. С. 23–35.
3. Русанов А.И. К термодинамике нуклеации на заряженных центрах // ДАН СССР. 1978. Т. 238, № 4. С. 831–834.
4. Мейсон Б.Дж. Физика облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1961. С. 44–45.

One of directions of studying of physics of atmospheric clouds are processes of formation{education} of an atmospheric electricity which bright displays is thunder-storms. The important element of these processes is condensation of damp air, formation{education} of drops on alien bodies, their coagulation and loss by gravity. In works Stozhkov and Ermakov [1, 2] the mechanism of division of charges underlie by Rusanov's [3] providing primary formation{education} of drops on negative ions the mechanism lays is proved. These ions are formed by particles of an extraterrestrial origin – space beams. The purpose of this work is definition of a range of values in which there can be a charge of one drop.

Origin and properties of an atmospheric electricity as a whole are connected to microphysics and macrophysics. Electric fields existing in the nature and laboratories can have the different nature.

Environment differ from laboratory themes, that electric polarization in the first case has mainly macroscopically character, it is connected to removal{distance} of charges of an opposite sign on significant distances from each other while in the second case these distances have pretty often the molecular sizes.

If particles of substance to which positive charges are connected, are essentially excellent on the sizes and weight from particles with negative a charge under influence of a gravity these particles are separated from each other on significant distances. Thus there is a macropolarization of a cloud formed by them and the electric field of significant size is formed.

Passing to a question on the mechanism of microdivision of the electric charges, satisfying above specified, we should distinguish two mechanisms which are represented equally comprehensible, namely: first, the mechanism according to which in пересыщенном air released from dust nucleus, condensation occurs on the ionic centers. Wilson [4] has tried to do experiment in which it, ionizing air in the chamber by very short x-ray irradiation, and applying electric fields of corresponding polarity, could provide surplus of ions of this or that sign.

The second mechanism assumes, that condensation occurs on nucleus: on particles of a dust, a smoke, etc. Most frequently the meeting sizes of these particles correspond to radius $2.5 \cdot 10^{-5}$ sm. Particles in radius will remain in air in a suspension only very short time as they possess speeds of falling of the order 5 sm/s more $20\mu\text{m}$.

ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В МЕЗОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ХАРЬКОВСКОГО РАДАРА СРЕДНЕЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

А.И. Гритчин, С.В. Панасенко

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

PARAMETERS OF THE WAVE DISTURBANCES AS INFERRED FROM KHARKIV MF RADAR DATA

A.I. Gritchyn, S.V. Panasenko

Продолжительные наблюдения за атмосферой Земли показали, что в ней имеют место постоянные регулярные и случайные вариации различных параметров (давления, химического состава, температуры концентрации и частоты столкновения нейтральных и заряженных частиц и др.). При их исследовании особое внимание уделяется выявлению и селекции волновых возмущений (ВВ). ВВ являются индикатором мощных природных и антропогенных процессов, таких как солнечные вспышки и выбросы корональной массы, циклоны, землетрясения, извержения вулканов, старты ракет, взрывы и др. Кроме того, ВВ существенно воздействуют на радиосигналы, ограничивая тем самым точность систем телерадиокоммуникации, радиолокации и радионавигации. Наконец, ВВ эффективно переносят энергию и импульс, обеспечивая взаимодействие подсистем в системе Земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера.

Одной из наименее изученных областей этой системы является мезосфера (50–90 км). Однако именно в ней имеют место сложные физико-химические, динамические и электродинамические процессы. Мезосфера обеспечивает взаимодействие двух погодных систем (обычной и космической погоды), определяя состояние погоды в атмосфере в целом. Поэтому изучение ВВ в мезосфере является актуальной радиофизической и геофизической задачей.

Для исследования ВВ чаще всего используются радарные методы. При этом обычно анализируются временные ряды данных горизонтальной скорости ветра либо электронной концентрации. Такие массивы часто

содержат пропуски, поскольку решение обратной задачи основано на модельных представлениях о процессах в исследуемой области и приближенном решении достаточно сложных нелинейных уравнений. Более того, используемое временное разрешение (минимум 5–15 мин) не позволяет выявлять акустические волны, а также гравитационные волны с периодом, близким к периоду Брента–Вяйсяля, который для мезосферы составляет около 5 мин.

В работе предложены активный и пассивный методы, позволяющие изучать параметры ВВ путем статистического и спектрального анализа радиосигналов, обратно рассеянных неоднородностями электронной концентрации, и радиопомех, распространяющихся в волноводе Земля–ионосфера. Исходными данными являются массивы огибающих их обыкновенной и необыкновенной компонент, регистрируемых среднечастотным радаром (2–3 МГц). Измерения были проведены в 2000–2005 гг. В результате анализа выявлены два типа ВВ. ВВ с периодами 5–25 мин имели место на протяжении 15–50 % времени наблюдения. Для них характерно увеличение относительной суммарной длительности с ростом их периода. Колебания с такими периодами, вероятно, вызваны локальными источниками, такими как ветровые сдвиги, турбулентные вихри, локальные особенности рельефа и др. ВВ с периодами 30–120 мин присутствовали на протяжении практически всего времени наблюдения. Их источниками могут быть процессы, в высоких широтах, сопутствующие вариациям космической погоды. Такие ВВ, по-видимому, генерируются и в средних широтах при прохождении солнечного терминатора за счет неравномерного прогрева подстилающей поверхности, крупномасштабных атмосферных вихрей и т.д. Некоторые ВВ могут быть результатом собственных колебаний Земли и атмосферы. Относительные амплитуды исследуемых ВВ обычно составляли 1–10 %. Проанализирована зависимость параметров ВВ от времени суток, сезона и уровня магнитной активности. Предложенные методы расширяют возможности радаров обратного рассеяния среднечастотного диапазона и позволяют проводить практически непрерывную диагностику ВВ над местом наблюдения.

Long-term observations of the Earth's atmosphere have shown the continuous occurring of regular and random variations of different parameters such as pressure, chemical composition, temperature, concentration and collision frequency of neutral and ionized particles and others. Particular attention in their studying is paid to the identification and selection of wave disturbances (WDs). The WDs display the response to high energy natural and anthropogenic processes, such as solar flares and coronal mass ejections, cyclones, earthquakes, volcanic eruptions, rocket launches, explosions and others. In addition, the WDs influence significantly on radio signals to restrict precision of telecommunications, radar, and radio-navigation systems. Finally, WDs transfer the energy and momentum and produce the coupling of subsystems in the system including the Earth, the atmosphere, the ionosphere and the magnetosphere.

The mesosphere (50 – 90 km) is one of the least studied regions of this system. However, it is here that complex physical, chemical, dynamical and electrodynamic processes occur. The mesosphere produces the coupling of two weather systems including the troposphere and space weather and determines the weather condition in the atmosphere as a whole. The WD study in the mesosphere is therefore an urgent problem of radio physics and geophysics.

Radar techniques are the most applicable to WD study. The time datasets of horizontal wind velocity or electron concentration are analyzed. Such sets have often the gaps as the solving of the inverse problem is based on the model descriptions of the processes in the region studied and on the approximate solution of nonlinear equation system, which is complex enough. Moreover the used time resolution is minimum of 5 to 15 min and does not allow the acoustic waves as well as the gravity waves with nearly Väisälä period, which equals about 5 min in the mesosphere, to be identified.

The active and passive methods allowing the WD parameters by using of the statistical and spectral analysis of radio signals backscattered by electron concentration irregularities and radio interferences propagating in the the Earth-ionosphere waveguide to be studied are suggested in this work. The raw data are sets of their ordinary and extraordinary component envelopes, which are recorded by MF radar in the frequency range of 2 to 3 MHz. The measurements have been carried out during 2000–2005. The analysis resulted in the identifying of two WD types. The WDs having the period of 5 to 25 min occurred as much as 15 % to 50 % of the observation time. The increase in the relative total duration vs. period is typical for them. The oscillations having these periods are probably caused by local sources such as wind shears, turbulence structures, local relief features and others. The WDs having the period of 30 to 120 min occurred during the nearly total observation time. Their sources can be the processes at high latitudes accompanying the space weather variations. Such WDs are probably generated at middle latitudes by the solar terminator, nonuniform heating of the Earth's surface, largescale atmospheric disturbances and others. Some WDs can result from the eigenoscillations of the Earth and the atmosphere. The relative amplitudes of WDs studied usually were as much as 1 % to 10 %. The WD parameters dependence on the time of day and night, season and the level of magnetic activity are analyzed. The methods suggested extend the capabilities of MF radars and allow the nearly continuous probing of WDs above the observation site.

ДИНАМИКА НАПРАВЛЕНИЙ ПРИХОДА ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПРИСУТСТВИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

И.С. Петухов, С.И. Петухов, А.С. Стародубцев

Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск
i_van@ikfia.ysn.ru

DYNAMICS IN THE ARRIVAL DIRECTIONS OF GALACTIC COSMIC RAYS IN THE PRESENCE OF LARGE-SCALE SOLAR WIND DISTURBANCES

I.S. Petukhov, S.I. Petukhov, S.A. Startodubtsev

С целью изучения динамики функции распределения галактических космических лучей по направлениям прихода на орбите Земли в присутствии крупномасштабных возмущений развита модель, основанная на анализе множества траекторий релятивистских протонов в межпланетном магнитном поле с учетом токового слоя. В качестве возмущения рассмотрена движущаяся ударная волна, имеющая форму параболоида вращения.

Выявлены три типа траекторий частиц: 1) невозмущенные траектории – траектории частиц, прошедших мимо возмущения; 2) возмущенные траектории – траектории частиц, отразившихся в результате дрейфа на фронте ударной волны; 3) траектории частиц, связанных с самой областью возмущения. Определена динамика распределения этих траекторий на сфере направлений и скоростей межпланетной ударной волны, расположений токового слоя и энергий частиц.

Результаты могут быть использованы для выявления предвестников приближающихся возмущений солнечного ветра.

To study of the dynamics of the galactic cosmic ray distribution function in arrival directions on the Earth's orbit in the presence of large-scale disturbances, a model has been developed based on the analysis of trajectory set of the relativistic protons in the interplanetary magnetic field with regard for the current sheet. In the capacity of disturbance, the moving shock wave in shape of a paraboloid of revolution is considered. Three types of particle trajectories have been revealed 1) nonperturbed trajectories which are the trajectories of particles passed by the disturbance; 2) perturbed trajectories which are the trajectories of particles reflected as a result the drift in the shock front; 3) trajectories of the particles associated with the disturbed region itself. The dynamics in the distribution of these trajectories on a sphere of directions and velocities of the interplanetary shock wave, locations of the current sheet and particle energies has been determined. The results can be used to reveal the precursors of solar wind disturbances.

ВЗАИМОСВЯЗЬ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В КРАЙНЕНИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

М.В. Пикалов, С.А. Колесник

Сибирский физико-технический институт, Томск
max_vp@bk.ru

INTERCOMMUNICATION OF ATMOSPHERIC PRESSURE WITH ELECTROMAGNETIC RADIATION IN EXTRA LOW-FREQUENCY RANGE

M.V. Pikalov, S.A. Kolesnik

В работе исследовано влияние атмосферного давления на спектральные характеристики электромагнитного (ЭМ) фона в крайненизкочастотном (КНЧ) диапазоне.

Известно, что вариации атмосферного давления являются одним из важнейших климатических факторов, которые определяют изменчивость физиологического состояния человека, что непосредственно влияет на гемодинамику. Особенное значение такие вариации приобретают, когда человек имеет ту или иную патологию сердечно-сосудистой системы. Однако, поскольку человеческий организм на протяжении миллионов лет находится под постоянным воздействием ЭМ-полей, формируемых глобальными околоземными резонаторами (альфвеновским и шумановским), то логично предположить, что он полностью адаптирован к этим полям. При этом изменение характеристик этих полей (резонансных частот, добротностей и интенсивностей) должно находить отклик в состоянии отдельных систем организма человека.

Ранее отмечено, что во время прохождения по Европейской части СССР 9 июня 1984 г. мощного циклона с крайне низким (ниже 980 гПа) атмосферным давлением впервые было зарегистрировано ЭМ-излучение с центральной частотой порядка 2 Гц, опережающее и сопровождающее его. Этот эффект обнаружен по высокочувствительным записям магнитного поля на обсерватории «Борок» ИФЗ АН СССР.

В данной работе были использованы экспериментальные данные непрерывного мониторинга спектральных характеристик ЭМ-фона КНЧ-диапазона и метеопараметров, который в течение нескольких лет проводится в Сибирском физико-техническом институте (СФТИ). Для регистрации электрической и магнитной компонент ЭМ-поля использовались магнитовариационная станция КВАРЦ-3 ЕМД и измерительно-вычислительный комплекс, разработанный в СФТИ, позволяющий производить прием и обработку сигналов, получать их динамические, спектральные и амплитудно-фазо-частотные характеристики в диапазоне частот до 40 Гц. Период одного измерения составлял 180 с, из них 150 с отводились для непрерывного измерения и 30 с – на запись информации и управление комплексом. Частота оцифровки аналого-цифрового преобразователя (АЦП) составляла 20 Гц (для измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) частота оцифровки АЦП составляла 80 Гц), а массив данных, накопленный за 150 с, составлял 3000 отсчетов (для

ИВК – 12000 отсчетов). Для регистрации метеорологических параметров использовалась автоматизированная электронная метеорологическая станция WM-918 (Huger). Накопленные данные позволяют исследовать взаимодействие трех сред, окружающих Землю: приземной атмосферы (тропосферы), ионосферы и магнитосферы.

Проведенный анализ данных мониторинга спектральных характеристик ЭМ-фона КНЧ-диапазона и метеорологических параметров показал наличие взаимосвязи атмосферного давления с сигналами КНЧ-диапазона ЭМ-фона.

1. При понижении атмосферного давления ниже 980 мБ в г. Томске повышается уровень ЭМ-фона и нарушается суточный ход уровня ЭМ-фона во всем диапазоне частот альфеновского и шумановского резонанса (1–40) Гц.

2. Во время прохождения мощного циклона с атмосферным давлением в его центре ниже 980 мБ возникает электромагнитное излучение с центральной частотой порядка 2 Гц с вероятностью не менее 70 %.

In work is researched the influence of atmospheric pressure on spectral characteristics of electromagnetic (EM) background of extra low-frequency (ELF) range.

It is known, that variations of atmospheric pressure are one of the most significant climatic factors, which determine variability of a physiological condition of the person, that directly influences on hemodynamics. Such variations get especial value, when the person has this or that pathology of cardiovascular system. However, as the human organism during millions years is under constant influence of the EM-fields, formed by global near-earth resonators (Alfven and Schumann), it is logical to assume, that he is completely adapted to these fields. Thus change of characteristics of these fields (resonance frequencies, good qualities and intensity) should find the response in a condition of separate systems of an organism of the person.

It is earlier marked, that during passage by the European part of the USSR on June, 9, 1984 a powerful cyclone with the lowest (below 980 hPa) atmospheric pressure for the first time had been registered EM-radiation with a central frequency about 2 Hz, outstripping and accompanying him. This effect is found out on high-sensitivity records of a magnetic field on observatory “Борок” IPE AS the USSR.

In the given work have been used experimental data of continuous monitoring of spectral characteristics of the EM-background of the EMF-range and meteorological parameters, which within several years is carried out in Siberian physical-technical institute (SPTI). For registration electric and magnetic component of the EM-field were used the magnetovariational station “КВАРЦ-3 ЕМД” and the measuring-calculating complex (MCC), developed in SPTI, allowing to make reception and processing of signals, to receive their dynamic, spectral and amplitude-phase-frequency characteristics in a range of frequencies up to 40 Hz. The period of one measurement made 180 seconds, from them 150 seconds were allocated for continuous measurement and 30 seconds - on record of the information and management of a complex. Frequency of numeralization of analog-digital converter (ADC) made 20 Hz (for the MCC frequency of numeralization ADC made 80 Hz), and the data file which has been saved up for 150 seconds, made 3000 reports (for the MCC – 12000 reports). For registration of meteorological parameters was used the automated electronic meteorological station WM-918 (Huger). The cumulative data allow to research interaction of three environments surrounding the Earth: a ground atmosphere (troposphere), ionosphere and magnetosphere.

The carried out analysis of the data of monitoring of spectral characteristics of the EM-background of the ELF-range and meteorological parameters has shown presence of intercommunication of atmospheric pressure with signals of ELF-range of EM-background.

1. At decrease of atmospheric pressure below 980 Mb in Tomsk a level of the EM-background is increasing and the daily course of a level of the EM-background in all a range of frequencies Alfven's and Schumann's resonance (1–40) Hz is broken.

2. During passage of a powerful cyclone with atmospheric pressure in its center 980 Mb electromagnetic radiation with a central frequency about 2 Hz is likely to arise with probability not less 70 % .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ИОНОСФЕРЫ НА СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ

О.Ю. Портнягина, Л.А. Леонович

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

В работе представлены результаты анализа отклика ионосферы на солнечные вспышки. Для исследования использовался метод, основанный на эффекте частичного «затенения» атмосферы земным шаром. Прямые лучи солнечного ионизирующего излучения от вспышки не попадают в область полной тени Земли. Для анализа использовались станции GPS, расположенные вблизи терминатора в ночной полусфере Земли. Траектории сигналов между передатчиком на спутнике и приемником на Земле для этих станций проходят частично через затененную часть атмосферы и частично через освещенную. Анализ степени затенения этих лучей и отклика полного электронного содержания (ПЭС), измеренного на их освещенной части, позволяет оценить вклад различных областей ионосферы в амплитуду отклика ПЭС. Результаты анализа показали, что в одних случаях до 30 % приращения ПЭС приходится на области ионосферы, лежащие выше 300 км, а в других – увеличения ПЭС наблюдались только до высоты 300 км. Для изучения полученных эффектов ис-

пользовалась теоретическая модель ионосферы и плазмосферы. Были исследованы высотно-временные вариации распределений концентраций заряженных частиц в области ионосферы от 100 до 1000 км во время солнечной вспышки. Анализ результатов показал, что увеличение электронной концентрации в верхней ионосфере может вызываться увеличением интенсивности ультрафиолетового излучения вспышек в некоторых участках спектра.

This paper proposes the results of the analysis of the ionospheric response to the solar flares. The method uses the effect of partial “shadowing” of the atmosphere by the terrestrial globe. The direct beams of the solar radiation from flare do not get in the Earth umbra field. The study of the solar flare influence on the atmosphere uses GPS stations located near the boundary of the shadow on the ground in the nightside hemisphere. The beams between the satellite-borne transmitter and the receiver on the ground for these stations pass partially through the atmosphere lying in the region of total shadow and partially through the illuminated atmosphere. By analyzing the degree of shadowing (illumination) of the beams between the transmitter and the receiver, it is possible to estimate the contribution from different regions of the ionosphere to the increase in TEC during the flare. The analysis results have shown, that in some cases about 30% of the TEC increase correspond to ionospheric region, lying above 300 km and in others – an increase in TEC associated with solar flare was observable to 300 km only. The numerical model for ionosphere-plasmasphere coupling, developed at the ISTP SB RAS, was used to interpret the observational effects. The altitude-time variations of the electron density were explored in the height range from 100 km up to 1000 km during solar flare. The analysis results have shown, that the electron density enhancement in the upper ionosphere can be caused by intensity increasing of flare ultra-violet radiation in some intervals of the spectrum.

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЭЛЕКТРОНЫ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ СНЧ-ДИАПАЗОНА

Н.В. Романова, Н.В. Ягова, В.А. Пилипенко, О.В. Козырева

Институт физики Земли РАН, Москва
runatka@mail.ru

RELATIVISTIC ELECTRONS ON THE EARTH'S MAGNETOSPHERE AND ULF GEOMAGNETIC DISTURBANCES

N.V. Romanova, N.V. Yagova, V.A. Pilipenko, O.V. Kozireva

Источники, механизмы ускорения и динамика потоков электронов релятивистской энергии во внешнем радиационном поясе Земли ($4 < L < 6$) обсуждается на протяжении долгого времени. До настоящего времени не существует общепринятого сценария ускорения магнитосферных электронов до релятивистских энергий, объясняющего все аспекты их поведения. Существующие модели внутримангитосферного ускорения не объясняют вариации потока электронов в солнечном цикле, а модели прямого проникновения солнечных электронов – количества и пространственно-временного распределения магнитосферных электронов.

В данной работе исследуется связь магнитосферных электронов средней и высокой энергии с параметрами космической погоды, которые могли бы воздействовать на появление и динамику этих частиц, согласно существующим физическим представлениям. Изучаются вариации потоков электронов за большой промежуток времени: с начала 22 солнечного цикла (1987 г.) до середины 23 солнечного цикла (2002 г.), что позволяет оценить тенденции в поведении потоков электронов на разных временных масштабах, например, отличия, связанные с фазами солнечного цикла.

Из литературы известно, что появлению релятивистских электронов благоприятствуют высокоскоростные потоки солнечного ветра и высокая геомагнитная активность. Очевидно, солнечный ветер не может непосредственно передавать энергию релятивистским электронам. Возможно, энергия передается геомагнитными волнами СНЧ-диапазона, которые являются самым мощным волновым процессом в околоземной плазме. Затравочные электроны с энергиями около сотен кэВ, инжектируемые при суббурях, могут затем ускоряться интенсивными гидромагнитными волнами до релятивистских энергий.

В данной работе статистически исследуются связи между пульсациями разного диапазона и вариациями электронов с энергией от сотен кэВ до нескольких МэВ в магнитосфере Земли. Различные СНЧ-индексы, характеризующие волновую активность на различных широтах на земной поверхности, в магнитосфере и межпланетном пространстве, сравниваются по степени их влияния на потоки электронов внешнего радиационного пояса для решения вопроса о роли турбулентной и монохроматической волновой накачки в ускорении электронов. Детально исследуется на разных временных масштабах связь скорости солнечного ветра – пульсации – электроны для выяснения статистическими методами степени влияния взаимосвязанных параметров. Оценивается зависимость эффективности влияния пульсаций в зависимости от широты точки наблюдения, местного магнитного времени, частотного и пространственного распределения.

В работе показано, что возрастание потоков высокоэнергичных электронов в магнитосфере происходит в течение двух сут после увеличения уровня пульсаций исследуемого диапазона. Точнее, существует кумулятивный эффект во взаимодействии пульсаций с потоками электронов, т.е. поток электронов реагирует не на мгновенные, а на интегральные значения мощности СНЧ-возмущений.

Generation, acceleration mechanisms and dynamics of the relativistic electron flux in the Earth's outer radiation belt ($4 < L < 6$) have been discussed for many years. However, there is no scenario of the acceleration of electrons to the relativistic energies describing all the principal features of their behaviour. The existing inner-magnetospheric mechanisms do not explain the solar cycle variation of the flux and the models of direct penetration of solar electrons do not give sufficient quality and spatio-temporal distribution of the magnetospheric energetic electrons.

This work is devoted to statistical study of magnetospheric electrons of medium to high energies with the space weather parameters able to influence their occurrence and dynamics in the Earth's magnetosphere.

A long period from the beginning of the 22 solar cycle (1987) to the middle of the 23 solar cycle is studied and, thus, the behaviour of electron flux at different time scales is compared, e.g. the distinctions associated with phases of the solar cycle.

It is known from literature that the splashes of relativistic electrons often take place under high Solar wind velocities and geomagnetic activity. However, it is evident that the solar wind cannot be a direct driver for the magnetospheric electrons. Possibly, the energy is transmitted through the ULF hydromagnetic waves which are the most powerful waves in the magnetosphere. Initial electrons of 10–100 keV energies associated with substorms can be then accelerated by intense hydromagnetic waves.

In the present work the relation between the geomagnetic pulsations in different frequency ranges and magnetospheric electrons with energies from hundred keV to several MeV is statistically studied. Different ULF indexes characterizing the wave activity at different latitudes on the Earth surface, in the magnetosphere and in the interplanetary medium are compared by their influence on the flux of electrons in the outer radiation belt to answer the question about the role of turbulent and monochromatic energy input. The relation SW velocity–pulsations–electrons is studied in details at different time scales to estimate the specific role of each from inter-related parameters. The efficiency of pulsations in the electron acceleration is studied in dependence on the latitude, magnetic local time, frequency and spatial distribution.

It is shown that growth of the electron flux takes place 2 days after the power of pulsations. This means that the cumulative effect in the pulsations–electron relation exists, and the electron flux has a higher correlation with integral than instantaneous values of pulsations' power.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ИЗМЕРЕННОМУ ПРОФИЛЮ МОЩНОСТИ СИГНАЛОВ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ И ПОЧТИ РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Т.Н. Савченко

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

METHODS AND ALGORITHMS OF ELECTRON DENSITY PROFILE DEFINITION ON THE MEASURED PROFILE OF INCOHERENT SCATTERING SIGNALS POWER IN AN AUTOMATIC MODE AND ALMOST REAL TIME

T.N. Savchenko

Метод некогерентного рассеяния (НР) радиоволн является наиболее информативным из наземных средств диагностики верхней атмосферы в большом интервале высот и позволяет измерять одновременно несколько параметров ионосферной плазмы с высоким пространственно-временным разрешением.

Иркутский радар НР имеет одну линейную поляризацию поля, что существенно отличает его от специализированных радаров НР. Главное отличие состоит в том, что вследствие эффекта Фарадея – вращения плоскости поляризации высокочастотной радиоволны в плазме, находящейся во внешнем магнитном поле, – сигнал на входе линейно поляризованной антенны испытывает квазипериодические замирания. Фарадеевские замирания сигнала вносят существенные осложнения при создании методов вторичной обработки, но их можно использовать для абсолютных измерений высотных профилей электронной концентрации по вариациям мощности НР-сигнала.

Современные требования эксперимента вызывают необходимость разработки методов и алгоритмов, позволяющих определять автоматически пространственно-временные распределения параметров ионосферы в реальном или почти реальном времени. Настоящая работа посвящена определению профилей электронной концентрации в автоматическом режиме и почти реальном времени по данным Иркутского радара НР.

Первичная обработка сигнала при определении профиля электронной концентрации включает в себя фильтрацию профилей Фарадеевских замираний с целью устранения помех с автоматическим подбором параметров фильтра в зависимости от уровня шума и вида сигнала.

Вторичная обработка состоит из следующих этапов: определение медленно меняющегося параметра T_e / T_i , входящего в профиль мощности, с целью учета его влияния на профиль электронной концентрации N_e ; решение нелинейного уравнения на N_e .

В работе представлены описания алгоритмов и результаты обработки реальных профилей и их сравнение с данными вертикального зондирования.

The radiowaves incoherent scattering (IS) method is most informative of the top atmosphere diagnostics ground means in the big interval of heights and permit to measure simultaneously some parameters of ionosphere plasma with the high spatio-temporal resolution.

The Irkutsk radar IS has one linear polarization of field that essentially differences it from specialized IS radars. The main difference is in quasiperiodic fading of signal on the input of the linear polarized antenna taking place due to Faraday effect (rotations of high-frequency radiowave polarization plane in the plasma is located in an external magnetic field). Faraday fading of signal bring essential complications at creation of secondary processing methods, but they can be used for absolute altitude electron density profile measurement on IS signal power variations.

Modern requirements of experiment demand the development of methods and algorithms allowing to define automatically spatio-temporal distributions of ionospheric parameters in real time or almost real time.

The present work is devoted to definition of electron density profile in an automatic mode and almost real time according to Irkutsk radar NR data.

Primary processing of a signal at electron density profile definition includes a filtration of Faraday fading profile for noise elimination with automatic selection of the filter parameters depending on noise level and a kind of a signal.

Secondary processing consist of the following stages: definition of slowly varying parameter T_e / T_i incoming in power profile for taking into account of its influence on electron density profile N_e ; the solution of the nonlinear equation on N_e .

The algorithms and the results of real profile processing descriptions and their comparison with the vertical sounding data are submitted in the work.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

П.А. Седых, Е.А. Пономарев

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

ELECTRODYNAMICS OF PROCESSES IN THE BOW SHOCK REGION.

P.A. Sedykh, E.A. Ponomarev

В предыдущих наших работах было показано, что головная ударная волна является преобразователем кинетической энергии солнечного ветра в тепловую и электромагнитную. При обтекании магнитосферной полости структура течения солнечного ветра нарушается, вместе с ним искажаются и магнитные силовые линии межпланетного магнитного поля (ММП). Это означает появление в околоземном космическом пространстве системы электрических токов. Поскольку замагниченная плазма солнечного ветра движется со скоростью солнечного ветра в системе координат головной ударной волны, в этой системе появляется электрическое поле. Таким образом, в околоземном космическом пространстве, оказывается, размещен генератор электрической мощности. При определенных условиях часть этой мощности может расходоваться на поддержание магнитосферных процессов. В предыдущей работе мы уже рассматривали эту проблему, однако лишь для случая, когда B_y -компонента ММП отсутствует, а параметры солнечного ветра фиксированы и соответствуют средним.

В этой работе мы предлагаем аналитическое решение проблемы, также связанное с ограничениями, но уже другого характера. Основная задача настоящей работы – уточнение зависимости выходных параметров этого МГД-генератора от параметров солнечного ветра.

In our previous paper it was shown, that bow shock is the transformer of solar wind kinetic energy into thermal and electromagnetic one. At flow of the magnetosphere, the structure of solar wind flux is upset, together with it the force magnetic lines of an interplanetary magnetic field (IMF) are garbled also. And it means occurrence the system of electric currents in near earth space. As the magnetized plasma of solar wind goes with solar wind velocity in the bow shock coordinate system, in this system there is an electric field. Thus, in near earth space, it appears, the generator of electrical power is located. Under certain conditions part of this power can be spent for maintenance of magnetospheric processes. In the previous paper we already researched this problem, however only for a case, when IMF B_y -component misses, and the parameters of solar wind are constant and correspond to medial.

In this paper we offer the analytical solution of a problem, as connected with restrictions, but already of other character. A primal purpose of the present paper is improvement of MHD-generator output parameters dependence from the solar wind parameters.

МИКРОСПУТНИК «УНИВЕРСИТЕТСКИЙ–ТАТЬЯНА»: ОПИСАНИЕ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

С.А. Красоткин, М.И. Панасюк, Е.А. Сигаева, И.В. Яшин

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

SUPER SMALL SATELLITE “UNIVERSITETSKIY–TATYANA”: DESCRIPTION AND THE FIRST RESULTS

S.A. Krasotkin, M.I. Panasyuk, E.A. Sigaeva, I.V. Yashin

Belka@srd.sinp.msu.ru

Спутник «Университетский–Татьяна» запущен 20 января 2005 г. в 6 ч по московскому времени с космодрома Плесецк ракетой «Космос-3М» в рамках совместной программы МГУ и Министерства Обороны России.

Университетский спутник относится к классу микроспутников, его масса – около 23 кг. Высота расчетной круговой орбиты – 970 км при наклонении 83° . Он ориентирован на Землю (с точностью $\pm 1.0^\circ$). Ожидаемый (расчетный) срок активного существования – 1–3 года. Научная аппаратура спутника разработана и изготовлена в МГУ, сам спутник – в КБ «Полет» (г. Омск). Вес полезной нагрузки спутника составляет около 7 кг, потребление энергии – менее 4.6 Вт. Информация со спутника передается в радиолобительском диапазоне на частоте 435215 кГц.

Запуск спутника задуман и осуществлен в рамках космической научно-образовательной программы «МГУ-250», предусматривающей среди других направлений деятельности в области космической науки и образования создание недорогой космической платформы для экспериментов в космосе силами ученых, преподавателей и студентов МГУ.

Реализация программы исследований на спутнике включает эксперименты по изучению радиационной обстановки вблизи Земли, космических частиц высокой энергии, ультрафиолетового фонового излучения ночной атмосферы и полярных сияний, вариаций магнитного поля Земли и радиационной стойкости бортовой электроники.

Для этих исследований на борту спутника размещен комплекс аппаратуры:

- детекторы космической радиации и космических лучей, которые позволяют измерять потоки заряженных частиц в околоземном пространстве в очень широком диапазоне энергий от десятков до миллионов эВ (этот диапазон перекрывает энергии практически всех частиц как радиационных поясов Земли, так и космических лучей, генерируемых на Солнце во время усиления солнечной активности);
- детектор ультрафиолетового излучения, измеряющий фоновое свечение ночной атмосферы и свечение полярных сияний в авроральной области во время магнитных бурь;
- магнитометр – прибор для измерений магнитного поля Земли, который определяет его изменения во время магнитных бурь;
- датчик цифровых сбоев микросхем для выявления влияния изменений радиационной обстановки в космосе на функционирование современной электронной базы спутниковой аппаратуры.

Использование в составе научной аппаратуры детекторов разных типов (полупроводниковых, газоразрядных, сцинтилляционных) позволяет регистрировать заряженные частицы в различных энергетических диапазонах: электроны с энергией более 40 кэВ, 70 кэВ, 3.5 МэВ, 5 МэВ, 11 МэВ, 18 МэВ, а также в диапазонах 0.3–0.6 МэВ и 0.6–0.8 МэВ; протоны с энергией более 0.8 МэВ, 1 МэВ, 7 МэВ, 20 МэВ, 23 МэВ, 40 МэВ, 60 МэВ, а также в энергетических диапазонах 2.2–14 МэВ, 1–100 МэВ, 7–15 МэВ, 15–40 МэВ и 40–100 МэВ; β -частицы с энергией более 240 МэВ.

Полярная круговая орбита спутника пересекает все области околоземного космического пространства: полярные шапки, авроральную область, внешний и внутренний радиационный пояса. Поэтому научная информация, получаемая со спутника, интересна как для исследовательских, так и для образовательных целей, которые предусматривают создание интерактивных задач на основе информации, получаемой со спутника.

Наряду с подробным описанием аппаратуры спутника «Университетский–Татьяна» доклад содержит описание первых научных и образовательных результатов, а также перспектив спутникового проекта.

Universitetskiy (Tatyana) satellite was launched on January 20, 2005 at 6 o'clock Moscow time from Plesetsk space-launch complex by “KOSMOS-3M” carrier rocket within the framework of the joint program of the Moscow State University and the Ministry of Defense of Russia.

Universitetskiy satellite belongs to microsattelites (super small satellites) class, its weight is about 23 kg. Altitude of calculated orbit is 1000 km, inclination is 83° . The satellite is oriented on the Earth to within $\pm 1^\circ$. Calculated period of active life is about 1–3 years. Scientific payload of the satellite was constructed and developed in the Moscow State University, the satellite itself is manufactured by Production Corporation “Polyot” (Omsk). The weight of the satellite payload is about 7 kg, power consumption is less than 4.6 W. The information from the satellite is transmitted at the frequency of 435215 kHz (radio amateur range).

Universitetskiy (Tatyana) satellite was developed and launched within the bounds of space scientific and educational program “MSU-250”, which among other activity directions in the area of space science and education stipulates development of inexpensive space platform for space experiments with efforts of University scientists, teachers and students. The satellite’s launch may become the pilot project, which will be continued in order to solve many urgent tasks of space science and education.

The scientific program of Universitetskiy (Tatyana) satellite includes the detailed study of radiation conditions near the Earth, high energy cosmic particles, UV background glow of the night atmosphere and aurora, variations of the magnetic field of the Earth and radiation stability of onboard electronics.

To carry out the mentioned experiments there is following equipment onboard of the satellite:

Space radiation and cosmic rays detectors, which measure the charged particles flux in the near-Earth space in wide range of energies – from dozens up to millions eV (this range covers almost all particles both from the radiation belts of the Earth and of the cosmic rays, generated on the Sun during the periods of high solar activity).

UV detector, which measure background night atmospheric glow and auroral glow in the auroral zone during the magnetic storms.

Magnetometer, which measures the magnetic field of the Earth and determines its change during the magnetic storms.

IC failure pickup unit for revealing how the changes of the space radiation conditions influence modern electronic satellite's equipment.

Using the different types of detectors (semiconductor, gas-discharge, scintillation) with different cover thickness as components of the satellite's payload charged particles within different ranges of energy are registered:

- electrons with energy over 40 keV, 70 keV, 3.5 MeV, 5 MeV, 11 MeV, 18 MeV, and within energetic ranges of 0.3–0.6 MeV and 0.6–0.8 MeV;
- protons with energy over 0.8 MeV, 1 MeV, 7 MeV, 20 MeV, 23 MeV, 40 MeV, 60 MeV, and within energetic ranges of 2.2–14 MeV, 1–100 MeV, 7–15 MeV, 15–40 MeV and 40–100 MeV;
- alfa-particles with energy over 240 MeV.

The polar circular orbit of the satellite covers all the regions of the near-Earth space: polar cap, aurora, outer and inner radiation belts. Therefore the scientific information from the satellite is of high interest both for research and educational purposes, the second of which stipulates development of interactive demonstrations and exercises on the basis of the scientific information obtained from the satellite.

Equally with detailed description of the scientific payload of the satellite Universitetsiy (Tatyana) the report includes description of the first scientific and educational results, and the perspectives of the satellite operation.

СВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДОЙ И ПРОЦЕССАМИ НА СОЛНЦЕ

Б.М. Кузевский, О.Ю. Нечаев, Е.А. Сигаева

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ, Москва
Belka@srd.sinp.msu.ru

THE VARIATIONS OF THE NEUTRON FIELD OF THE EARTH ASSOCIATED WITH SPACE WEATHER AND THE PROCESSES ON THE SUN

Б.М. Kuzhevskij, O.Yu. Nechaev, E.A. Sigaeva

С 1993 г. в Москве работает экспериментальная установка по регистрации нейтронов тепловых и медленных энергий вблизи земной коры. В ее состав входят стандартные нейтронные счетчики СИ-19Н, наполненные газом ^3He . Эффективность регистрации нейтронов этими счетчиками растет с уменьшением энергии, и для тепловых нейтронов составляет 0.8. В настоящее время установка работает круглосуточно, ее конфигурация позволяет регистрировать отдельно потоки нейтронов верхней и из нижней полусфер.

Экспериментальные данные, полученные в процессе изучения нейтронов в земной атмосфере, указывают на то, что помимо хорошо известного источника нейтронов в земной атмосфере – космических лучей – вблизи земной коры присутствует еще как минимум один источник, роль которого может выполнять сама земная кора за счет содержащихся в ней радиоактивных газов. Проведенные расчеты показали, что их вклад в концентрацию нейтронов с энергией $E \leq 0.45$ эВ составляет для различных областей от нескольких процентов почти до ста процентов.

Следовательно, поскольку вклад земной коры в общий поток нейтронов обусловлен распадом содержащихся в ней радиоактивных газов, любое изменение условий выхода этих газов на поверхность будет приводить к вариациям нейтронного потока вблизи земной поверхности, т.е. нейтронный поток вблизи земной коры должен отражать геодинамические процессы, в частности, сейсмическую активность и вулканическую деятельность. Такая связь между геодинамикой и вариациями потока нейтронов наблюдается как в сейсмически активных районах (например, Тянь-Шань и Камчатка), так и в сейсмически спокойных (Москва) – естественно, в более слабой степени.

Однако полученные экспериментальные данные показывают, что нейтроны вблизи земной коры отражают и процессы в межпланетном пространстве и на Солнце. Причем наблюдаемые вариации в нейтронном потоке могут быть обусловлены изменением не только потока космических лучей, но и вклада нейтронов от земной коры. Исследования вариаций нейтронного излучения вблизи земной коры показали, что при изменении полярности межпланетного магнитного поля (ММП) на земную кору оказывается воздействие, приводящее к изменению величины нейтронного потока от земной поверхности. Анализ основывался на информации за 39 месяцев с 1999 по 2003 г. За это время полярность ММП около Земли изменялась примерно 116 раз. Как правило изменение полярности ММП сопровождается сильными вариациями напряженности ММП, которая меняется в несколько раз, иногда на порядок. Нейтронная аппаратура за это время зарегистрировала более 350 всплесков различной амплитуды, из которых 80 по времени совпали с изменениями

полярности и началом вариаций напряженности ММП, а около 40 – с сильными вариациями напряженности поля, не сопровождавшимися сменой его полярности.

В 1999 г. одновременно с установкой в Москве проводилась регистрация нейтронов на Тянь-Шане, и удалось зафиксировать возмущения, связанные с пересечением границ ММП, одновременно в этих двух точках, расстояние между которыми составляет нескольких тысяч километров. Потоки нейтронов в Москве и на Тянь-Шане возрастали одновременно с точностью до нескольких минут, в отличие от вариаций нейтронов, связанных с лунными фазами, которые в различных точках наблюдаются в различное время.

Причиной возникновения возмущений в потоке тепловых и медленных нейтронов вблизи земной коры при смене полярности ММП может послужить электромагнитострикционный эффект, который заключается в том, что при изменении напряженности ММП земная кора испытывает напряжения и деформации, которые приводят к изменению потока тепловых и медленных нейтронов. В пользу этого говорит и изучение распределения сильных землетрясений в зависимости от их удаленности от дня смены полярности ММП на основе анализа массива из 772 землетрясений с магнитудой более 6.3, произошедших по всей Земле за период с 1972 по 1993 гг. Более двух третей этих землетрясений произошло в течение периода ± 2 дня вокруг дня смены полярности ММП. Полученный результат показывает, что сейсмическая активность Земли усиливается в периоды смены знака ММП вблизи Земли, т.е. под воздействием того же электромагнитострикционного механизма.

Beginning with 1993 the experimental plant detecting the neutrons of thermal and slow energies near the Earth crust is under operation in Moscow. It consists of standard neutron counters SI-19 N, filled with ^3He gas. Efficiency of neutrons' registration by means of such counters increases with energy's diminishing, and for thermal neutrons it's value is about 0.8. Now the experimental plant is under 24-hours operation and its configuration allows to detect neutron flux from the upper and from the lower hemispheres separately.

The experimental data, obtained during the studies of the neutrons in the Earth's atmosphere, point out that apart from a well-known source of the neutrons – cosmic rays, there is at least one more source. The role of this source of neutrons can be played by the Earth crust itself owing to the radioactive gases, contained in it. The calculations have shown that their impact to the concentration of the neutrons with energy $E \leq 0.45$ eV changes for different regions from several percents up to about 100 %.

Therefore as the impact of the Earth crust to the total neutron flux depends on the radioactive gases decay, than each change of their output conditions will result in variations of the neutron flux near the Earth surface. That is the neutron flux near the Earth crust must reflect geodynamical processes, in particular, seismic and volcanic activity. This connection between geodynamical processes and the variations of the neutron flux is observed both in seismically active (Tyan-Shyan, Kamchatka) and in seismically passive (Moscow) regions – certainly, at weaker rate.

But at the same time the obtained experimental data show that the neutrons near the Earth crust also reflect the processes in the interplanetary space and on the Sun. The observed variations of the neutron flux can be dependent not only from the changes of the cosmic rays flow, but also from the change of the Earth crust neutron impact.

The studies of the neutron radiation variations near the Earth crust have shown that during the change of the Interplanetary Magnetic Field (IMF) polarity the Earth crust feels the influence, which results in the variations of the neutron flux directed from the Earth's surface. The study is based on the information of 39 months for the period of 1999-2003. During this period the IMF polarity has changed 116 times. As a rule, the IMF polarity change is accompanied with strong variations of its intensity, which changes several times, sometimes dozens of times. During the observed period the neutron detecting equipment have detected over 350 splashes of different amplitude, 80 of which coincided with the changes of the IMF polarity and with the beginning of the IMF intensity variations, and about 40 – with strong variations of the IMF intensity without change of its polarity.

In 1999 the neutrons were detected simultaneously in Moscow and Tyan-Shyan, and we have fixed the splashes associated with change of the IMF polarity in these two points, distance between which is several thousands kilometers. The neutron fluxes in Moscow and in Tyan-Shyan increased simultaneously to within several minutes, in contrast to neutron variations associated with phases of the Moon, which were observed in several points in different time.

The reason of such variations of thermal and slow neutrons flux near the Earth crust during the changes of the IMF polarity can be electromagnetostriction mechanism, which consists of the Earth crust stresses and deformations under the influence of the IMF polarity change, which in turn leads to the changes of thermal and slow neutrons flux.

The results of the studies of strong earthquakes distribution depending on their temporal remote from the day of the IMF polarity change is also in favour of the proposed mechanism. This study is based on the array of 772 earthquakes with magnitude over 6.3 which took place all over the Earth during the period of 1972–1993. Over 65 % of these earthquakes happened during ± 2 -days period around the day of IMF polarity change. This result shows that the seismic activity of the Earth increases during the periods of the IMF sign changes near the Earth under the influence of the same electromagnetostrictional effect.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ НАКЛОННОГО И ВОЗВРАТНО-НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ ИОНОСФЕРЫ

А.В. Сударчиков, Н.Т. Афанасьев

Иркутский государственный университет, Иркутск
sav@irtel.ru

RESEARCH OF CONNECTION OF STRUCTURE OF SIGNALS OBLIQUE AND BACKSCATTER PROBING OF THE RANDOM-NONUNIFORM IONOSPHERE

A.V. Sudarchikov, N.T. Afanasjev

В последнее время в практике радиосвязи значительное внимание уделяется вопросам расширения диапазона рабочих частот при передаче информации через ионосферный радиоканал. Успешное решение этой задачи во многом зависит от возможностей прогнозирования условий распространения радиоволн в неоднородной ионосфере. В силу быстрой изменчивости свойств и параметров ионосферы усредненные модели среды часто не удовлетворяют запросы практиков, поэтому на передний план выходит задача оперативного прогнозирования рабочих частот. Обычно оперативный прогноз частот обеспечивается за счет привлечения различных систем зондирования: вертикального, наклонного (НЗ), возвратно-наклонного (ВНЗ) и транс-ионосферного. С помощью решения обратной задачи по данным зондирования определяют ряд ионосферных параметров, корректируют усредненную модель электронной концентрации, а затем в исправленной модели рассчитывают диапазон возможных рабочих частот. Кроме традиционного оперативного прогноза, получил развитие иной подход, базирующийся на так называемой прямой диагностике ионосферного радиоканала, когда параметры пробного зондирующего сигнала пересчитываются в характеристики основного передаваемого сигнала [1]. На этом пути получены важные результаты, касающиеся прогнозирования максимально-применимой частоты (МПЧ) и дистанционно-частотных характеристик различных мод сигнала в широком классе геофизических условий [2]. Точность оперативного прогноза, основанного на прямой диагностике радиоканала, во многом зависит от справедливости функциональных соотношений, связывающих структуру пробного и основного сигналов. Как правило, такие соотношения находят для регулярной ионосферы без учета ее неоднородностей, хотя совершенно понятно, что при распространении сигнала в случайно-неоднородной ионосфере эти соотношения будут другими. Кроме того, функциональные соотношения для регулярной ионосферы не учитывают аномальные способы распространения основного и пробного сигналов, связанные с эффектами тонкой структуры ионосферы. Например, хорошо известно, что рассеяние дециметровых радиоволн на случайных неоднородностях может обеспечить прохождение сигнала на частотах выше классической МПЧ более чем на 1 МГц. Таким образом, учет влияния ионосферных неоднородностей, которые практически всегда существуют на радиотрассах, может способствовать расширению диапазона рабочих частот. В работе получены функциональные соотношения, связывающие среднюю интенсивность дециметровых сигналов при НЗ и ВНЗ случайно-неоднородной ионосферы. Численное моделирование показало, что передний фронт сигнала при ВНЗ формируется, главным образом, за счет волн, рассеянных мелкомасштабными земными неровностями в окрестности границы зоны тени. Кроме того, за счет рассеяния волн на ионосферных неоднородностях оказывается возможным формирование сигнала ВНЗ и из глубины зоны тени. В результате минимальное время распространения сигнала при ВНЗ случайно-неоднородной ионосферы становится меньше времени прихода крутого переднего фронта сигнала при его распространении в регулярной среде. Теоретические расчеты показали, что крутизна переднего фронта сигнала ВНЗ существенно зависит от интенсивности и масштабов рассеивающих ионосферных неоднородностей. Измеряя наклон переднего фронта пробного сигнала при ВНЗ и используя полученные в работе соотношения, можно предсказать диапазон рабочих частот при наклонном распространении основного сигнала на частотах выше МПЧ, не привлекая решения обратной задачи определения параметров ионосферных неоднородностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алебастров В.А., Гойхман Э.И., Заморин И.М. и др. Основы загоризонтной радиолокации. М.: Радио и связь, 1984. 256 с.
2. Куркин В.И., Носов В.Е., Пономарчук С.Н. и др. // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1993. Вып. 100. С.168–188.

Recently in radio communication much attention is paid to questions of expansion of operating frequencies range at an information communication through an ionospheric radio channel. The successful solution of this problem depends on opportunities of forecasting of propagation conditions of radio waves in the nonuniform ionosphere. By virtue of prompt variability of properties and parameters of ionosphere average models of medium frequently do not satisfy practical requests, therefore on the foreground there is a problem of operative forecasting of operating frequencies. Normally operative forecast of frequencies is provided due to attraction of various systems of sondage: vertical, oblique (OS), backscatter (BSS) and transionospheric. With the help of the solution of the backward problem according to sondage determine a series of ionospheric parameters, correct average model of an electron concentration, and then in rectified model expect a gamut of possible operating frequencies. Except the traditional operative forecast continues to develop other approach basing on, so-called, direct diagnostics of an ionospheric radio channel when parameters of a trial sounding signal are recalculated in performances of the basic transmitted signal [1]. On this trajectory the important results concerning forecasting of maximum applicable frequency (MAF) and remotely - frequency characteristics of various modes of a signal in a wide class of geophysical requirements [2] are received. Precision of the operative forecast based on direct diagnostics of a radio channel, in many respects depends on validity of the functional relations linking structure of trial and basic signals. As a rule, such relations are

found for the regular ionosphere without taking into account its inhomogeneities. Though it is completely clear, that at distribution of a signal to the random-nonuniform ionosphere these relations will be others. Besides the functional relations for the regular ionosphere do not take into account the abnormal expedients of distribution of the basic and trial signals, the bound with effects of a fine structure of an ionosphere. For example, it is known, that the dispersion of decameter radio waves on random inhomogeneities can ensure passage of a signal on frequencies above classical MAF more than on 1 MHz. Thus, the account of influence of ionospheric inhomogeneities which practically always exist on radio paths, can promote expansion of a gamut of operating frequencies. In operation the functional relations linking medial intensity of decameter signals at oblique and reflexive-oblique sondage of the random-nonuniform ionosphere are received. Numerical model operation has shown, that the leading edge of a signal at BSS is shaped, mainly, due to waves, dispelled by small-scale ground unevennesses in the vicinity of border of a shadow zone. Besides, due to a wave diffusion on ionospheric inhomogeneities there is possible a shaping of signal BSS and from depth of a shadow zone. As a result, the underload time of distribution of a signal at BSS the random-nonuniform ionosphere becomes less time of arrival of a steep leading edge of a signal at its distribution to the regular medium. Theoretical calculations show that the steepness of a leading edge of signal BSS essentially depends on intensity and gauges of scattering ionospheric inhomogeneities. Measuring a declination of a leading edge of a trial signal at BSS and using the relations received in operation, it is possible to predict a gamut of operating frequencies at oblique distribution of a base signal on frequencies above MAF, not involving the solution of the backward problem of definition of parameters of ionospheric inhomogeneities.

ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ GPS В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

П.В. Татаринов

Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище (Военный институт)
t_pav_vlad@mail.ru

ORBITAL GPS USERS POSITIONING ERRORS IN DISTURBED CONDITIONS OF NEAR-EARTH SPACE ENVIRONMENT

P.V. Tatarinov

Развитие космических систем и технологий расширяет круг исследовательских и прикладных задач, решаемых такими системами. При этом требования к навигационному обеспечению орбитальных объектов, входящих в состав различных космических систем, постоянно возрастают. Применение спутниковых радионавигационных систем (СРНС) для решения задач навигации орбитальных объектов позволяет значительно повысить точность определения координат и параметров движения таких объектов.

Качество функционирования СРНС в значительной мере зависит от состояния околоземного космического пространства (ОКП). В работе [1] показано, что во время геомагнитных возмущений в ОКП происходит ухудшение качества функционирования СРНС и, как следствие, снижение точности позиционирования и появление сбоев в определении координат наземных потребителей навигационной информации.

В последнее время появились работы по исследованию флуктуаций амплитуды и фазы дециметровых радиоволн на трассах спутник–спутник [2]. Однако с точки зрения орбитального потребителя СРНС значительно больший интерес представляют исследования качества функционирования СРНС как системы определения местоположения.

Целью исследования является оценка точности координат орбитальных потребителей СРНС GPS при различных уровнях возмущенности ОКП. В качестве орбитального объекта для эксперимента был выбран низкоорбитальный спутник CHAMP, оснащенный двухчастотным GPS-приемником. Параметры орбиты спутника: угол наклонения 87.3° , высота ~ 400 км, период обращения составляет 93.55 мин.

Для проведения исследований была создана база данных, включающая RINEX-файлы, содержащие данные измерений фазовых и кодовых задержек сигналов, навигационные RINEX-файлы для спутников GPS, а также файлы, содержащие высокоточные координаты спутника CHAMP, предоставляемые Центром геофизических исследований (Потсдам, Германия).

Автором разработана методика оценки погрешностей позиционирования орбитальных потребителей СРНС и на основе сформированной базы данных была проведена статистическая оценка точности позиционирования спутника CHAMP в различных геофизических условиях. При проведении эксперимента были обработаны данные за период с 1 января по 31 декабря 2003 г. в различных геофизических условиях.

По результатам исследований сделан вывод, что как в магнитоспокойных, так и в возмущенных условиях наиболее вероятная ошибка определения местоположения спутника CHAMP находится в пределах 0–10 м., что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к навигационному обеспечению объектов данного класса [3]. Однако в периоды сильных геомагнитных возмущений вероятность появления значительной ошибки более 30 м \sim в 1.5 раза выше, чем в магнитоспокойных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afraimovich E.L., Demyanov V.V., Kondakova T.N. GPS Solutions. 2003. V. 7, N 2. P. 109–119.
2. Викерт Й., Яковлев О.И., Павельев А.Г. и др. // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49, № 10. С. 1184–1191.
3. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. М.: ИПРЖР, 1998. 400 с.

Development of space systems and technologies expands a circle of the research and applied problems decided by such systems. Thus requirements to navigating maintenance of the orbital objects included in various space systems constantly grow. Application of satellite navigation systems (SNS) for the decision of orbital objects navigation tasks allows to increase considerably accuracy of coordinates and parameters of movement definition of such objects.

Operation quality of the SNS appreciably depends on a condition of a near-Earth space environment (NSE). In [1] it was shown, that during geomagnetic disturbances in NSE there is deterioration of SNS operation quality and, as consequence, reduction of positioning accuracy and occurrence of failures in definition of ground users navigating information coordinates.

Recently works on research of fluctuations of amplitude and a phase of decimeter radiowaves on lines «satellite - satellite» [2] have appeared. However from the viewpoint of SNS orbital users the much greater interest researches of SNS operation quality as represent systems of definition of a site.

The purpose of research is the estimation of SNS GPS orbital users coordinates accuracy at various levels disturbances in NSE. For experiment has been chosen low Earth orbiter CHAMP equipped two-frequency GPS-receiver. Parameters of the satellite orbit: inclination 87.3°, height ~ 400 km, a cycle time makes 93.55 minutes.

For carrying out of researches the database including RINEX - the files containing the data of measurements of phase and code delays of signals, navigating RINEX-files for satellites GPS, and also the files containing precision coordinates of satellite CHAMP, given by the Center of geophysical researches (Potsdam, Germany) has been created.

The author develops a technique of SNS orbital users positioning errors estimation and on the basis of the generated database the statistical estimation of satellite CHAMP positioning accuracy in various geophysical conditions has been lead. At carrying out of experiment it has been processed more than 100 flights in undisturbed and about 70 flights in disturbed geomagnetic conditions.

By results of researches the conclusion is made, that both in undisturbed, and in the disturbed geomagnetic conditions the most probable mistake of satellite CHAMP site definition is within the limits of 0–10 m, that meets the requirements, showed to navigation maintenance of the given class objects [3]. However in disturbed geomagnetic conditions probability of a significant mistake occurrence upper of 30 m in ~ 1.5 times are higher, then in undisturbed conditions.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ
НЕСКОЛЬКИХ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

А.В. Медведев, К.Г. Ратовский, М.В. Толстик

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

INVESTIGATION OF TRAVELING IONOSPHERIC DISTURBANCES ON THE BASE OF SIMULTANEOUS MEASUREMENTS MADE WITH SEVERAL RADIOPHYSICS TOOLS

A.V. Medvedev, K.G. Ratovsky, M.V. Tolstikov

В ионосфере практически всегда присутствуют возмущения электронной концентрации относительно фоновых значений или, другими словами, флуктуации параметров плазмы самых различных временных и пространственных масштабов, которые принято называть ионосферными неоднородностями. Наблюдения за перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИБ) необходимы для изучения связей между ионосферой и плазмосферой, ионосферой и нейтральной атмосферой, а также различными областями ионосферы. Несмотря на большой объем проведенных в последние годы исследований, остается немало нерешенных вопросов в описании генерации и распространения ПИБ и их влияния на земную атмосферу.

В работе рассматривается методика определения параметров ПИБ с помощью корреляционного анализа данных радара некогерентного рассеяния и ионозонда вертикального зондирования ИСЗФ СО РАН. Минимальным базисом для определения высотно-временных параметров ПИБ являются три луча, которые не лежат в одной плоскости. Иркутский радар НР обладает возможностью электронного сканирования в меридиональной плоскости. Для определения характеристик движения ПИБ вдоль широты был использован высотный профиль электронной концентрации, получаемый с помощью ионозонда DPS-4. Ионозонд DPS-4 расположен непосредственно в Иркутске. Радар НР расположен в 98 км к северо-западу от Иркутска. Особенность Иркутского радара НР заключается в том, что высотный профиль электронной концентрации измеряется на нем методом фарадеевских замираний и, следовательно, не требует калибровки ионозондом.

Таким образом инструменты позволяют измерять профиль электронной концентрации независимо друг от друга в пространственно разнесенных точках. Взаимное расположение инструментов образует базис с характерным расстоянием порядка 100 км и дает возможность измерения характеристик движения ПИВ.

Ионозонд измеряет электронную концентрацию как функцию времени и высоты над поверхностью Земли, а радар – как функцию наклонной дальности вдоль луча. Из суточного хода электронной концентрации ПИВ различных масштабов могут быть выделены полосовой фильтрацией. В основе метода определения параметров ПИВ лежит измерение относительных задержек между возмущениями электронной концентрации, полученными различными приборами на различных высотах. Измерения между точками, не лежащими в одной плоскости, позволяют получить параметры распространения ПИВ решением системы линейных уравнений. Измерения на сетке высот дают возможность изучения высотной структуры возмущений. Поскольку для ионосферы наиболее часто реализуется интерференция различных возмущений важной составляющей метода является высотно-временная фильтрация различных возмущений.

В работе приводятся результаты применения метода к исследованию ПИВ во время сильных геомагнитных возмущений, а также для необычно сильного возмущения высоты максимума F2-слоя в геомагнитно-спокойный день.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 03-05-64627 и № 03-05-64527) и в рамках гранта НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации.

Electron density disturbances of different scales are universally present in ionosphere. The observations of traveling ionospheric disturbances (TID) are necessary for an investigation of connections between an ionosphere and plasmasphere, ionosphere and neutral atmosphere, as well as between various areas of an ionosphere. Despite of major volume of the investigations, carried out per last years, there are many unsolved problems in description of generation and propagation of TID, and its influence on an Earth's atmosphere.

The procedure of TID parameters determination with the correlation analysis of the incoherent scattering radar and ionosonde data is considered in the paper. Minimum base for TID parameters determination is the array of three radar beams, which don't lie in the same plane. The Irkutsk incoherent scattering radar has a possibility for scanning in a meridional plane. As an alternative to radar beam in a latitude plane we used the height electron density profile, obtained with the DPS-4 ionosonde. DPS-4 is located immediately in Irkutsk. The incoherent scattering radar is 98 km distant northwest of Irkutsk. The distinctive property of Irkutsk incoherent scattering radar implies that the electron density profile is measured by the Faraday rotation method and hence has no need of calibration by ionosonde. By this means the tools allow to measure electron density profile independently of one another in the spaced points. The relative positions of the tools form basis with typical scale about 100 km and make possible measuring TID dynamic characteristics.

The ionosonde measures an electron density as function of time and height above Earth surface and the radar as function of slanted distance along a beam. TID of different scales can be chosen from electron density diurnal variation by band-pass filtering. The basis for TID parameters determination method is the measurement of relative delays between electron density disturbances obtained by different tools at different heights. The delay measurements in spaced points, which don't lie in the same plane, allow obtaining TID propagation parameters by solution of a system of the linear equations. The measurements at different heights provide a way for disturbance height structure investigation. Because interference of various disturbances frequently occurs in ionosphere, important component of the method is the height-temporal filtering of disturbances.

In the paper there are results of the method application for TID investigation during strong geomagnetic disturbances, as well as for extraordinary strong perturbation of F2-layer peak height in time of geomagnetically quiet day.

This work was done with support of the Russian fund of basic researches (grants № 03-05-64627 and № 03-05-64527) and within the framework of the grant NSh-272.2003.5 of state support of leading scientific schools of Russian Federation.

ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОЛИГОНА ВЛАДИМИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ПО НЕПРЕРЫВНЫМ СИНХРОННЫМ РЕГИСТРАЦИЯМ КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТНЫХ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ МНОГОКАНАЛЬНЫМ ПРИЕМНЫМ КОМПЛЕКСОМ

М.Ю. Федотов, М.С. Соколов

Владимирский государственный университет, Владимир
grunsk@vpti.vladimir.ru

THE CARRYING OUT OF THE FIELD INVESTIGATIONS ON THE TERRITORY OF THE EXPERIMENTAL PHYSICAL GROUND OF VLADIMIR STATE UNIVERSITY ON THE CONTINUOUS SYNCHRONIC RECORDING OF THE ELECTROMAGNETIC EARTH FIELD ELF VARIATIONS BY THE MULTIPLEX RECEIVING SYSTEM

M.Yu. Fedotov, M.S. Sokolov

В полевых исследованиях 2004 г. для сбора и регистрации экспериментальных данных впервые в полном объеме введена цифровая система регистрации в многоканальном приемном комплексе. Отличительными особенностями системы является аналого-цифровое преобразование сигналов непосредственно в месте их получения и использование для связи надежной помехозащищенной цифровой сети на основе промышленного интерфейса RS-485. Осуществлена привязка результатов измерений к системе единого времени с использованием спутниковой системы глобального позиционирования GPS. Разработана программа автоматического сбора данных, предназначенная для приема информации из специализированного контроллера через последовательный порт RS-232. Созданы, проградуированы и включены в работу экспериментального комплекса два флюксметра с загерметизированной электронной частью. Созданы, протестированы и включены в работу приемного комплекса три электрометрических усилителя на базе твердотельного буфер-усилителя AD549JH. Модернизирована метеостанция с цифровым каналом передачи информации, обеспечивающим полную интеграцию с приемно-регистрирующим комплексом (датчики температуры, давления, влажности, скорости ветра, радиационного фона). В 2004 г. проведены непрерывные синхронные регистрации 14-канальным приемным комплексом на экспериментальном полигоне электрического поля в приземном слое, магнитного поля (D-компоненты), вариаций температуры, атмосферного давления, влажности, радиационного фона, скорости ветра. В процессе регистраций осуществлялась калибровка и тестирование приемно-регистрирующей аппаратуры. Синхронно с работой приемного комплекса на экспериментальном полигоне в 2003 г. запущен новый приемный комплекс на крыше радиокорпуса ВлГУ: электростатический флюксметр, феррозондовый магнитометр (H-компонента), метеостанция. Расстояние между комплексами 50 км. Работа комплекса рассчитана на непрерывный режим. На основе многоканального синхронного мониторинга в 2004 г. получены экспериментальные данные по четырехмесячным непрерывным регистрациям 14-канальным комплексом на экспериментальном полигоне и годовые непрерывные регистрации 5-канальным комплексом в ВлГУ.

Работа осуществлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: гранты РФФИ № 01-05-64652, № 04-05-64895.

During the field investigations in 2004 a digital recording system was introduced in a full volume in the multiplex receiving system for the first time in order to collect and to record the experimental data. The distinctive features of the system are an analog-digital conversion of the signals spontaneously in the place of receiving them and using a hopeful electronic anticounter digital system for a connection of the base of the industrial interface RS-485. The result of measurements were tied to the common timing system using the GPS global positioning satellite system. The automatic gathering program was elaborated intended for receiving of the information from the specialized controller through the consequent port RS-232. Three electromagnetic amplifiers on the base of buffer amplifier AD549IH were made, tested and included in the work of the receiving system. A meteorological watch office was modernized with a digital data transmission channel providing full integration with the receiving and recording system (temperature, pressure, humidity, wind speed, radiation background sensors). Two fluxmeters with a pressurized electronic part were made, calibrated and included in the work of the experimental system. Continuous synchronous recording of the magnetic field (D components), temperature variations, atmospheric pressure, humidity, radiation background, wind speed was done with 14-channel receiving system on the experimental ground of the electromagnetic field in the surface lower layer. During the process of the recording the receiving and recording equipment was calibrated and tested. In 2004 a new receiving system: an electrostatic fluxmeter, a ferroprobe magnetometer (of the H component), a meteorological watch office was started on the roof of the University building synchronously with the work of the receiving system on the experimental ground. The distance between the systems is 50 km. The operation of the system is estimated for the continuous regime. The experimental data according to the continuous recording for 4 months with the 14-channel system in Penkino and the continuous recording for a year with the 5-channel system in Vladimir State University were received in 2004 on the base of the multiplex synchronous monitoring.

The work is carried out with supporting of grants RFBR N 04-05-64895, Program STP №209.06.01.035.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ И ТОКОВ

Б.Г. Гаврилов, Д.Б. Собянин, Е.С. Хлыбов

Институт динамики геосфер РАН, Москва
khlybov@idg.chph.ras.ru

INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF LOCAL CONDUCTIVITY IN THE ARTIFICIAL LOWER IONOSPHERE ON DISTRIBUTION OF THE IONOSPHERE PLASMA DENSITY AND CURRENTS

B.G. Gavrilov , D.B. Sobyenin, E.S. Khlybov

Постановка задачи связана с исследованием эффектов, которые могут возникать при естественных и искусственных воздействиях на нижние слои ионосферы, приводящих к локальному изменению электронной температуры и, как следствие, к изменению проводимости в слоях замыкания продольных токов. Исследование влияния изменения проводимости в нижней ионосфере на распределение плотности ионосферной плазмы, токов и потоков заряженных частиц проводится в модельном лабораторном эксперименте в качественном виде, позволяющем изучать основные физические механизмы, ответственные за связь этих параметров. Потоки ионосферной плазмы моделируются генерацией плотной плазменной струи, распространяющейся перпендикулярно магнитному полю над искусственной нижней ионосферой, в которой замыкаются генерируемые плазменным потоком продольные токи. Над проводящей искусственной нижней ионосферой создаются области пониженной проводимости различных размеров. В экспериментах варьируются размеры, конфигурация и количество областей аномальной проводимости. В части экспериментов варьируется внешнее магнитное поле и энергия плазменной струи.

Эксперименты показали, что возникновение области пониженной проводимости в нижней ионосфере приводит к понижению плотности плазмы в магнитной силовой трубке, пронизывающей область модифицированной проводимости. Наблюдается также снижение плотности продольных токов (ПТ) и плотности потока ускоренных частиц, что приводит к уменьшению свечения в нижней ионосфере, вызванного потоками ионов и электронов. Распространение плазменной струи над ионосферой с циклически меняющейся проводимостью приводит к модуляции холловской составляющей горизонтальных ионосферных токов и генерации низкочастотного электромагнитного поля.

Утечка поляризационных зарядов через слои продольных токов приводит к уменьшению поперечного электрического поля $E_p = -V(B/c)$, т.е. приводит к деполаризации плазменной струи. В результате баланс сил, действующих на заряженные частицы нарушается, и плазменная струя отклоняется в направлении ларморовского вращения ионов. Эффективность деполаризации увеличивается на флангах струи, где плотность плазмы ниже, чем на оси струи.

Исследование влияния изменения локальной проводимости в цепи замыкания продольных токов на величину и конфигурацию продольных токов показало, что область уменьшенной проводимости имеет различное влияние на различные области ПТ. Это вызвано сложной трехмерной изменяющейся во времени конфигурацией магнитного поля, искаженного распространяющейся плазменной струей.

Усиление магнитного поля приводит к росту плотности продольных токов, увеличению потока и энергии ускоренных электронов. В результате происходит усиление свечения в области тока, вытекающего из ионосферы. Наблюдается сужение области свечения в этом слое тока, что свидетельствует о его сжатии собственным магнитным полем и локализации области ускорения электронов.

При исследовании распределения плотности плазмы над областью модифицированной проводимости нижней ионосферы обнаружен эффект «памяти плазмы», который выражается в том, что модуляция концентрации плазмы наблюдается в плазменном потоке за пределами области непосредственного влияния неоднородной проводимости нижней ионосферы.

Purpose of the work is an investigation in the laboratory model experiments phenomena, which could arise during natural and artificial impacts to the lower ionosphere that affect on electron temperature and conductivity in the regions of FAC closure. Investigation of influence of the lower ionosphere conductivity on distribution of currents, particle fluxes and plasma density is carried out qualitatively, but it gives a possibility to understand the essential physical mechanisms responsible for interdependence of this parameters. The ionospheric plasma fluxes are simulated by generation of dense plasma jet perpendicular to the magnetic field above the artificial lower ionosphere. At propagation across the magnetic field, plasma polarizes, and FAC are generated. In the model lower ionosphere FACs close as like as in the real ionosphere. During the experiments we create the regions of reduced conductivity in the lower ionosphere. The value of the magnetic field, plasma jet energy, and number, configuration, and size of the regions of modified conductivity can be changed according of the task of experiment.

In the experiments we revealed that appearing of the region of reduced conductivity in the lower ionosphere leads to depletion of plasma density in the magnetic flux tube that thread this region. We see also reduction of FACs and accelerated particles density that results in decrease of brightness of luminosity in the lower ionosphere induced by fluxes of accelerated ions and electrons. Propagation of the plasma jet over the ionosphere with cyclically variable conductivity results in Hall current modulation and low-frequency electromagnetic field generation.

Leakage of polarization charge throw FAC's layers result in decrease of transverse electric field $E_p = -V \times B/c$ in the plasma flow, that is plasma jet depolarization. As a result of imbalance of forces acted on charged particles, the jet deflects in the direction of ion Larmor gyration. Depolarization efficiency is maximum one at the flanks of the jet, where plasma density is less than at the jet axis.

Investigation of the influence of the lower ionosphere local conductivity modification on the FACs reveals different effects in different parts of FAC. It connects with very complicated 3D time depended configuration of the magnetic field modified by propagated plasma jet.

Increase of the ambient magnetic field results in increase of FAC density, a flux and energy of the accelerated particles. As a result one can see luminosity gain in the region of downward current. We see also narrowing of luminosity area and of region of electron acceleration in this current layer as a result of the current pinch-effect caused by its proper magnetic field.

During investigation of distribution of plasma density above the regions of modified conductivity the effect of "plasma memory" was revealed. It consists in conservation of the effect of plasma depletion in the plasma jet beyond the region of direct action of not uniform conductivity in the lower ionosphere.

МЕТОДЫ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

А.А. Щербаков, А.В. Медведев, Д.С. Кушнарев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
zaklinatel@inbox.ru

CORRELATION ANALYSES METHODS

A.A. Scherbakov, A.V. Medvedev, D.S. Kushnarev

В последние десятилетия по мере развития космической техники встали вопросы о свойствах околоземного пространства и о возможности проводить его диагностику радиофизическими методами. Этот интерес имел не только прикладной, но и чисто фундаментальный научный характер. В 60-х гг. последовал ряд научных работ, в которых была разработана теория термального рассеяния, которое назвали некогерентным, и метод получил название метода некогерентного рассеяния (НР). Теория разрабатывалась рядом авторов с помощью различных приближений, но все они пришли к одним и тем же результатам. Теоретические выводы проверялись как в лабораторных, так и в ионосферных экспериментах для широкого диапазона условий, и было обнаружено, что они всегда соответствовали результатам опытов.

Метод НР дает возможность наиболее комплексного измерения и диагностики наземными средствами параметров ионосферной плазмы. В данном методе используются мощные радиолокаторы, с помощью которых удается получить информацию о вертикальной структуре ионосферы и ее динамике. Основная часть излучаемой радаром энергии проходит сквозь ионосферу, и назад возвращается очень слабый шумоподобный сигнал, рассеянный на тепловых флуктуациях плотности плазмы. Поэтому при обработке таких сигналов используются сложные методики, в которых присутствует длительное статистическое накопление энергетических характеристик сигналов. Серьезную проблему при измерениях спектров НР представляют отражения от спутников и их обломков, время от времени пересекающих диаграмму направленности антенны. Большая энергетика отражений сильно искажает накопленный спектр мощности и делает невозможным его обработку.

Метод НР позволяет определить большое число параметров, хотя спектр мощности сам по себе несет информацию об амплитуде сигнала и ничего не говорит о его фазовой структуре. Если рассмотреть корреляционный подход при помощи квадратурных составляющих сигнала, то нам удастся, кроме всего, исследовать его фазовую структуру.

В настоящее время вводится в действие новый комплекс, существенно расширяющий возможности радара НР. С помощью данного комплекса и метода корреляционного анализа сигналов НР можно получить более полные данные о состоянии ионосферной плазмы без больших вычислительных затрат. Целью работы является разработка программного обеспечения для корреляционной обработки данных радара НР.

В докладе проводится анализ данных радара НР и рассматриваются свойства фазы автокорреляционной функции. При анализе фазы мы можем получить три независимых переменных, характеризующих поведение рассеивателей среды, которые можно связать с физическими параметрами среды. Описываются методы по исключению влияния космических шумов и шумов, вызываемых спутниками, попадающими в диаграмму направленности радара НР.

In the last decennial events, in connection with development of the cosmic technology have got up the questions about ionosphere characteristic and about possibility to conduct its diagnostics by methods of radio physics. This interest had not only applied, but also purely fundamental scientific nature. In 60th years was published the some of the scientific work, in which was designed theory thermal dissipations, which have named incoherent, and method has got the name of the method incoherent dissipations. Theory was developed by some authors by means of different approach, but all of these came to one and same result. Theoretical findings were checked both in laboratory, and in ionosphere experiment for broad range of the conditions, and was discovered that they always corresponded to result an experience

The incoherent dissipation method enables the most complex measurement and diagnostic of ionosphere plasma parameters by overland facility. In given method are used powerful radars, by means of which we can get information about vertical structure of the ionosphere and its dynamic. The main part of energy radiated by radar NR

passes through ionosphere, and back returns very weak noise-like signal, diffused on heat fluctuation of density of the plasma. So when processing such signal are used complex methods, in which is present the long statistical accumulation of the energy features of signal. The serious problem at measurement of incoherent dissipation spectrum present the reflections from satellite and their debris, which crossing directivity diagram of antenna. Big energy of the reflections powerfully distorts the accumulated power spectrum and does the impossible its processing.

The Incoherent Method allows to define the large number a parameter, though spectrum of power itself carries information about amplitude of the signal and nothing do not speak about signal phase structure. If consider the correlation approach with using squaring forms of signal, that we shall manage except the whole research its phase structure.

New complex, which is entered in action at present time, greatly increasing possibility of the incoherent radar. By means of given complex and correlation analysis method of NR signal it is possible to get the more flexible data about condition of ionospheric plasma without greater computing processing. The purpose of the work is a development of the software of correlation processing of incoherent radar data.

In report is conducted analysis of incoherent radar data and characteristic of the phase of autocorrelation function are considered. At analysis of the phase we can get three independent variable, characterizing environment scatters behavior, which is possible to connect with physical parameter of the ionosphere. The methods of exception of the influence cosmic noise and noise, caused satellite, falling into diagram of the directivities of the radar NR, are described.