

ФГБУН Федеральный исследовательский центр
«Якутский научный центр СО РАН»

Институт космических исследований и аэронавтики
им. Ю.Г. Шафера СО РАН

Тезисы докладов

Всероссийской конференции (с международным участием),
посвященной 300-летию Российской академии наук
и 75-летию Якутского научного центра СО РАН

Динамические процессы в средней и верхней атмосфере



Якутск
28 – 31 августа 2024 г.

Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences"

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy
of the Russian Academy of Sciences

Abstracts of reports

All-Russian conference (with international participation) dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences (RAS) and the 75th anniversary of the Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS)

Dynamic processes in the middle and upper atmosphere



Yakutsk
28 – 31 August 2024

УДК 551.509.336+551.511.31

ББК 26.233

Д 46

Отв. редактор:

С.В. Николашкин

Д 46 **Динамические процессы в средней и верхней атмосфере** / Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции «Динамические процессы в средней и верхней атмосфере», 28-31 августа 2024 г. Якутск. – Якутск: ИКФИА СО РАН. 53 с.

УДК 551.509.336+551.511.31

ББК 26.233

Представлены доклады, посвященные результатам теоретических и экспериментальных исследований физических процессов, происходящих в средней и верхней атмосфере, ионосфере и магнитосфере, а также физике солнечно-земных связей.

Сборник представляет интерес для специалистов в области физики атмосферы, солнечно-земных связей, а также студентов старших курсов и аспирантов.

Тезисы докладов представлены в авторской редакции.

Тезисы докладов Всероссийской конференции (с международным участием), посвященной 300-летию Российской академии наук и 75-летию Якутского научного центра СО РАН «Динамические процессы в средней и верхней атмосфере»

Акустическое зондирование средней атмосферы (теория и эксперимент)

Куличков С.Н., Перепелкин В.Г., Буш Г.А., Чунчuzов И.П., Закиров М.Н., Попов О.Е.,

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

snik1953@gmail.com

Представлены результаты исследований тонкой неоднородной структуры средней атмосферы (высоты 20...120 км) дистанционным акустическим методом. Исследование основано на реализации идей академика А.М. Обухова о рассеянии звука на турбулентных неоднородностях атмосферы. Обсуждаются результаты исследования рассеяния инфразвуковых волн на анизотропных структурах средней атмосферы. Установлена взаимосвязь между спектрами рассеянных сигналов и спектрами атмосферных неоднородностей. На основе этой взаимосвязи разработан метод акустического зондирования анизотропных турбулентных неоднородностей. В качестве источников зондирующих импульсов использовались наземные взрывы и извержения вулканов. В результате обработки экспериментальных данных были оценены параметры тонкой неоднородной структуры (вертикальные градиенты эффективной скорости звука; толщины слоев) на высотах верхней стратосферы. Установлено наличие в области высот 45-50 км слоя с аномально большими, в несколько раз превышающими среднее значение, величинами вертикального градиента эффективной скорости звука.

Ключевые слова: инфразвук, средняя атмосфера, тонкая структура, дистанционное зондирование.

Acoustic sounding of the middle atmosphere (theory and experiment)

Kulichkov S.N., Chunchuzov I.P., Bush G.A., Perepelkin V.G., Popov O.E., Zakirov M.N.

Obukhov Institute of atmospheric physics RAS, Moscow, Russia

snik1953@gmail.com

The results of the study of the fine inhomogeneous structure of the middle atmosphere (altitudes of 20...120 km) by the remote acoustic method are presented. The study is based on the implementation of the ideas of Academician A.M. Obukhov on the scattering of sound on turbulent inhomogeneities of the atmosphere. The results of the study of the scattering of infrasonic waves on anisotropic structures of the middle atmosphere are discussed. A relationship was established between the spectra of scattered signals and the spectra of atmospheric inhomogeneities. Based on this relationship, a method for acoustic sounding of anisotropic turbulent inhomogeneities was developed. Ground explosions and volcanic eruptions were used as sources of sounding pulses. As a result of processing the experimental data, the parameters of the fine non-uniform structure (vertical gradients of the effective speed of sound;

layer thicknesses) at the altitudes of the upper stratosphere were estimated. The presence of a layer with anomalously large, several times exceeding the average value, vertical gradient values of the effective speed of sound in the region of altitudes of 45-50 km was established.

Key words: infrasound, middle atmosphere, fine structure, remote sensing.

Изучение мезосферных облаков: история, результаты, перспективы

Перцев Н.Н.¹, Перминов В.И.¹, Далин П.А.^{2,3}

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

³*Институт космической физики, Кируна, Швеция*

n.pertsev@bk.ru, v.perminov@rambler.ru, pdalin@yandex.ru

Рассматриваются основные достижения в изучении мезосферных (серебристых) облаков, начиная с года их первого наблюдения (1885) до настоящего времени. Формулируются проблемы мониторинга мезосферных облаков, предлагаются пути их преодоления. Обсуждаются факторы, оказывающие влияние на межгодовую изменчивость мезосферных облаков, рассматривается методика построения многолетних рядов, описывающих межгодовые изменения активности мезосферных облаков. Описываются результаты по их многолетним трендам, ставятся вопросы для будущих исследований. Обсуждаются возможности и результаты использования мезосферных облаков для изучения гидродинамических волн и турбулентности.

Представляемые результаты получены в рамках Госзадания 17.1.

Ключевые слова: мезосферные облака, изменчивость, мониторинг, многолетние тренды.

Studies of mesospheric clouds: history, results, prospects

Pertsev N.N.¹, Perminov V.I.¹, Dalin P.A.^{2,3}

¹*Obukhov Institute of atmospheric physics RAS, Moscow, Russia*

²*Space research institute RAS, Moscow, Russia*

³*Swedish Institute of Space Physics, Kiruna, Sweden*

n.pertsev@bk.ru, v.perminov@rambler.ru, pdalin@yandex.ru

The main achievements in the study of mesospheric (noctilucent) clouds are reviewed, starting from the year of their first observation (1885) to the present. The problems of mesospheric clouds monitoring are formulated, and ways to overcome them are proposed. The factors influencing on the interannual variability of mesospheric clouds are discussed, and the methodology for constructing long-term series describing interannual changes in the activity of mesospheric clouds is outlined. The results are described based on their long-term trends, and aims for future research are raised. The possibilities and results of using mesospheric clouds to study hydrodynamic waves and turbulence are discussed.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation-project 17.1.

Key words: mesospheric clouds, variability, monitoring, long-term trends.

Перспективная методика диагностики состояния авроральной ионосферы с разных орбит, платформ зондирующих ракет, сети наземных изображающих камер (в видимой и ВУФ-области спектра)

Мерзлый А.М., Кузьмин А.К., Никифоров О.В., Позин А.А., Соколов А.В., Щукин Ю.Н., Янаков А.Т.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

pinega142@yandex.ru, alkkuzmin@mail.ru, sokolov.ad@phystech.edu, eet-21@mail.ru,
pozin@rpatyphoon.ru, gelokin2201@yandex.ru, schukin@rpatyphoon.ru

Рассматривается современное состояние исследований характеристик полярной ионосферы, и элементы методики, включающей разномасштабные глобальные и локальные наблюдения с использованием различных приборов, установленных на КА, работающих на разных орбитах, на платформах, отделяемых от зондирующих ракет на разных высотах, а также на наземных станциях, расположенных в арктической зоне России. Анализируются возможности многоточечных одновременных измерений авроральных эмиссий, энергетических характеристик выпадающих частиц, градиентов магнитного и электрического поля, сцинтилляций сигналов орбитальных навигационных систем, а также наклонного общего электронного содержания (STEC) в различных секторах MLT и в различных геофизических и геомагнитных условиях.

A promising technique for diagnosing the state of auroral ionosphere from different orbits, sounding rocket platforms, and network of ground-based imaging cameras (in the visible and VUV spectral regions)

Merzly A.M., Kuzmin A.K., Nikiforov O.V., Pozin A.A., Sokolov A.D., Schukin Yu.A., Yanakov A.T.

Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

pinega142@yandex.ru, alkkuzmin@mail.ru, sokolov.ad@phystech.edu, eet-21@mail.ru,
pozin@rpatyphoon.ru, gelokin2201@yandex.ru, schukin@rpatyphoon.ru

In the report are considers the current state of research on the characteristics of the polar ionosphere, and elements of a methodology that includes multi-scale global and local observations using various instruments based on the satellites operating in different orbits, on platforms separated from sounding rockets at different altitudes, as well as at ground stations all-sky imagers located in the Arctic zone of Russia. The possibilities of multipoint simultaneous measurements of auroral emissions, energy characteristics of precipitating particles, magnetic and electric field gradients, scintillation of signals

from orbital navigation systems, as well as inclined total electronic content (STEC) in various MLT sectors and in various geophysical and geomagnetic conditions are analyzed.

Study on the impacts of severe events in the lower atmosphere on the upper atmosphere

Jiyao Xu

National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

jyxu@spaceweather.ac.cn

Severe events such as thunderstorms, typhoons, earthquakes, and volcanic eruptions that occur on the earth surface and lower atmosphere have significant impacts on the middle and upper atmosphere and ionosphere. The detection and research of phenomena and physical processes in the response of the upper atmosphere to these strong events are interesting topics. We have established a monitoring network of airglow over the Chinese Mainland, which is composed by about 20 stations. This network has conducted double-layer detection for OH airglow (with a radiation altitude of about 87 kilometers) and OI 630nm red line airglow (with a radiation altitude of approximately 250 kilometers) for about ten years. This report will present observations and research progresses on the physical processes of disturbances of the upper atmosphere and ionosphere caused by severe events such as thunderstorms, typhoons, and Tonga volcanoes using the airglow network and satellite detection.

Key word: Upper atmosphere and ionosphere, disturbances, airglow network, strong events of weather, OH airglow.

Анализ генерации вторичной 16-дневной планетарной волны за счет нелинейных взаимодействий в атмосфере

Коваль А.В.^{1,2}, Диденко К.А.^{1,3}, Ермакова Т.С.^{1,2}, Топтунова О.Н.^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

²*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

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

a.v.koval@spbu.ru, didenko.xeniya@yandex.ru, taalika@mail.ru, olgakolp@yandex.ru

С помощью нелинейной модели общей циркуляции средней и верхней атмосферы (МСВА) исследованы пространственно-временные структуры планетарных волн (ПВ) в средней и верхней атмосфере. Моделирование глобальной атмосферной циркуляции атмосферы выполнено за январь-февраль. Обнаружено явление генерации 16-дневной ПВ внутренними атмосферными источниками в южной нижней термосфере, независимыми от модельных источников волн в тропосфере, заданных в модели. Для интерпретации наблюдаемого эффекта был проведен ряд численных экспериментов по различным сценариям с избирательным включением/выключением тропосферных источников отдельных мод ПВ (имеющих периоды 4-16 суток) в модели. Анализ эволюции возмущенной потенциальной энтропии для 16-дневной

ПВ, а также вклад в нее нелинейных взаимодействий между отдельными ПВ позволил впервые наглядно продемонстрировать процесс генерации вторичной 16-дневной ПВ в результате нелинейного взаимодействия 4-дневной и 5-дневной ПВ. С целью подтверждения адекватности воспроизводимых моделью волновых структур было проведено сравнение вейвлет-спектров ПВ с данными реанализа и дистанционного зондирования.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 20-77-10006-П).

Ключевые слова: Атмосферная циркуляция; планетарные волны; нелинейные взаимодействия; численное моделирование.

Analysis of the generation of a secondary 16-day planetary wave due to nonlinear interactions in the atmosphere

Koval A.V.^{1,2}, Didenko K.A.^{1,3}, Ermakova T.S.^{1,2}, Toptunova O.N.^{1,2}

¹*Saint-Petersburg State University, Saint-Peterburg, Russia*

²*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Peterburg, Russia*

⁴*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Russia*

a.v.koval@spbu.ru, didenko.xeniya@yandex.ru, taalika@mail.ru, olgakolp@yandex.ru

The spatiotemporal structures of planetary waves (PWs) in the middle and upper atmosphere were studied using the nonlinear model of the general circulation of the middle and upper atmosphere. The global atmospheric circulation was simulated for January-February. The phenomenon of 16-day PW generation by internal atmospheric sources in the southern lower thermosphere, independent of the tropospheric wave sources specified in the model, was detected. To interpret the observed effect, a number of numerical experiments was carried out under various scenarios with selective switching on/off of tropospheric sources of individual PW modes (with periods of 4-16 days). Analysis of the evolution of perturbed potential enstrophy for the 16-day PW, as well as the contribution of nonlinear interactions between individual PWs to it, made it possible for the first time to demonstrate clearly the process of secondary 16-day PW generation as a result of nonlinear interaction between 4-day and 5-day PWs. In order to confirm the adequacy of the wave structures reproduced by the model, the PW wavelet spectra were compared with reanalysis and remote sensing data.

The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 20-77-10006-P).

Keywords: atmospheric circulation, planetary waves, nonlinear interactions, numerical modeling.

Оптические исследования верхней и средней атмосферы в ИКФИА СО РАН

Колтовской И.И., Николашкин С.В., Аммосов П.П., Иевенко И.Б.

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия

koltigor@mail.ru, nikolashkin@ikfia.ysn.ru, ammosov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

Представлены основные направления и результаты исследований лаборатории оптики атмосферы. Лаборатория берет свое начало с первых наблюдений оптических явлений в верхней атмосфере в Якутии с 1957 г., в связи с проведением Международного геофизического года. В настоящее время основным направлением исследований лаборатории является изучение термодинамических и волновых процессов в верхней атмосфере Арктики и Субарктики, их реакции на изменения уровня солнечной активности, с применением современных высокочувствительных оптических приборов – фотокамер, спектрографов, фотометров и лидара. Оптический полигон «Маймага», расположенный в 130 км севернее г. Якутска является центральным пунктом сети оптического мониторинга на территории Якутии. Также наблюдения проводятся в ПГО «Тикси», КГС «Жиганск» и «Нерюнгри», обеспечивая обширный широтный охват.

Ключевые слова: волновые процессы, свечение ночного неба, полярные сияния, оптические приборы.

Optical studies of the upper and middle atmosphere at SHICRA SB RAS

Koltovskoi I.I., Nikolashkin S.V., Ammosov P.P., Ievenko I.B.

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

koltigor@mail.ru, nikolashkin@ikfia.ysn.ru, ammosov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

The main directions and research results of the laboratory of Atmospheric Optics are presented. The laboratory begins from the first observations of optical phenomena in the upper atmosphere in Yakutia since 1957, the beginning with the International Geophysical Year. Currently, the main research area of the laboratory is the study of thermodynamic and wave processes in the upper atmosphere of the Arctic and Subarctic, their reactions to changes in the level of solar activity, using modern highly sensitive optical devices – cameras, spectrographs, photometers and lidar. The optical station "Maymaga", located 130 km north of Yakutsk, is the central point of the optical monitoring network in Yakutia. Observations are also carried out in Tiksi, Zhigansk and Neryungri, providing extensive latitudinal coverage.

Keywords: wave processes, the glow of the night sky, auroras, optical instruments.

Изучение мелкомасштабной структуры поляризационного джета с использованием различных наблюдательных средств

Чернышов С.Л.¹, Синевич А.А.¹, Чугунин Д.В.¹, Панченко В.А.², Могилевский М.М.¹,
Котова Д.С.³, Клименко М.В.⁴,

¹*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

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

³Университет Осло, Осло, Норвегия

⁴Калининградский филиал института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

achernyshov@cosmos.ru, sinevich.aa@gmail.com, dimokch@cosmos.ru, leo-ion@yandex.ru,
mogilevsky2012@gmail.com, daria.kotova@fys.uio.no, mvklimenko@wdizmiran.ru

Поляризационный джет (ПД), также известный в англоязычной научной литературе как субавроральный ионный дрейф (Sub-Auroral Ion Drift – SAID), представляет собой быстрый узкий по широте дрейф плазмы на запад в субавроральных широтах в ионосфере Земли. Крупномасштабные особенности ПД в настоящее время хорошо изучены, но мелкомасштабные процессы внутри ПД практически не изучены, и здесь остается много открытых вопросов. Несмотря на важность использования различных наземных средств наблюдения для изучения и анализа свойств ПД/SAID, а также разработки аналитических моделей и численного моделирования, наиболее ценными являются наблюдения *in-situ*, то есть спутниковые наблюдения с высоким разрешением. На начальном этапе мы изучали мелкомасштабные структуры в PJ/SAID во время геомагнитных бурь с использованием мультиинструментального подхода с привлечением различных низкоорбитальных спутников. Впервые были обнаружены мелкомасштабные неоднородности в ПД с пространственными размерами до сотен метров и показано, что ПД состоит из структур размером $\sim 0.2^\circ$ широты, внутри которых присутствуют мелкомасштабные неоднородности. Но наиболее полное описание и понимание роли внутренней структуры ПД обеспечивает комплексный подход с применением как наземных, так и спутниковых наблюдений субавроральной области. В наших недавних исследованиях для изучения ПД во время геомагнитной активности использованы результаты одновременных измерений, полученные с помощью различных наземных (магнитометры, радары SuperDARN, ионозонды, навигационные приемники) и спутниковых средств (Norsat-1, DMSP, Swarm, а также навигационные спутники GPS/ГЛОНАСС). Установлено, что внутри ПД с развитием геомагнитной активности флуктуации параметров плазмы увеличиваются на всех масштабах, при этом растет роль крупномасштабных эффектов. Обнаружен новый тип явлений, названный стратифицированный поляризационный джет, состоящий из нескольких мелкомасштабных страт, определен типичный размер страт. Показано влияние стратифицированного ПД на распространение трансionoсферных радиосигналов глобальных навигационных систем: увеличение показателей фазовых и амплитудных мерцаний, а также потеря захвата сигнала. Кроме того, данные с приёмников GPS/ГЛОНАСС в регионах, находящиеся в субавроральной зоне, позволяют создавать локальные карты полного электронного содержания, на которых заметно наличие ПД. Установлено, что страты поляризационного джета и неоднородности параметров плазмы внутри них могут вызывать множественные отражения радиосигнала, которые видны на ионограммах в виде F-рассеяния.

Ключевые слова: Субавроральная ионосфера, поляризационный джет, геомагнитная активность.

Study of the Small-Scale Structure of the Polarization Jet/SAID Using Various Observational Means

Chernyshov A.A.¹, Sinevich A.A.¹, Chugunin D.M.¹, Panchenko V.A.², Mogilevsky M.M.¹,
Kotova D.S.³, Klimenko M.V.⁴

¹*Space Research Institute, Moscow, Russia*

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

³*University of Oslo, Oslo, Norway*

⁴*Kaliningrad Branch of the Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Wave Propagation RAS, Kaliningrad, Russia*

achernyshov@cosmos.ru, sinevich.aa@gmail.com, dimokch@cosmos.ru, leo-ion@yandex.ru,
mogilevsky2012@gmail.com, daria.kotova@fys.uio.no, mvklimenko@wdizmiran.ru

We studied small-scale structures in Polarization Jet (PJ) (or Sub-Auroral Ion Drift (SAID)), during geomagnetic storms using a multi-instrumental approach involving various low-orbit satellites. For the first time, small-scale inhomogeneities in PJ/SAID were discovered with spatial sizes up to hundreds of meters, showing that PJ consists of structures approximately 0.2° in latitude, within which small-scale inhomogeneities are present. To examine PJ/SAID during geomagnetic activity, we used the results of simultaneous measurements obtained through various ground-based (magnetometers, SuperDARN radars, ionosondes, navigation receivers) and satellite instruments (Norsat-1, DMSP, Swarm, as well as GPS/GLONASS navigation satellites). It was found that within PJ/SAID, as geomagnetic activity develops, plasma parameter fluctuations increase on all scales, with the role of large-scale effects growing. A new type of phenomenon, called stratified polarization jet (SSAID - Stratified Subauroral Ion Drift), consisting of several small-scale strata, was discovered, and the typical size of the strata was determined. It was established that the strata of PJ/SAID and the inhomogeneities in plasma parameters within them can cause multiple reflections of the radio signal, which are visible on ionograms as F-scatter.

Keywords: Subauroral ionosphere, polarization jet, geomagnetic activity.

Долготная зависимость плотности плазмы в плазмосфере в спокойное время согласно спутниковым измерениям

Чугунин Д.В., Котова Г.А.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

dimokch@mail.ru, kotova@iki.rssi.ru

Работа посвящена исследованию зависимости заполнения плазмосферных магнитных силовых трубок от географической долготы в спокойное время. Несмотря на то, что магнитосфера в основном описывается магнитными координатами, на ее заполнение ионосферной плазмой влияет и разница в освещенности оснований силовых линий магнитного поля. В данной работе этот вопрос изучается с помощью измерений концентрации ионов на

спутнике ИНТЕРБОЛ и концентрации электронов на спутнике ERG. Для исследования выбирались только длительные спокойные периоды, в течение которых магнитные трубки успевали заполниться плазмой до диффузионного равновесия. Показано, что для одних и тех же геомагнитных координат плотность плазмы в плазмосфере зависит от географической долготы. Исследуется, как эта проявляется в разные сезоны.

Ключевые слова: плазмосфера, ионосферно-магнитосферные связи.

Longitudinal dependence of the plasma density in the plasmasphere during quiet time according satellite measurements

Chugunin D.V., Kotova G.A.

Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia

dimokch@mail.ru, kotova@iki.rssi.ru

The work is devoted to the study of the dependence of the plasmaspheric magnetic flux tubes filling on geographic longitude during quiet time. Despite the fact that the magnetosphere is mainly described by magnetic coordinates, the filling of it with ionospheric plasma is also affected by the difference in the illumination of the base of the magnetic field lines. This issue is studied in this work using measurements of ion concentration on the INTERBALL satellite and electron concentration on the ERG satellite. For the study, only long quiet periods were selected, during which the magnetic flux tubes had time to fill with plasma to diffusion equilibrium. It was shown that for the same geomagnetic coordinates, the plasma density in the plasmasphere.

Key words: plasmasphere, ionosphere-magnetosphere coupling.

Development of an Asymmetric Spatial Heterodyne Spectrometer (ASHS) for sounding neutral winds in middle and upper atmosphere

Yajun Zhu

National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

y.zhu@spaceweather.ac.cn

Neutral winds play a critical role in dynamics, transport, and energy budget in middle and upper atmosphere. FPI and Michelson interferometers are two typical instruments to detect neutral winds in this region for decades. Here, a new type of interferometer using Asymmetric Spatial Heterodyne Spectroscopy (ASHS) has been developed to sound the neutral winds. Comparisons have been conducted with co-located lidars and meteor radars. It is found that winds detected from different technologies show a good consistent with each other. The correlations between the wind data from ASHS and co-located instruments can reach up to 0.8.

Key word: ASHS, winds, middle and upper atmosphere.

Малый спутник Скорпион для исследования энергичных процессов в верхней атмосфере

Богомолов В.В.

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелева
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

bogovit@rambler.ru

В НИИЯФ МГУ готовится к запуску малый спутник Скорпион в формате кубсат 16U, на котором будет установлен комплекс научной аппаратуры, предназначенный для исследования верхней атмосферы. В состав КНА входят гамма-спектрометр ТГС для регистрации атмосферных гамма-вспышек, оптический и УФ спектрометр-фотометр АУРА-Т для исследования высотных разрядов, радиочастотный анализатор, комплекс детекторов космической радиации. Спутник будет выведен на круговую полярную орбиту высотой ~500 км, проводя наблюдения во всех районах, в том числе в областях грозовой активности вблизи экватора и на широтах аврорального овала. Ожидаемый суточный объём данных ~100 Мб позволит передать на Землю детальную информацию при одновременных измерениях всеми приборами.

Ключевые слова: Космический эксперимент, гамма-спектрометр, УФ спектрометр-фотометр, атмосферные гамма-вспышки, высотные электрические разряды, кубсат.

Small satellite Scorpion for the study of energetic processes in upper atmosphere

Bogomolov V.V.

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

bogovit@rambler.ru

The Nuclear Research Institute of Moscow State University is preparing to launch a small satellite Scorpion in the cubesat 16U format, which will be equipped with a complex of scientific instruments designed to study the upper atmosphere. This equipment includes a gamma-ray spectrometer TGS for recording atmospheric gamma-ray flashes, an optical and UV spectrometer-photometer SONET for studying high-altitude discharges, a radio frequency analyzer, and a set of cosmic radiation detectors. The satellite will be launched into a circular polar orbit with a height of ~ 500 km, conducting observations in all regions, including the regions of thunderstorm activity near the equator and at the latitudes of the auroral oval. The expected daily data amount of ~100 MB will allow detailed information to be transmitted to Earth with simultaneous measurements by all instruments.

Keywords: Space experiment, gamma-ray spectrometer, UV spectrometer-photometer, atmospheric gamma-ray flashes (TGF), high-altitude electric discharges, cubesat.

Влияние солнечной и геомагнитной активности на температурную стратификацию и аэрозольное наполнение средней атмосферы

Николашкин С.В., Титов С.В., Евсеев У.Н.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

nikolashkin@ikfia.ysn.ru, stitov@ikfia.ysn.ru, striem830289@gmail.com

Приводятся результаты исследований влияния солнечной активности на температуру нижней термосферы, мезопаузы и стратосферы, а также на спектральную прозрачность атмосферы оптическими методами в Якутии. Показано, что существует отрицательная корреляция между температурой субавроральной нижней термосферы и уровнем солнечной активности в ее 11-летнем цикле. Во время солнечных протонных событий начинает развиваться аэрозольная замутненность атмосферы, при этом аэрозольное наполнение отмечается также в стратосфере. После сильной геомагнитной бури аэрозоли регистрируются также в мезосфере.

Ключевые слова:

Английский

Космическая погода и техногенная безопасность

Шадрина Л.П.

Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

lushadr@mail.ru

Изменения космической погоды негативно воздействуют на технологическую среду и на человека – это представление является естественной нормой, которую невозможно избежать, но необходимо знать и учитывать. Одно из наземных проявлений космической погоды – геомагнитные бури. Считается, что они являются наиболее вероятной причиной нарушений на линиях электропередач (ЛЭП), вызывая генерацию геоиндуцированных токов (ГИТ). Изучению механизмов и следствий воздействия изменчивых факторов космической погоды на генерацию ГИТ посвящено множество работ. Главной причиной считаются вариации аврорального электроджета во время геомагнитных бурь. Но однозначной связи ГИТ с геомагнитными бурями нет – достаточно часто они наблюдаются в магнитоспокойное время. Проведенный нами анализ показал, что в летнее время 2012-2018 годов 22% нарушений на линиях ЛЭП (16 из 73) были во время регистрации геомагнитных бурь, которые сопровождались Форбуш-эффектами (понижениями интенсивности космических лучей). Но гораздо большая часть таких нарушений, 78% (56 из 73) оказались связаны с Форбуш-эффектами в отсутствие геомагнитных бурь. Удивительно, что за тот же период времени было 19 геомагнитных бурь, некоторые из них достаточно интенсивные, во время которых не было нарушений ЛЭП. Это означает, что космические лучи являются более значимым фактором этого техногенного явления, чем геомагнитные бури. Высказывается предположение, что возбуждение ГИТ может быть связано с атмосферным электричеством, решающую роль в формировании которого играют космические лучи.

Ключевые слова: космическая погода, геомагнитные бури, космические лучи, нарушения на линиях электропередач, геоиндуцированные токи, техногенные явления.

Space weather and technogenic safety

Shadrina L.P.

Academy of sciences of Sakha (Yakutia) Republic, Yakutsk, Russia

lushadr@mail.ru

Space weather changes have a negative impact on the technological environment and on humans – such a representation is a natural norm, that cannot be avoided, but must be known and taken into account. One of the ground displays of space weather is geomagnetic storms. They are considered to be the most likely cause of power line outages, causing the generation of geomagnetically induced currents (GIC). Many works are devoted to the study of the mechanisms and consequences of the impact of variable space weather factors on the generation of GIT. The main cause is believed to be variations in the auroral electrojet during geomagnetic storms. But there is no clear connection between GIT and geomagnetic storms – they are often observed during magnetically quiet times. Our analysis showed that in the summer of 2012-2018, 22% of power line outages (16 out of 73) occurred during the recording of geomagnetic storms, which were accompanied by Forbush effects (cosmic ray intensity decreases). But a much larger part of such disturbances, 78% (56 out of 73) were associated with Forbush effects in the absence of geomagnetic storms. Surprisingly, during the same time period there were 19 geomagnetic storms, some of them quite intense, during which there were no power line outages. This means that cosmic rays are a more significant factor in this technogenic phenomenon than geomagnetic storms. It is suggested that the generation of the GIT may be associated with atmospheric electricity, in the formation of which cosmic rays play a decisive role.

Key words: space weather, geomagnetic storms, cosmic rays, power lines outages, geomagnetically induced currents, technogenic phenomena.

Измерение температуры атмосферы на высоте излучения ОН при ВСП на меридиональной сети оптических станций в Якутии

Гаврильева Г.А.¹, Сивцева В.И.², Колтовской И.И.¹, Юмшанов Н.Н.², Аммосов П.П.¹

¹*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия*

²*Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия*

gagavrilyeva@ikfia.ysn.ru, misanagi@mail.ru, koltigor@mail.ru, nn.iushanov@s-vfu.ru, ammosov@ikfia.ysn.ru

Наблюдение изменения температуры атмосферы наземными приборами и сопоставление его со спутниковыми измерениями проведено на меридиональной сети оптических станций во время внезапного стратосферного потепления (ВСП) зимой 2018-2019 года и в конце 2023 года. Северо-восточная меридиональная сеть включает полярную (Тикси 71.5°N, 129°E), субполярные (Жиганск 66.76°N, 123.37°E, Маймага 63°N, 129.5°E) и среднеширотную (Нерюнгри 56.39°N, 124.43°E) станции. В качестве индикатора состояния нейтральной атмосферы на высоте

излучения гидроксильной эмиссии OH (3-1) (~87 км) используются относительная интенсивность и вращательная температура. Наземные измерения параметров гидроксильной эмиссии сравнивались с данными измерений радиометра SABER, установленного на спутнике TIMED. Развитие ВСП в нижележащей атмосфере было изучено по данным дистанционного зондирования температуры атмосферы прибором MLS/AURA.

Ключевые слова: Мезопауза, гидроксильная эмиссия, вращательная температура OH, стратосферные потепления.

Measuring the atmospheric temperature at the altitude of OH radiation during SSW at the meridional network of optical stations in Yakutia

Gavrilyeva G.A.¹, Sivtseva V.I.², Koltovskoy I.I.¹, Yumshanov N.N.², Ammosov P.P.¹

¹*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia*

²*M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia*

gagavrilyeva@ikfia.ysn.ru, misanagi@mail.ru, koltigor@mail.ru, nn.iumshanov@s-vfu.ru,
ammosov@ikfia.ysn.ru

Observation of atmospheric temperature change by ground-based instruments and its comparison with satellite measurements was carried out at the meridional network of optical stations during the sudden stratospheric warming (SSW) in the winter of 2018-2019 and at the end of 2023. The northeastern meridional network includes polar (Tiksi 71.5°N, 129°E), subpolar (Zhigansk 66.76°N, 123.37°E, Maimaga 63°N, 129.5°E) and midlatitude (Neryungri 56.39°N, 124.43°E) stations. Relative intensity and rotational temperature are used as an indicator of the neutral atmosphere state at the altitude of the OH(3-1) hydroxyl emission (~87 km). Ground-based measurements of the hydroxyl emission parameters were compared with measurements from the SABER radiometer on the TIMED satellite. The development of SSW in the underlying atmosphere was studied using data of remote sensing of atmospheric temperature by the MLS/AURA instrument.

Key words: Mesopause, hydroxyl emission, OH rotational temperature, stratospheric warming.

Эффекты геомагнитных бурь на основе инструментов Калининградского Филиала ИЗМИРАН

Клименко М.В., Тимченко А.В., Клименко В.В., Якимова Г.А., Ефишов И.И., Носиков И.А., Ряховский И.А., Борчевкина О.П., Бессараб Ф.С.

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

mvklimenko@wdizmiran.ru, aleksandr.timchenko77@gmail.com, vvk_48@mail.ru,
efishov@hotmail.com, igor.nosikov@gmail.com, ryakhovskiy88@yandex.ru,
olgaborchevkina@gmail.com, bessarabf@gmail.com

В Калининградском филиале ИЗМИРАН с 1964 года ведутся регулярные наблюдения за параметрами нижней атмосферы, ионосферы и вариациями магнитного поля Земли. Основу измерительного комплекса, расположенного в Калининградской области (54°с.ш., 20°в.д.) составляют: ионозонд вертикального зондирования ионосферы; двухчастотные приемники сигналов навигационных спутниковых систем, которые используются для определения полного электронного содержания в ионосфере; магнитовариационная станция, предназначенные для непрерывной регистрации вариаций трех компонент вектора магнитного поля Земли и расчета локального K-индекса; метеостанция; приемник сигналов СДВ-диапазона; камера всего неба (установленная 30 марта 2024 года). Кроме того, в Калининградском Филиале ИЗМИРАН разработаны и активно используются (для интерпретации данных наблюдений) модели верхней атмосферы и всей атмосферы, основанные на решении системы гидродинамических уравнений для многокомпонентной смеси газов и уравнения сохранения плотности полного тока. Проведение одновременных моделирования и наблюдений вариаций магнитного поля, ионосферных, оптических и метеорологических параметров в одной обсерватории предоставляет широкие возможности для исследования атмосферно-ионосферных связей в периоды различных явлений космической погоды, включая геомагнитные бури. В статье дано краткое описание всех инструментов, приведен способ передачи и хранения временных рядов измеряемых параметров, а также представлены примеры использования этих данных для проведения различных геофизических исследований в периоды геомагнитных бурь (включая геомагнитные бури Святого Патрика в марте 2015 г. и Дня Победы в мае 2024 г.).

Ключевые слова: Верхняя атмосфера, геомагнитная буря, численное моделирование, оптические явления, радиофизический мониторинг.

Effects of geomagnetic storms based on the instruments of the Kaliningrad Branch of IZMIRAN

Klimenko M.V., Timchenko A.V., Klimenko V.V., Yakimova G.A., Efishov I.I., Nosikov I.A.,
Ryakhovsky I.A., Borchevkina O.P., Bessarab F.S.

*Kaliningrad Branch of the Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Wave Propagation RAS, Kaliningrad, Russia*

mvklimenko@wdizmiran.ru, aleksandr.timchenko77@gmail.com, vvk_48@mail.ru,
efishov@hotmail.com, igor.nosikov@gmail.com, ryakhovskiy88@yandex.ru,
olgaborchevkina@gmail.com, bessarabf@gmail.com

Since 1964, the Kaliningrad department of IZMIRAN has been conducting regular observations of the parameters of the lower atmosphere, ionosphere and variations in the Earth's magnetic field. The measuring complex located in the Kaliningrad region (54° N, 20° E) consists of: an ionosonde for vertical sounding of the ionosphere; dual-frequency receivers of signals from navigation satellite systems, which are used to determine the ionospheric total electron content; a magneto-variation station;

a meteorological weather station; a VLF-range signal receiver; all-sky camera (installed on March 30, 2024). In addition, the West Department of IZMIRAN has developed and actively used (for the interpretation of observational data) models of the upper atmosphere and the whole atmosphere, based on solving a system of hydrodynamic equations for a multicomponent gas mixture and the equation of conservation of the total current density. Simultaneous modeling and observations provides unique opportunities for studying atmosphere-ionosphere coupling during periods of various space weather phenomena, including geomagnetic storms. The article provides a brief description of all the tools and also presents examples of using these data for various geophysical studies (including the geomagnetic storms of St. Patrick's Day in March 2015 and Victory Day in May 2024).

Key words: Upper atmosphere, geomagnetic storm, numerical modeling, optical phenomena, radiophysical monitoring.

О формировании квазипериодических структур в области мезосферы-нижней термосферы

Чхетиани О.Г.¹, Вазаева Н.В.¹, Шалимов С.Л.²

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

ochkheti@ifaran.ru, vazaevanv@ifaran.ru, pmsk7@mail.ru

Рассмотрен механизм образования фронтальных структур в области мезосферы-нижней термосферы (МНТ), основанный на неустойчивости экмановского типа в нейтральной компоненте слабоионизованной плазмы ионосферы, когда важным оказывается учет спиральности крупномасштабного ветра и турбулентности нейтральной компоненты. Результатом развития неустойчивостей экмановского типа являются нелинейные квазипериодические структуры типа роллов. Для типичного профиля ветра на высотах МНТ получаем наблюдаемую в эксперименте ориентацию образующихся здесь структур в нейтральной (следовательно, и в плазменной, из-за большой частоты столкновений нейтральных частиц с ионами) компоненте. Главную роль в ориентации структур играет южная компонента ветра (для северного полушария), она же обуславливает юго-западный дрейф структур (ведь если структуры сильно вытянуты в направлении СЗ–ЮВ, то при южном ветре фазовый фронт структуры будет перемещаться на юго-запад). Учет когерентных структур, возникающих в области МНТ вследствие гидродинамических неустойчивостей для распределений скоростей экмановского типа, увеличивает скорость вертикального диффузионного перемешивания по меньшей мере в 2 раза. На обычный диффузионный перенос накладывается перенос в поле периодических вихревых ячеек. Многомасштабное развитие вихревых структур в нижней ионосфере может приводить к интенсивному теплопереносу и рециркуляции атомов и ионов металлов. Характерная здесь как для профилей ветров, так и для структур спиральность может объяснять аномальные амплитуды ветров в нижней ионосфере.

Ключевые слова: мезосфера, нижняя термосфера, неустойчивость экмановского типа, вихревые структуры, спиральность, диффузия.

On the formation of quasi-periodic structures in the mesosphere-lower thermosphere region

Chkhetiani O.G.¹, Vazaeva N.V.¹, Shalimov S.L.²

¹A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia.

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

ochkheti@ifaran.ru, vazaevanv@ifaran.ru, pmsk7@mail.ru

The mechanism of formation of frontal structures in the mesosphere-lower thermosphere (MLT) region based on Ekman-type instability in the neutral component of weakly ionised ionospheric plasma is considered. Here it is important to take into account the helicity of the large-scale wind and turbulence of the neutral component. The result of the Ekman-type instabilities are nonlinear quasi-periodic structures of the roll type. For a typical wind profile at MLT heights, we obtain the orientation of the structures formed here in the neutral component (hence also in the plasma component, due to the large frequency of collisions of neutral particles with ions) observed in the experiment. The main role in their orientation is played by the southern wind component (for the northern hemisphere). It also causes the south-west drift. In fact, if the structures are strongly elongated in the NW-SE direction, the phase front of the structure will move to the southwest in a southerly wind. Taking into account the coherent structures arising in the MLT region due to hydrodynamic instabilities for Ekman-type velocity distributions, increases the vertical diffusion mixing rate by at least a factor of 2. An additional transport in the field of periodic vortex cells is superimposed on the usual diffusion transport. The multiscale development of vortex structures in the lower ionosphere can lead to intensive heat and mass transfer and recirculation of metal atoms and ions. The helicity characteristic here both for wind profiles and structures can explain the anomalous wind amplitudes in the lower ionosphere.

Key words: Mesosphere, lower thermosphere, Ekman-type instability, vortex structures, helicity, diffusion.

Межгодовые вариации температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации в 24-м солнечном цикле по данным измерений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН

Медведева И.В., Ратовский К.Г.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

ivmed@iszf.irk.ru, ratovsky@iszf.irk.ru

Представлены результаты анализа межгодовых вариаций температуры области мезопаузы (T_m) и максимума электронной концентрации ($NmF2$) по данным спектрометрических и радиофизических измерений на комплексе инструментов Института солнечно-земной физики СО РАН в 2008-2020 гг. Данные о температуре области мезопаузы получены при помощи спектрометрических измерений параметров эмиссии молекулы гидроксила (полоса (6-2), 834.0 нм, высота максимума излучения ~ 87 км, 51.8°N, 103.1°E, Торы). Значения максимума электронной концентрации получены по данным вертикального зондирования на иркутском

ионозонде DPS-4 (52.3°N, 104.3°E). Исследованы и сопоставлены среднегодовые значения T_m и $NmF2$, а также среднегодовые значения их межсуточной и внутрисуточной изменчивости. К анализу привлечены данные об индексах солнечной (F10.7) и геомагнитной (Ap) активности, а также данные о вариациях индекса Южной осцилляции (SOI). В исследовании использованы методы простой и множественной линейной регрессии. Обнаружено, что среднегодовые значения $NmF2$ преимущественно обусловлены вариациями солнечной активности, а межгодовые вариации изменчивости $NmF2$ вызваны изменениями как солнечной, так и геомагнитной активности. Среднегодовые значения изменчивости T_m коррелируют с изменениями SOI-индекса: межсуточные вариации показали положительную корреляцию с SOI-индексом, тогда как внутрисуточная изменчивость демонстрирует отрицательную корреляцию с SOI. Значимая связь между межгодовыми изменениями изменчивости $NmF2$ и изменчивости T_m не обнаружена.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 22-17-00146, <https://rscf.ru/project/22-17-00146/>.

Ключевые слова: межгодовые вариации, область мезопаузы, температура, максимум электронной концентрации, изменчивость.

Year-to-year variations in temperature of mesopause region and peak electron density in solar cycle 24 from experimental data of ISTP SB RAS equipment

Medvedeva I.V., Ratovsky K.G.

ivmed@iszf.irk.ru, ratovsky@iszf.irk.ru

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

We present the results of the analysis of year-to-year variations in the temperature of the mesopause region (T_m) and the peak electron density ($NmF2$) from spectrometric and radiophysical measurements with the equipment of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS in 2008-2020. Data on the temperature of the mesopause region were obtained from spectrometric measurements of the OH emission ((6-2), 834 nm, Tory (51.8°N, 103.1°E)). The peak electron density was derived from the Irkutsk DPS-4 measurements (52.3°N, 104.3°E). We analyzed the annual mean T_m and $NmF2$, as well as yearly average values of day-to-day and intradiurnal variability in T_m and $NmF2$. The analysis involved data on solar and geomagnetic activity, as well as on variations in the Southern Oscillation Index (SOI). For the analysis, we used simple and multiple linear regression methods. It was found, that variations in the yearly average $NmF2$ are dominantly controlled by changes in the solar flux, whereas year-to-year variations in $NmF2$ variability are caused by changes in both solar and geomagnetic activity. The yearly average values of T_m variability correlate with changes in the SOI-index: the day-to-day variability shows a positive correlation with the SOI, while the intradiurnal variability demonstrates a negative correlation with the SOI. A significant relationship between the year-to-year variations in the $NmF2$ variability and T_m variability was not revealed.

The research was funded by the Russian Science Foundation (project No. 22-17-00146), <https://rscf.ru/project/22-17-00146/>.

Keywords: year-to-year variations, mesopause region, temperature, peak electron density, variability.

Исследование волновых процессов во время сложных внезапных стратосферных потеплений

Диденко К.А.^{1,2}, Бикбулатов Б.А.¹, Ермакова Т.С.^{2,3}, Коваль А.В.^{2,3}

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Россия*

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

³*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

didenko@izmiran.ru, bogdan.bikbulatov1@gmail.com, taalika@mail.ru, a.v.koval@spbu.ru

Изучена эволюция различных нелинейных процессов в средней атмосфере, связанных с распространением стационарных планетарных волн (СПВ) во время развития сложных внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Анализ волновых процессов основан на методе исследования возмущенной потенциальной энтропии (ПЭ). Этот метод позволяет проанализировать временную изменчивость волновой активности, дивергенции и адвекции потоков возмущенной потенциальной энтропии, а также взаимодействий атмосферных волн друг с другом и со средним потоком. Анализ был проведен для зим 2003—2004 и 2005—2006 годов, когда наблюдались ВСП со сложной термодинамической структурой. Показаны сходства в развитии нелинейных взаимодействий между планетарными волнами и различия во взаимодействии планетарных волн со средним потоком при формировании ВСП. Полученные оценки волновых процессов могут быть использованы в качестве предикторов формирования внезапных стратосферных потеплений.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда РНФ, грант №23-77-01035, <https://rscf.ru/project/23-77-01035/>.

Ключевые слова: стратосферный полярный вихрь, планетарные волны, внезапное стратосферное потепление, энтропия, волновая активность.

Investigation of wave processes during complex sudden stratospheric warmings

Didenko K.A.¹, Bikbulatov B.A.¹, Ermakova T.S.², Koval A.V.²

¹*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Moscow, Russia*

²*Saint-Petersburg State University, Saint-Peterburg, Russia*

didenko.xeniya@yandex.ru, bogdan.bikbulatov1@gmail.com, taalika@mail.ru,
a.v.koval@spbu.ru

The evolution of various nonlinear processes in the middle atmosphere associated with the spreading of stationary planetary waves during the development of complex sudden stratospheric warming is studied. One of the ways to investigate the internal dynamic reasons of the sudden stratospheric warming development associated with the wave processes is to investigate the variability of the perturbed potential enstrophy – the potential vorticity squared. Using the MERRA-2 reanalysis data, the temporal variability of wave activity, perturbed potential enstrophy fluxes divergence and advection, the interactions of atmospheric waves with each other and with the mean flux were analyzed. Such an analysis was carried out for the winters of 2003–2004 and 2005–2006, when complex sudden stratospheric warmings were observed. This is due to the complex spatial and temporal distributions of zonal wind, temperature, and the amplitudes of planetary waves with different zonal wave numbers during their development. Similarities in the development of nonlinear interactions between planetary waves and differences in the interaction of planetary waves with the mean flux during the formation of the sudden stratospheric warmings under consideration are shown.

The research was supported by Russian Science Foundation grant #23-77-01035, <https://rscf.ru/en/project/23-77-01035/>.

Keywords: stratospheric polar vortex, planetary waves, sudden stratospheric warming, enstrophy, wave activity.

Меридиональное и азимутальное распространение геомагнитных Pc5-пульсаций и их эквивалентных токовых вихрей по данным наземных и спутниковых наблюдений

Моисеев А.В., Попов В.И., Стародубцев С.А.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

moiseev@ikfia.ysn.ru, volts@mail.ru, starodub@ikfia.ysn.ru

Проанализированы скорости распространения резонансного всплеска геомагнитных пульсаций Pc5 в азимутальном и меридиональном направлениях для серии событий. Использовались два метода: по фазовым задержкам сигналов между станциями и смещением центров вихрей их эквивалентных токовых систем. Анализ показал, что распространение пульсаций и вихрей совпадает по направлению, вдоль меридиана, преимущественно они распространяются на север. В большинстве случаев скорость распространения составляет 5 км/с для пульсаций и 2 км/с для вихрей. В азимутальном направлении пульсации и вихри распространяются на запад со скоростью распространения пульсаций 10 км/с и скоростью распространения вихрей 3 км/с. Геомагнитная широта, на которой зарегистрированы центры вихрей, совпадает с широтой максимальной амплитуды геомагнитных пульсаций (резонансов силовых линий) и уменьшается на $\sim 15^\circ$ к ранним часам местного времени. Азимутальное распространение пульсаций по наземным наблюдениям сравнивалось с распространением в магнитосфере по спутниковым наблюдениям. Скорости распространения по спутниковым данным варьировались в диапазоне 100-200 км/с. При проецировании положений наземных станций в магнитосферу азимутальные скорости распространения между ними становятся того

же порядка, что и скорости по спутниковым наблюдениям. Предполагается, что наблюдаемая динамика пульсаций и вихрей Pc5 отражает распространение МГД-волны в магнитосфере.

Ключевые слова: Геомагнитные Pc5 пульсации, вихри эквивалентного тока, азимутальное распространение, волновые возмущения параметров плазмы и геомагнитного поля в диапазоне пульсаций Pc5 в магнитосфере.

Meridional and azimuthal propagation of Pc5 pulsations and their current systems according to ground-based and satellite observations

Moiseev A.V., Popov V.I., Starodubtsev S.A.

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

moiseev@ikfia.ysn.ru, volts@mail.ru, starodub@ikfia.ysn.ru

The propagation velocities of resonant burst of geomagnetic Pc5 pulsations in the azimuthal and meridional directions were analyzed for a series of events. Two methods were used: based on the phase delays of the signal between stations and the displacement of vortex centers of their equivalent current systems. The analysis showed that the propagation of pulsations and vortices coincides in direction, along the meridian, they predominantly propagate northward. In most cases, the propagation velocity is 5 km/s for pulsations and 2 km/s for vortices. In the azimuthal direction, pulsations and vortices propagate westward, with pulsation propagation velocity of 10 km/s and vortex propagation velocity of 3 km/s. The geomagnetic latitude where the vortex centers registered coincides with the latitude of the maximum amplitude of geomagnetic pulsations (field line resonances) and decreases by $\sim 15^\circ$ towards the early hours of the magnetic local time. The azimuthal propagation of pulsations based on ground-based observations was compared with the propagation in the magnetosphere based on satellite observations. Propagation velocities according to the satellite data varied in the range of 100-200 km/s. When projecting the positions of ground stations into the magnetosphere, the azimuthal propagation velocities between them become of the same order as the velocities according to satellite observations. It is assumed that the observed dynamics of Pc5 pulsations and vortices reflects the propagation of an MHD wave in the magnetosphere.

Key words: Geomagnetic Pc5 pulsations, equivalent current vortices, azimuthal propagation, wave disturbances of plasma parameters and geomagnetic field in the range of Pc5 pulsations in the magnetosphere.

Численное исследование внутренних гравитационных волн, ассоциированных с серебристыми облаками

Кшевцев С.П.^{1,2}, Куличков С.Н.², Перцев Н.Н.²

¹*Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

spkshev@gmail.com, snik1953@gmail.com, n.pertsev@bk.ru

Излагается опыт численного моделирования и исследования внутренних гравитационных волн, ассоциируемых с серебристыми облаками. Параметры моделируемых волн берутся из экспериментальных наблюдений серебристых облаков. Наблюдаемые волны имеют четкие длины волн, частоты, скорости распространения. Следовательно, волны близки к квазимонохроматическим. Ставится задача построить устойчивый волновой пакет внутренних гравитационных волн с параметрами, соответствующим наблюдаемым. С этой целью решены линеаризованные уравнения для волновой моды, скорость распространения и горизонтальная длина волны которой соответствует наблюдаемым. Далее строится квазимонохроматический волновой пакет, который используется как начальное условие в задаче численного гидродинамического моделирования распространения волн. Численное исследование выявляет два обстоятельства. Первое: волновой пакет не может быть узким, он должен простирается на значительном интервале высот. В противном случае волновой пакет быстро распадается, и затухает. Второе. Выше наблюдаемых серебристых облаков волны быстро затухают с высотой, вследствие значительной диссипации. Поэтому мы наблюдаем в эксперименте верхнюю часть волнового пакета. Более того, на высотах серебристых облаков диссипация волн тоже значительна вследствие того, что эти волны короткие по вертикали. Таким образом, основная энергия волнового пакета распространяется ниже серебристых облаков, и, более того, верхняя часть волнового пакета, наблюдаемая в экспериментах, постоянно подпитывается снизу потоками волновой энергии из центра распространяющегося волнового пакета. Весьма вероятно, основная энергия волн, проявляющих себя в образовании серебристых облаков, распространяется вдоль поверхности Земли в атмосферном квазиволноводе. Волны, наблюдаемые на высотах серебристых облаков, суть излучение из приповерхностного квазиволновода, что и объясняет длительное существование, устойчивость волн, наблюдаемых на высотах серебристых облаков.

Ключевые слова: Внутренние гравитационные волны, численное моделирование, волновой пакет, несущая, огибающая.

Numerical study of internal gravity waves associated with noctilucent clouds

Kshevetskii S.P.^{1,2}, Kulichkov S.N.², Pertsev N.N.²

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

²*Obukhov Institute of atmospheric physics RAS, Moscow, Russia*

spkshev@gmail.com, snik1953@gmail.com, n.pertsev@bk.ru

The experience of numerical simulation and research of internal gravity waves associated with noctilucent clouds is presented. The parameters of the simulated waves are taken from experimental observations of noctilucent clouds. The observed waves have clear wavelengths, frequencies, and propagation velocity. Consequently, the waves are close to quasi-monochromatic. The goal to construct a stable wave packet of internal gravity waves with parameters corresponding to the observed ones is formulated. For this purpose, the linearized equation system are solved for the wave mode with propagation velocity and horizontal wavelength close to the observed ones. Next, a quasi-monochromatic wave packet is constructed, which is used as an initial condition to the hydrodynamic problem of wave propagation numerical simulation. Numerical research reveals two circumstances.

First: the wave packet cannot be narrow and may exist only over a significant interval of heights. Otherwise, the wave packet quickly decays. Second. Above the observed noctilucent clouds, the waves quickly attenuate with height due to significant dissipation. Therefore, we observe in the experiment namely the upper part of the wave packet. Moreover, at the altitudes of noctilucent clouds, wave dissipation is also significant due to these waves are vertically short. Thus, the main energy of the wave packet may propagate only below the noctilucent clouds, and, moreover, the upper part of the wave packet observed in experiments is constantly fed from below by wave energy flows from the center of the propagating wave packet. It is very likely that the main energy of the waves manifesting themselves in the formation of noctilucent clouds propagates along the Earth's surface in an atmospheric quasi-waveguide. The waves observed at the heights of noctilucent clouds are rather the radiation from a near-surface quasi-waveguide. It may explain the long existence and stability of the waves observed at the heights of noctilucent clouds.

Key words: Internal gravity waves, numerical modeling, wave packet, carrier, envelope.

Аналитическое и численное исследование разрушения волн в верхней атмосфере

Кшевецкий С.П.^{1,2}, Гаврилов Н.М.³, Курдяева Ю.А.⁴

¹*Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Россия*

Предложена простая аналитическая нелинейная модель распространения и разрушения внутренних гравитационных волн с вертикальным профилем, описываемым какой-либо одной волновой модой. С помощью аналитической модели получены простые формулы, описывающие параметры волн, возникающих после разрушения исходной волны. Показано, что разрушение волн происходит слоями. Обычно разрушение волн начинается на уровнях, где горизонтальная скорость изменяет знак. Выполнено численное моделирование разрушения волн с помощью прямого численного решения нелинейных гидродинамических уравнений и результаты сравнены с аналитической моделью распространения и разрушения волн.

Ключевые слова: Внутренние гравитационные волны, нелинейность, разрушение волн, турбулентность, численное моделирование.

Analytical and numerical study of wave breakdown in the upper atmosphere

Kshevetskii S.P.^{1,2}, Gavrilov N.M.³, Kurdyayeva Y.A.⁴

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

²*Obukhov Institute of atmospheric physics RAS, Moscow, Russia*

³*Saint-Petersburg State University, Saint-Peterburg, Russia*

⁴*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS,
Troitsk, Russia*

spkshev@gmail.com, n.gavrilov@spbu.ru, yakurdyeva@gmail.com

It is known that internal gravity waves can disintegrate over time, or even form turbulence. This property of gravity waves introduces difficulties in the numerical modeling of atmospheric processes, since the resulting small-scale ones create a large computational error and prevent high-quality modeling of processes. There exist two known ways to overcome this difficulty. The first, classical one, consists in averaging hydrodynamic equations; the influence of small-scale waves trying to take into account through the introduced turbulent viscosity and turbulent thermal conductivity. This approach is called parametrization of small-scale waves. The second consists in a special extension of the hydrodynamic equations to the class of non-smooth hydrodynamic fields, and the influence of small-scale waves is introduced into consideration through this mechanism. With any approach, numerical methods require verification, and we need analytical nonlinear models that describe wave destruction. One of well-known analytical models is based on the Korteweg-de Vries equation, which is derived for nonlinear waves propagating in a waveguide. There is no rigid upper bound in the atmosphere, but in the upper atmosphere strong dissipation damps waves. The Korteweg-de Vries-Burgers equation is derived, which approximately describes the propagation and destruction of a single-mode gravity wave in a layer of the atmosphere with a thickness of at least the vertical wavelength. Based on the derived Korteweg-de Vries-Burgers equation, a qualitative analysis of wave propagation and destruction in the upper atmosphere was performed. It is shown that destruction occurs in layers depending on the vertical wave profile. It was found that instabilities arise primarily at heights where the horizontal velocity in the wave changes sign. Later, the resulting small-scale structures can penetrate into the atmospheric gas column. profile of the wave. It was found that instabilities arise primarily at heights where the horizontal velocity in the wave changes sign. Later, the resulting small-scale structures can penetrate into the atmospheric gas column.

Key words: Internal gravity waves, nonlinearity, wave breaking, turbulence, numerical modeling.

Аппроксимация волн Россби по спутниковым температурным данным

Сивцева В.И., Григорьев В.В.

Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

verasivtseva@gmail.com, d_alighieri@rambler.ru

Волновые процессы различного масштаба играют важную роль в динамике всей атмосферы, являясь одним из механизмов энергообмена между ее слоями. Спутниковые наблюдения предоставляют обширный объем данных для исследований атмосферных волн. В докладе на основе спутниковых температурных данных (Aura (MLS)) аппроксимируется активность атмосферных волн планетарного масштаба. Планетарные волны часто являются синонимом волн Россби, которые появляются в атмосфере из-за широтного градиента силы Кориолиса, который уравнивает изменения силы градиента давления. Построение

аппроксимирующих функций проводится на основе волнового уравнения Россби. Для определения параметров аппроксимирующих функций используется метод пчелиной колонии.

Ключевые слова: Волны Россби, метод пчелиной колонии, спутниковые данные, Aura (MLS)

Rossby wave approximation from satellite temperature data

Sivtseva V.I., Grigoriev V.V.

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

verasivtseva@gmail.com, d_alighieri@rambler.ru

Wave processes of various scales play an important role in the dynamics of the entire atmosphere, being one of the mechanisms of energy exchange between its layers. Satellite observations provide a vast amount of data for atmospheric wave studies. In this report, planetary-scale atmospheric wave activity is approximated using satellite temperature data (Aura (MLS)). Planetary waves are often synonymous with Rossby waves, which appear in the atmosphere due to the latitudinal gradient of the Coriolis force, which counterbalances changes in the pressure gradient force. The approximating functions are constructed based on the Rossby wave equation. The Artificial Bee Colony (ABC) method is used to determine the parameters of the approximating functions.

Key words: Rossby waves, Artificial Bee Colony method, satellite data, Aura (MLS).

Изменчивость интенсивности эмиссии 557,7 нм в свечении ночного неба как показатель волновой активности в атмосфере в 23 и 24 солнечных циклах

Парников С.Г., Иевенко И.Б.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

parnikov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

Известно, что интенсивность эмиссии 557,7 нм атомарного кислорода в свечении ночного неба часто значительно изменяется в течение ночи в магнитно-спокойных условиях. Изменения интенсивности обусловлены вариациями плотности нейтральной атмосферы на высоте излучения зеленой линии [OI]. Модуляция плотности может быть вызвана планетарными волнами, внутренними гравитационными волнами и акустико-гравитационными волнами, которые возникают в нижней и средней атмосфере и распространяются до высот нижней термосферы. В этой работе представлены результаты исследования коэффициента вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм [OI] в ночном небе по данным спектрофотометрических наблюдений на станции «Маймага» (63° N, 130°E) в 1997-2018 гг. Выявлена независимость вариаций интенсивности этой эмиссии в течение ночи от солнечной активности. Это указывает на отсутствие доминирующего влияния активности солнца в 23 и 24 циклах на волновые возмущения в средней и верхней атмосфере.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № 122011700172-2).

Ключевые слова: свечение ночного неба, эмиссия 557,7 нм [OI], атмосфера и нижняя термосфера, волновая активность.

Variability of the nightglow 557.7 nm emission intensity as the wave activity indicator in atmosphere in the solar cycle 23 and 24

Parnikov S.G., Ievenko I.B.

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

parnikov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

It is known that the 557.7 nm atomic oxygen emission intensity in the airglow often varies significantly during the night under magnetically quiet conditions. The intensity changes are due to the density variations of neutral atmosphere at the height of green line emission [OI]. The density modulation can be caused by planetary waves, internal gravity waves and acoustic-gravity waves that arise in the lower and middle atmosphere and propagate upto the the lower thermosphere heights. This paper presents the study results of the of the 557.7 nm emission [OI] intensity variation coefficient in the nightglow based on spectrophotometric observations at the «Maimaga» station (63°N, 130°E) in 1997-2018 The independence of the intensity variations coefficient this emission during the night on solar activity was revealed. This indicates the absence of a solar activity dominant influence in the cycles 23 and 24 on wave disturbances in the middle and upper atmosphere.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (registration number 122011700172-2).

Keywords: airglow, 557.7 nm emission [OI], atmosphere and lower thermosphere, wave activity.

Предварительные результаты каталогизации наблюдений STEVE в окрестности зенита станции «Маймага»

Парников С.Г., Иевенко И.Б., Ноев А.А.

*Институт космофизических исследований и аэронамии им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

parnikov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru, Noev@ikfia.ysn.ru

Прежде не известный вид субаврорального свечения, открытый благодаря фотографам-любителям, получил название STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement). STEVE представляет собой узкую, вытянутую вдоль геомагнитной широты ленту свечения (десятки километров в направлении север-юг и тысячи километров в направлении восток-запад), имеющую лиловый оттенок. Свечение, часто сопровождаемое зелеными структурами в виде

штaketника (Picket fence), вызвано сильным повышением скорости теплового излучения и ассоциируется с чрезвычайно интенсивными ионными дрейфами (SAID (Subauroral Ion Drift)). STEVE и Picket fence протекают на одних и тех же силовых линиях геомагнитного поля. Основной спектральной характеристикой STEVE, отличающего его от обычных сияний, является усиление континуума в видимой области спектра иногда с локальным усилением эмиссии 630,0 нм [OI]. В этой работе представлены первые результаты каталогизации наблюдений STEVE и Picket fence камерой всего неба в окрестности зенита субавроральной станции «Маймага» (63° N, 130°E) за период с 2013 по 2024 год. Каталог представляет интерес специалистам в области моделирования магнитосферно-ионосферного взаимодействия.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № 122011700172-2).

Ключевые слова: STEVE, Picket fence, камера всего неба, субавроральное свечение.

Preliminary results of cataloging STEVE observations in the vicinity of the zenith of the Maimaga station

Parnikov S.G., Ievenko I.B., Noev A.A.

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

parnikov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru, Noev@ikfia.ysn.ru

A previously unknown type of subauroral luminosity, discovered by citizen scientists, was named STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement). STEVE is a narrow ribbon of glow, elongated along the geomagnetic latitude (tens of kilometers in the north-south direction and thousands of kilometers in the east-west direction), having a purple tint. The glow, often accompanied by green picket fence structures, is caused by a strong increase in the rate of thermal radiation and is associated with extremely intense ion drift (SAID (Subauroral Ion Drift)). STEVE and Picket fence flow on the same geomagnetic field lines. The main spectral characteristic of STEVE, which distinguishes it from ordinary auroras, is the enhancement of the continuum in the visible region of the spectrum, sometimes with a local enhancement of the 630.0 nm emission [OI]. This work presents the first results of cataloging observations of STEVE and Picket fence with an all-sky imager in the vicinity of the zenith of the «Maimaga» subauroral station (63° N, 130° E) for the period from 2013 to 2024. The catalog is of interest to specialists in the field of modeling magnetospheric-ionospheric interaction.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (registration number 122011700172-2).

Keywords: STEVE, Picket fence, all-sky imager, subauroral luminosity.

Одновременные наблюдения интенсивности STEVE и ELF/VLF-шумов в субавроральных широтах северо-востока России за период 2015-2022 гг.

Каримов Р.Р., Парников С.Г., Ноев А.А., Иевенко И.Б.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

karimov@ikfia.ysn.ru, parnikov_s_g@ikfia.ysn.ru, noev@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

Мы рассмотрели 16 событий STEVE, зафиксированных с помощью "камеры всего неба" на станции Маймага (63 N, 130 E) в предвечернем секторе во время развития суббурь, наблюдавшихся в интервале с 2015 по 2022 год. Для 13 из этих 16 событий одновременно наблюдались STEVE и всплески интенсивности КНЧ/ОНЧ излучений в диапазоне от 0,4 кГц до 4,0 кГц. Излучения в КНЧ/ОНЧ диапазоне были зарегистрированы магнитной вертикальной петлевой антенной на радиофизической станции Ойбенкель (62 N, 129 E), расположенной в 130 км от станции Маймага. Предполагается, что как STEVE, так и всплеск интенсивности субавроральных КНЧ/ОНЧ излучений генерируются одними и теми же процессами в плазме магнитосферы во время развития суббурь. Предполагается, что источники наблюдаемых всплесков ELF/VLF связаны с повышенной генерацией свистящих модовых волн в магнитосферной плазме на субавроральных широтах во время формирования суббури, вызванное высокоскоростным потоком солнечного ветра. Требуется дальнейшие, более детальные исследования этих явлений одновременно как оптическими, так и радиотехническими методами.

Результат получен в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер государственного учета в ЕГИСУ НИОКТР 122011700182-1 и 122011700172-2).

Ключевые слова: STEVE, ОНЧ-шумы, субавроральные широты, суббуря.

STEVE and ELF/VLF-noises intensity simultaneous observations at subauroral latitudes of North-East of Russia for period 2015-2022

Karimov R.R., Parnikov S.G., Noev A.A, Ievenko I.B.

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

karimov@ikfia.ysn.ru, parnikov_s_g@ikfia.ysn.ru, noev@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

We considered 16 STEVE phenomena recorded using an "all-sky camera" at Maimaga (63 N, 130 E) station in the pre-midnight sector during the substorms formations observed in the interval from 2015 to 2022. For 13 of these 16 events the STEVE and the bursts of intensity of ELF/VLF emissions in the range from 0.4 kHz to 4.0 kHz were simultaneously observed. ELF/VLF emissions were registered by a magnetic vertical loop antenna at the Oibenkyol radiophysical station (62 N, 129 E), located 130 km from the Maimaga station. It is assumed that both the STEVE and the intensity burst of ELF/VLF subauroral emissions are generated by the same processes in the plasma of the magnetosphere during substorms formations. Obviously, the sources of the observed ELF/VLF emissions are associated with increased generation of whistling mode waves in magnetospheric plasma at subauroral latitudes during the substorm formation caused by a high-speed solar wind flow.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, SHICRA SB RAS (State Registration Number in INIS RDE 122011700182-1 and 122011700172-2).

Key words: STEVE, VLF-noises, subauroral latitudes, substorm.

О регистрации волновых процессов и STEVE по камере всего неба над полигоном Маймага

Тыщук О.В., Колтовской И.И., Николашкин С.В., Аммосов П.П., Парников С.Г.

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия

oleSmile@mail.ru, koltigor@mail.ru, nikolashkin@ikfia.ysn.ru, ammosov@ikfia.ysn.ru,
parnikov@ikfia.ysn.ru

В данной работе исследуются редкие явления средней и верхней атмосферы зарегистрированных в свечении ночного неба с помощью камеры всего неба, установленной на оптическом полигоне Маймага. С помощью камеры всего неба, настроенной на эмиссию молекул гидроксила (высота ~87 км), можно получить изображения внутренних гравитационных волн (ВГВ). Обработка снимков и определение параметров волновых возмущений проводится с помощью пакета программ на языке Python. Длины зарегистрированных волн варьируют от 7 до 36 км со средним значением 17 км, горизонтальные фазовые скорости которых изменяются от 9 до 98 м/с со средним значением 40 м/с. Оцененные периоды ВГВ больше периода Брента-Вайсяля (4,9 мин), согласно условию распространения гравитационной волны, и достигают значения 16 мин. Направление распространения ВГВ по азимуту различно, однако имеет преимущественное направление на северо-запад, северо-восток и восток. По изображениям с камеры всего неба изредка можно зарегистрировать явление мезосферного бора, которое представляет собой фронт волны, отделяющий часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли. Можно классифицировать мезосферный бор на светлый, либо темный. Также, при помощи данной камеры можно зафиксировать не менее редкое явление STEVE (Сильное повышение скорости теплового излучения), отображающееся в виде полосы свечения бледно-розового цвета, явно выделяющаяся на фоне свечения полярного сияния.

Ключевые слова: камера всего неба, внутренние гравитационные волны, мезосферный бор, STEVE, средняя атмосфера, верхняя атмосфера.

About registration of wave processes and STEVE by the all-sky camera above the Maymaga station Tyshchuk O.V., Koltovskoy I.I., Nikolashkin S.V., Ammosov P.P., Parnikov S.G.

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

oleSmile@mail.ru, koltigor@mail.ru, nikolashkin@ikfia.ysn.ru, ammosov@ikfia.ysn.ru,
parnikov@ikfia.ysn.ru

In this work, we study rare phenomena of the middle and upper atmosphere recorded in the night sky glow using the all-sky camera installed at the Maimaga optical station. Using the all-sky camera tuned to the emission of hydroxyl molecules (altitude ~87 km), it is possible to obtain images of internal gravity waves (IGWs). Image processing and determination of wave disturbance parameters are performed using a Python software package. The lengths of the recorded waves vary from 7 to 36 km with an average value of 17 km, the horizontal phase velocities of which vary from 9 to 98 m/s with an average value of 40 m/s. The estimated IGW periods are longer than the Brunt-Väisälä period (4.9 min), according to the condition of gravity wave propagation, and reach a value of 16 min. The direction of IGW propagation in azimuth is different, but has a predominant direction to the northwest, northeast and east. The all-sky camera images occasionally show the phenomenon of a mesospheric bore, which is a wave front separating a section of areas already involved in the wave process from a section in which oscillations have not yet occurred. The mesospheric bore can be classified as light or dark. Also, the camera can record the equally rare phenomenon of STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement), which appears as a pale pink glow stripe that stands out clearly against the background of the aurora.

Keywords: all-sky camera, internal gravity waves, mesospheric bore, STEVE, middle atmosphere, upper atmosphere.

Многолетние вариации параметров F-слоя субавроральной ионосферы по данным ионосферной станции Якутск за период 1956–2016

Кобякова С.Е., Степанов А.Е.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

s.e.kobyakova@ikfia.ysn.ru, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru

Проведен статистический анализ ионосферных данных вертикального зондирования на ст. Якутск ($\varphi=62,01^\circ$ с.ш., $\lambda=129,43^\circ$ в.д.) за период 1956–2016 гг. с целью выявления многолетних, климатического масштаба, изменений в F-слое субавроральной ионосферы, их связи с солнечной и геомагнитной активностью. Рассмотрены вариации основных параметров слоя F2 ионосферы: критической частоты и минимальной высоты слоя. Показано, что в течение шести циклов солнечной активности (19–24 циклы) обнаруживается тенденция понижения средних значений высоты и критических частот слоя F. Также обнаруживается положительная корреляция в линейных трендах критической частоты от чисел солнечных пятен, и в линейных трендах минимальной высоты слоя от планетарного индекса геомагнитной активности.

Результат получен в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код научной темы FWRS-2021-0009, номер государственного учета в ЕГИСУ НИОКТР 122011700182-1).

Ключевые слова: Долговременные тренды, F-слой субавроральной ионосферы, критические частоты и минимальные высоты F-слоя.

Long-term variations in the parameters of F-layer of subauroral ionosphere according to the Yakutsk ionospheric station dataset for the period 1956-2016.

Kobyakova S.E., Stepanov A.E.

s.e.kobyakova@ikfia.ysn.ru, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru

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

The statistical analysis ionospheric data of vertical sounding at the Yakutsk station ($\varphi=62,01^{\circ}\text{N}$, $\lambda=129,43^{\circ}\text{E}$) for the 1956-2016 period was carried out with the purpose of revealing long-term changes of the climatic scale in subauroral ionosphere F-layers, their connections with solar and geomagnetic activity. Variations of main parameters of ionosphere F-layers – the critical frequency and the minimum altitude of layer are considered. It is shown that during six cycles of solar activity (19–24) it is found out, basically, the tendency of decrease of average value of the F-layers altitude and critical frequencies, positive correlation between the linear trends of critical frequency and sunspot number, and also linear trends of the layer minimum altitude and planetary index of geomagnetical activity.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, SHICRA SB RAS (Scientific Topic FWRS-2021-0009, State Registration Number in INIS RDE 122011700182-1).

Keywords: Long-term trends, F-layer of subauroral ionosphere, critical frequencies and minimum altitudes of F-layer.

Эффекты экстремально сильной магнитной бури 10 – 12 мая 2024 г в вариациях фазы НЧ сигнала радиопередатчика JJY40 при регистрации в Якутске

Корсаков А.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

korsakova@ikfia.ysn.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru, karimov@ikfia.ysn.ru

Регистрация параметров радиосигналов диапазонов ОНЧ (3 – 30 кГц) и НЧ (30 – 300 кГц) является удобным методом диагностики нижней ионосферы. В г. Якутске (62,02 N, 129,70 E) регистрируются вариации амплитуды и фазы сигнала радиопередатчика JJY40 (Япония, 37,4 N, 140,84 E, 40 кГц). Протяженность радиотрассы составляет 2850 км. Относительно невозмущенных суточных значений, в ночных условиях распространения радиосигнала JJY40 зарегистрированы понижения фазовой задержки во время экстремально сильной магнитной бури 10 – 12 мая 2024 г (индекс Dst достигал -413 нТл, Kp = 9, AE > 2000 нТл). 11 мая в 16 UT понижение фазовой задержки радиосигнала достигало 90 градусов. На фоне флуктуаций в невозмущенном суточном ходе амплитуды, эффект магнитной бури не проявился. Днем на трассе JJY40 – Якутск на фоне повышенной активности рентгеновских солнечных вспышек эффект магнитной бури не выделен. Понижение фазовой задержки радиосигнала можно трактовать понижением эффективной высоты волновода Земля-ионосфера. При геомагнитных возмущениях ночью значимым дополнительным источником ионизации являются высыпания заряженных частиц из радиационных поясов Земли. Для полосы средних широт 62 – 37 N

отмечено повышение потока высыпающихся электронов с энергиями 30 кэВ (данные DMSP спутник F16). Скорость счета повысилась с 10 (9 мая 2024) до 319 электрон/с (11 мая 15:36 UT).

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № 122011700182-1).

Ключевые слова: Нижняя ионосфера, вариации фазы НЧ радиосигнала, геомагнитная буря, высыпания заряженных частиц.

Effects of an extremely strong magnetic storm on May 10 – 12, 2024 by LF signal phase variations of the JJY40 transmitter registered in Yakutsk

Korsakov A.A., Kozlov V.I., Karimov R.R.

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

korsakovaa@ikfia.ysn.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru, karimov@ikfia.ysn.ru

Registration of radio signals in the VLF (3 – 30 kHz) and LF (30 – 300 kHz) ranges is a convenient method for monitoring the lower ionosphere. Amplitude and phase signal variations from the JJY40 radio transmitter (Japan, 37.4 N, 140.84 E, 40 kHz) registered in Yakutsk (62.02 N, 129.70 E). The length of the propagation path is 2850 km. Relative to undisturbed diurnal values, for a nighttime propagation conditions of the JJY40 signal there is a phase delay decrease during an extremely strong magnetic storm on May 10 - 12, 2024 (Dst index reached -413 nT, Kp = 9, AE > 2000 nT). On May 11 at 16 UT the delay of the LF signal phase decreased by 90 degrees. Against the background of fluctuations in the unperturbed daily amplitude variation, the effect of the magnetic storm did not manifest itself. During the daytime on the JJY40 – Yakutsk path, against the background of increased activity of X-ray solar flares, the effect of a magnetic storm is not detected. The phase delay of the LF signal decreasing indicates to an effective height decreasing of the Earth-ionosphere waveguide. During geomagnetic disturbances a nighttime significant additional source of ionization is the charged particles precipitation from the Earth's radiation belts. For the mid-latitude band 62 – 37 N, the precipitating electrons flux increased (energies of 30 keV, DMSP satellite F16 data). The count rate increased from 10 (May 9, 2024) to 319 electrons/s (May 11, 15:36 UT).

Supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (registration number 122011700182-1).

Key words: Lower ionosphere, variations of the phase of LF radio signals, geomagnetic storm, precipitation of charged particles.

Многолетняя динамика схода снежного покрова в Сибири по данным ДЗЗ

Варламова Е.В., Соловьев В.С.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

varlamova@ikfia.ysn.ru, solovyev@ikfia.ysn.ru

В работе изложены предварительные результаты исследования многолетней (1982-2022) динамики дат схода снежного покрова в Сибири по данным глобального реанализа ERA5-Land и спутниковым данным MODIS/Terra. В условиях арктического усиления (arctic amplification), на территории Сибири, в целом, наблюдается тенденция более раннего схода снежного покрова. В среднем по Сибири этот показатель составил 11 ± 3 дней на фоне аналогичного роста весенней температуры воздуха на $3,3 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Область с наиболее высоким сдвигом (на 15 ± 5 дней) сроков схода снежного покрова на более ранние даты обнаружена на севере Сибири, где также отмечается наиболее высокий рост (на $5,1 \pm 1,2^\circ\text{C}$) весенней температуры воздуха.

Ключевые слова: снежный покров, сход снега, Арктическое усиление, Сибирь.

Long-term dynamics of snowmelt in Siberia on remote sensing data

Varlamova E.V., Solovyev V.S.

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

varlamova@ikfia.ysn.ru, solovyev@ikfia.ysn.ru

The paper presents preliminary results of a study of the long-term (1982-2022) dynamics of snowmelt timing in Siberia using ERA5-Land and MODIS radiometer data. In general, there is the earlier snowmelt timing in Siberia under Arctic amplification. Snowmelt timing have advanced by 11 ± 3 days on average across Siberia against the background of a similar increase of spring temperatures by $3.3 \pm 0.8^\circ\text{C}$. At the same time, in the north of Siberia were found the earlier snowmelt timing on 15 ± 5 days. This shift of snowmelt timing was closely linked to increased spring temperatures by $5.1 \pm 1.2^\circ\text{C}$ in this region.

Keywords: snow cover, snowmelt, Arctic amplification, Siberia.

Межгодовые вариации суточного числа радиоимпульсов грозовых разрядов в Якутии на фоне двух циклов солнечной активности

Тарабукина Л.Д., Козлов В.И.

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

taddy-9@mail.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru

В работе использованы данные регистрации очень низкочастотных (ОНЧ) радиоимпульсов грозовых разрядов с помощью однопунктового грозопеленгатора-дальномера (до 1200 км радиус детектирования по порогу), разработанного ИКФИА СО РАН и установленного в окрестности г. Якутска (1999–2016 гг.), и мировой грозопеленгационной сети World wide lightning location network (WWLLN) (2009–2023 гг.). Получены количественные распределения и спектры вариаций суточного числа ОНЧ радиоимпульсов. Вариация суммарного по территории количества ОНЧ радиоимпульсов по дальномеру имела тенденцию к росту до 2005 г., спад к 2008 г. и рост к 2014 г. Количество грозовых разрядов по данным WWLLN согласуется с показаниями по дальномеру с 2009 по 2016 гг. с коэффициентом корреляции около 0,4. По

дальномеру в этом интервале наблюдалась положительная тенденция в вариациях, которая слабо прослеживалась по данным WWLLN, скорректированным на расчетную относительную эффективность детектирования сети до 2016 г. Однако тенденция к возрастанию суммарного количества грозových разрядов по данным WWLLN стала более выраженной к 2022 г. При этом отмечается подобие вариации количества разрядов с энергией импульса более 10 и 100 кДж вариации солнечного цикла, который можно характеризовать интенсивностью излучения на волне 10,7 см. Предположительно это может быть связано с изменяющимися условиями распространения импульсов и таким образом влиянием солнечной активности на амплитуду принимаемых радиосигналов.

Ключевые слова: Грозовой разряд, грозопеленгационная система, World Wide Lightning Location Network, радиоимпульс, однопунктовый грозопеленгатор.

Interannual variations in the daily number of radio pulses of lightning discharges in Yakutia during two cycles of solar activity

Tarabukina L.D., Kozlov V.I.

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

taddy-9@mail.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru

The data used in the paper were obtained by the registration of very low-frequency (VLF) radio pulses of lightning discharges detected by a single-point lightning direction and range finder (up to 1200 km detection radius at the threshold), developed by ShICRA SB RAS and installed in the vicinity of Yakutsk (1999–2016), and the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) (2009–2023). The quantitative distributions and spectra of variations in the daily number of VLF radio pulses were obtained. The variation in the total number of VLF radio pulses over the Yakutia area detected by the rangefinder tended to increase until 2005, decreased by 2008 and increased by 2014. The increment variation in number of lightning pulses according to the WWLLN data was consistent with the variation obtained by the rangefinder data from 2009 to 2016 with a correlation coefficient of about 0.4. According to the rangefinder a positive trend in variations was observed, which was weakly traced according to the WWLLN data, adjusted for the calculated relative efficiency of network detection until 2016. However, the positive trend in the total number of lightning discharges according to WWLLN data became more obvious by 2022. It is noted that the similarity of the variation in the number of discharges with a pulse energy of more than 10 and 100 kJ to the variation of the solar cycle, which can be characterized by the intensity of radiation at a wave of 10.7 cm. Presumably this may be due to changing conditions for the propagation of pulses and thus the influence of solar activity on the amplitude of received radio signals.

Key words: Lightning discharge, lightning locating system, World Wide Lightning Location Network, radio pulse, single-point lightning direction finder.

Моделирование влияния магнитной бури на крупномасштабную структуру высокоширотной ионосферы для зимних условий

Гололобов А.Ю., Попов В.И., Голиков И.А.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

gololobov@ikfia.ysn.ru, volts@mail.ru, gia2008n@mail.ru

На основе численных расчетов на модели высокоширотной ионосферы в эйлеровых переменных проведено исследование влияния возмущенной магнитосферной конвекции на крупномасштабную структуру ионосферы во время умеренной геомагнитной бури для условий зимнего солнцестояния. Показано, что возмущенное электрическое поле конвекции приводит к изменению форм и размеров основных структурных образований ионосферы. Выявлена зависимость эффекта влияния геомагнитной бури от времени начала возмущения вследствие несовпадения географического и геомагнитного полюсов (UT-контроль). Эффект наиболее выражен в случае бури с началом в 16 UT, когда возмущенное электрическое поле магнитосферной конвекции заносит плазму дневной ионосферы на ночную сторону. Показано, что в периоды возмущений наряду с горизонтальной компонентой электромагнитного дрейфа существенное влияние оказывает также его вертикальная компонента, которая приводит к подъему высоты максимума F2 слоя на дневной стороне и ее понижению на ночной.

Ключевые слова: Магнитосферная конвекция, магнитная буря, модель ионосферы, высокоширотная ионосфера, субавроральная ионосфера, несовпадение полюсов.

Modelling the influence of magnetospheric storm on the large-scale structure of the high-latitude ionosphere for winter solstice conditions

Gololobov A.Yu., Golikov I.A., Popov V.I.

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

Gololobov@ikfia.ysn.ru, gia2008n@mail.ru, volts@mail.ru

Based on numerical calculations using a model of the high-latitude ionosphere in Eulerian variables, a study of the influence of magnetospheric convection on the large-scale structure of the ionosphere during a moderate geomagnetic storm for winter solstice conditions was carried out. It is shown that the disturbed electric field of convection leads to changes in the shapes and sizes of the main structural formations of the ionosphere. The dependence of the effect of the influence of a geomagnetic storm on the time of the beginning of the disturbance due to the mismatch of the geographic and geomagnetic poles (UT control) was revealed. The effect is most pronounced in the case of a storm with onset at 16 UT, whereby the disturbed electric field of magnetospheric convection transfers the plasma of the daytime ionosphere to the night side. It is shown that during periods of disturbances, along with the horizontal component of the electromagnetic drift, its vertical component also has a significant

influence, which leads to an increase in the height of the F2 layer maximum on the dayside and its decrease on the night side.

Keywords: magnetospheric convection, magnetic storm, ionosphere model, high-latitude ionosphere, subauroral ionosphere, mismatch of poles.

Особенности сезонных проявлений поляризационного джета в ионосфере субавроральных широт

Бондарь Е.Д., Степанов А.Е., Голиков И.А., Попов В.И.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

bonja@ikfia.ysn.ru, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru, golikovIA@ikfia.ysn.ru, volts@mail.ru

На основе сопоставления наземных экспериментальных данных и результатов модельных расчетов проведено исследование сезонных особенностей поляризационного джета в субавроральной ионосфере восточного полушария. При этом появление поляризационного джета определялось по срыву критических частот вертикального радиозондирования по данным ионосферных станций Якутск, Жиганск и Тикси. С учетом соответствующих гелио- и геофизических условий проведены расчеты на модели высокоширотной ионосферы для разных сезонов. Результаты численного эксперимента хорошо описывает физические условия формирования джета. Так, показано, что наибольшая вероятность появления джета наблюдается в равноденственные месяцы, наименьшая – зимой и летом, т.к. летом субавроральная ионосфера круглосуточно подвергается ионизации солнечным ультрафиолетовым излучением, узкие провалы в широтном ходе электронной концентрации проявляются слабо. Зимой субавроральная ионосфера круглосуточно находится на затененной стороне (явление «полной тени»), поэтому перенос заряженных частиц происходит на низком уровне пространственного распределения концентрации электронов и ионов в течение суток и образование узких провалов проявляется четко.

Ключевые слова: субавроральная ионосфера, узкие провалы ионизации, поляризационный джет, явление полной тени.

Features of seasonal manifestations of the polarization jet in the subauroral ionosphere

Bondar E.D., Stepanov A.E., Golikov I.A., Popov V.I.

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

bonja@ikfia.ysn.ru, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru, golikovIA@ikfia.ysn.ru, volts@mail.ru

Based on comparison of ground-based experimental data and the results of model calculations, a study of seasonal polarization jets in the subauroral ionosphere of the eastern hemisphere was carried out. The appearance of a polarization jet occurs when the maximum frequencies of vertical radio sounding are disrupted according to ionospheric studies of Yakutsk, Zhigansk and Tiksi. Taking into account the corresponding helio- and geophysical conditions, calculations were carried out using models

of the high-latitude ionosphere for different seasons. The results of the numerical experiment describe the physical conditions of jet formation very well. It is shown that the highest probability of a jet occurrence is observed in the equinoctial months, the lowest - in winter and summer, because the subauroral ionosphere in summer is ionized by solar ultraviolet radiation; narrow troughs in the latitudinal variation of the electron concentration are weakly manifested. In winter, the subauroral ionosphere is on the shadowed side (the “total shadow” phenomenon), so the transfer of charged particles occurs at a low level of the spatial distribution of electron and ion concentrations during the day and the formation of narrow troughs is clearly manifested.

Keywords: subauroral ionosphere, narrow troughs of ionization, polarization jet, the total shadow phenomenon.

Лидарные наблюдения за активностью гравитационных волн средней атмосферы на высоких широтах в зимний период

Титов С.В., Николашкин С.В., Сидоров Н.Э.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

stitov@ikfia.ysn.ru, nikolashkin@ikfia.ysn.ru, sidorovnikolay@ikfia.ysn.ru

Рэлееский лидар работал на полигоне «ШАЛ» ИКФИА СО РАН (61,6° с. ш., 129,4° з. д.) с 2004 года по 2017 год и на оптическом полигоне «Маймага» (63,1° с. ш., 129,5° з. д.) с 2018 по сей день. Наблюдения проводились с конца августа до середины мая. В работе использованы лидарные измерения, связанные с атмосферными гравитационными волнами (АГВ) в области высот между 25 и 65 км. Используя температурные профили, созданы климатологии частоты Брента-Вяйсяля (плавучести). Минимальные и максимальные значения варьируются от $2,2 \times 10^{-4}$ (рад/с)² до $5,9 \times 10^{-4}$ (рад/с)². Соответствующие периоды плавучести варьируются от 7,0 до 4,5 минут. Для длительных средних значений атмосфера оказывается конвективно стабильной, в то же время ночные и часовые профили показали периоды конвективной неустойчивости. Значения часто значительно отличались от значений, полученных из модели атмосферы из-за эффектов инверсионных слоев, что свидетельствует о неактуальности любой модели для высокоширотной атмосферы. Профили относительной флуктуации температуры с разрешением по высоте 2 км и временным разрешением 10-20 мин. показали наличие монохроматических гравитационных волн почти каждую ночь по всей высоте зондирования. Преобладающие значения вертикальной длины волны и вертикальной фазовой скорости составляли 5-9 км, 12-16 км и 2-3 м/с соответственно. Потенциальная энергия на единицу массы E_p показала большую изменчивость от ночи к ночи. Ступенчатое уменьшение функции E_p означает, что АГВ между ними отдавали значительную энергию фоновой атмосфере.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № 122011700172-2).

Ключевые слова: Лидар, внутренние гравитационные волны, вейвлет анализ, частота Брента-Вяйсяля.

Lidar observations of middle-atmosphere gravity wave activity at high latitudes during winter

Titov S.V., Nikolashkin S.V., Sidorov N.E.

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

stitov@ikfia.ysn.ru, nikolashkin@ikfia.ysn.ru, sidorovnikolay@ikfia.ysn.ru

The Rayleigh lidar was operated at the EAS test site (61.6° N, 129.4° W) from 2004 to 2017 and at the Maimaga optical test site (63.1° N, 129.5° W) from 2018 to the present day. Observations were made from late August to mid-May. They were used in these studies related to atmospheric gravity waves (AGWs) between 25 and 65 km. Using temperature profiles, we created a climatology of the Brunt-Väisälä (buoyancy) frequency. The minimum and maximum values range from 2.2×10^{-4} (rad/s)² to 5.9×10^{-4} (rad/s)². The corresponding buoyancy periods range from 7.0 to 4.5 minutes. While the atmosphere is convectively stable over long-term averages, nighttime and hourly profiles showed periods of convective instability. Values often differed significantly from those derived from the atmospheric model due to the effects of inversion layers, indicating that either model is not relevant for the high-latitude atmosphere. Relative temperature fluctuation profiles with a height resolution of 2 km and a time resolution of 10-20 min showed the presence of monochromatic gravity waves almost every night over the entire sounding altitude. The dominant values of the vertical wavelength and vertical phase velocity were 5-9 km, 12-16 km and 2-3 m/s, respectively. The potential energy per unit mass E_p showed large variability from night to night. The stepwise decrease in the E_p function means that the AGWs between them gave up significant energy to the background atmosphere.

The work was carried out within the framework of a state assignment (state registration number № 122011700172-2).

Keywords: Lidar, internal gravity waves, wavelet analysis, Brunt-Väisälä frequency.

Геомагнитная буря в мае 2024 года в вариациях параметров атмосферного электричества и грозовой активности по данным регистрации на севере-востоке России

Каримов Р.Р., Козлов В.И., Торопов А.А., Тарабукина Л.Д.

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

karimov@ikfia.ysn.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru, anatol2010@mail.ru, tarabukina@ikfia.ysn.ru

В данной работе рассматривается реакция параметров атмосферного (амплитуда напряженности атмосферного электрического поля, интенсивность ОНЧ-шумов грозового происхождения и количество грозовых разрядов во всем мире) электричества на резкое понижение космических лучей во время сильной геомагнитной бури 10-12 мая 2024 года с ($K_p=9$, Dst до -412 нТл, B_z до -40 нТл). Понижение интенсивности космических лучей во время Форбуш-эффекта имело амплитуду 10-15% и восстановление уровня длилось около 4 дней. Использовались данные регистрации ОНЧ-приемника и электростатического флюксметра,

которые установлены на радиофизическом полигоне «Ойбенкель» ИКФИА СО РАН и данные глобальной системы определения местоположения грозových разрядов (WWLLN). Получено, что происходит повышение уровней атмосферного электрического поля в условиях «хорошей погоды» и ОНЧ-шумов грозového происхождения в основном от Африканского источника, а также увеличение количества грозových разрядов в мировых грозových очагах. Глобальный характер полученных результатов указывают на влияние уровня интенсивности космических лучей на проводимость глобальной электрической цепи, что в свою очередь приводит к изменению грозовой активности и напряженности атмосферного электрического поля.

Результат получен в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер государственного учета в ЕГИСУ НИОКТР 122011700182-1).

Ключевые слова: Грозовая активность, Атмосферное электричество, Форбуш-понижение ГКЛ.

The geomagnetic storm on May 2024 in variations of atmospheric electricity parameters and thunderstorm activity according to registration data in the north-east of Russia.

Karimov R.R., Kozlov V.I., Toropov A.A., Tarabukina L.D.

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

karimov@ikfia.ysn.ru, ykozlov@ikfia.ysn.ru, anatol2010@mail.ru, tarabukina@ikfia.ysn.ru

In this paper investigates the reaction of atmospheric electricity parameters (the amplitude of the atmospheric electric field intensity, the intensity of the VLF-noises of thunderstorm origin and the worldwide number of lightning discharges) to a sharp decrease in cosmic rays during a strong geomagnetic storm on May 10-12, 2024 with ($K_p=9$, Dst to -412 Nt, Bz to -40 Nt). The decrease in the cosmic rays intensity during the Forbush effect had an amplitude of 10-15%, and the restoring of the level lasted about 4 days. The data of the registration of the VLF receiver and the electrostatic fluxmeter, which are installed at the radiophysical station "Oibenkyol" of SHICRA SB RAS, as well as data from the global system for determining the location of lightning discharges (WWLLN). It was found that there is an increase in the levels of the atmospheric electric field in conditions of "good weather" and the VLF-noises of thunderstorm origin mainly from an African source, as well as an increase in the number of lightning discharges in global thunderstorm centers. The global nature of the results obtained indicates the influence of the intensity level of cosmic rays on the conductivity of the global electrical circuit, which, in turn, leads to a change in thunderstorm activity and the intensity of the electric field of the atmosphere.

The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, SHICRA SB RAS (State Registration Number in INIS RDE 122011700182-1)

Keywords: Thunderstorm activity, atmospheric electricity, Forbush-decrease in GCR.

Response of OI630.0 and OI557.7 nm dayglow emissions measured by ICON/MIGHTI to a moderate geomagnetic storm

Gao Hong

National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

hgao@swl.ac.cn

Observations from the Michelson Interferometer for Global High-Resolution Thermospheric Imaging onboard the Ionospheric Connection Explorer spacecraft are used to study the response of OI630.0 and OI557.7 dayglow to a moderate geomagnetic storm on 27 August 2021. The storm reaches a minimum Dst index of 82 nT, significantly impacting the dayglow within the latitudinal range of approximately 20°N–42°N, where the dayglow observations are of good quality. During the geomagnetic storm, the OI630.0 dayglow intensity slightly increases, while the peak volume emission rate (VER) decreases, and the peak height rises noticeably. The F-layer intensity, peak VER, and the entire-layer intensity of OI557.7 dayglow decrease significantly. The rise in peak height is not noticeable for the OI557.7 dayglow. The VERs of the dayglow emissions at both these wavelengths respond differently to the geomagnetic storm at different altitudes. The OI630.0 dayglow layer as a whole extends upward and rises in altitude. For dayglow averaged above 35°N, the OI630.0 dayglow VER increases above approximately 225 km but decreases below this altitude.

Key words: Green line, red line, dayglow, geomagnetic storm.

Корреляция волновых возмущений в верхней атмосфере

Перевалова Н.П., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С., Медведева И.В.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

pereval@iszf.irk.ru, ratovsky@iszf.irk.ru, annpol@iszf.irk.ru, ivmed@iszf.irk.ru

Проведен анализ корреляции волновых возмущений максимальной электронной концентрации в слое F2 (NmF2) и полного электронного содержания (ПЭС). Анализ выполнен по данным измерений ионозонда вертикального зондирования и приемника ГНСС, действующих в Иркутске. Использовались данные за период 2003-2020 гг., охвативший почти два солнечных цикла. Анализовались возмущения двух периодов: длиннопериодные (периоды $T > 24$ ч), соответствующие межсуточным вариациям, и короткопериодные (периоды $T < 24$ ч), соответствующие внутрисуточным вариациям. Установлено, что корреляция межсуточных вариаций NmF2 и ПЭС выше в периоды высокой солнечной активности; наиболее высокая корреляция наблюдается зимой, наиболее низкая – летом; в дневных условиях корреляция выше, чем в ночных. Для внутрисуточных вариаций NmF2 и ПЭС коэффициент корреляции имеет широкий разброс, при этом встречается отрицательная корреляция, указывающая на заметную разницу в поведении возмущений NmF2 и ПЭС. Наиболее вероятной ситуацией является высокая положительная корреляция короткопериодных возмущений NmF2 и ПЭС. С ростом солнечной и геомагнитной активности растет количество случаев сильной

положительной корреляции и уменьшается количество случаев положительной и отрицательной слабой корреляции. Во время сильных геомагнитных бурь наиболее высокая корреляция короткопериодных возмущений NmF2 и ПЭС наблюдается на главной фазе бури, на фазе восстановления корреляция уменьшается вплоть до отрицательных значений.

Ключевые слова: ионосферные возмущения, NmF2, ПЭС, ионозонды, ГНСС

Correlation of wave disturbances in the upper atmosphere

Perevalova N.P., Ratovsky K.G., Yasyukevich A.S., Medvedeva I.V.

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

pereval@iszf.irk.ru, ratovsky@iszf.irk.ru, annpol@iszf.irk.ru, ivmed@iszf.irk.ru

The correlation of wave disturbances in the peak electron density of the F2 layer (NmF2) and the total electron content (TEC) has been analyzed. The analysis was based on measurement data from the vertical sounding ionosonde and GNSS receiver operating in Irkutsk. We used data for the period 2003-2020 covering almost two solar cycles. Disturbances of two periods were analyzed: long-period wave disturbances (periods more than 24 hours) corresponding to day-to-day variations and short-period wave disturbances (periods less than 24 hours) corresponding to intradiurnal variations. It was found that the correlation between day-to-day variations in NmF2 and TEC is higher during periods of high solar activity; the highest correlation is observed in winter and the lowest in summer; during daytime, the correlation is higher than at night. For intradiurnal variations in NmF2 and TEC, the correlation coefficient is characterized by a wide range, but sometimes a negative correlation occurs, indicating a noticeable difference in the behavior of NmF2 and TEC disturbances. The most probable case is a high positive correlation between short-period disturbances of NmF2 and TEC. With the growth of solar and geomagnetic activity, the number of cases of strong positive correlation increases and the number of cases of both positive and negative weak correlation decreases. During powerful geomagnetic storms, the highest correlation between short-period disturbances of NmF2 and TEC is observed in the storm main phase, during the recovery phase, this correlation decreases up to negative values.

Keywords: ionospheric disturbances, NmF2, TEC, ionosondes, GNSS

Влияние солнечных рентгеновских вспышек на амплитуду сигналов СДВ радиопередатчиков по данным регистрации ОНЧ-излучения в диапазоне до 20 кГц

Уйгуров М.И., Каримов Р.Р., Корсаков А.А.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

uigurov@ikfia.ysn.ru, korsakova@ikfia.ysn.ru, karimov@ikfia.ysn.ru

Проведены исследования реакции нижних слоев ионосферы для трассы распространения ОНЧ-сигналов "Якутск-Австралия" на мощные рентгеновские солнечные вспышки М и Х класса в начале 2024 года. Суточные вариации амплитуды электромагнитного излучения очень низкочастотного диапазона, распространяющегося в волноводе «Земля-ионосфера»,

чувствительны к изменениям проводимости в нижних областях ионосферы на высотах 60-90 км D-слоя днем и на высотах 90-130 км E-слоя ночью. Мониторинг вариаций суточного хода низко частотных сигналов от сверх длинноволновых (СДВ) радиопередатчиков, излучающих сигналы в диапазоне до 100 кГц, позволяют исследовать физику нижней ионосферы, представляющего собой гигантский детектор, и распространения ОНЧ-излучения в приземном волноводе. Основные исследования внезапных ионосферных возмущений нижней ионосферы связаны с воздействием солнечных вспышек рентгеновского диапазона на нижнюю ионосферу Земли. В исследовании использовались данные регистрации ОНЧ-излучения в диапазоне до 20 кГц, принимаемого на вертикальную электрическую антенну, на радиофизическом полигоне ИКФИА СО РАН "Ойбенкель". ОНЧ-сигналы излучаются радиопередатчиком NWC в Австралии на частоте 19,8 кГц. Трасса распространения ОНЧ-сигналов "Якутск-Австралия" имеет свои пространственные и временные особенности. Большая часть трассы находится на нижних и средних широтах, и при этом пересекает экваториальную часть волновода «Земля-ионосфера» по меридиану. Данная трасса представляет особый интерес для развития модели распространения электромагнитного излучения.

Ключевые слова: рентгеновские солнечные вспышки, ОНЧ-излучения, Земля-ионосфера, электромагнитного излучения.

The effect of solar X-ray flashes on the amplitude of the signals of the shift of radio transmitters according to the data of registration of UHF radiation in the range up to 20 kHz

Uygurov M.I., Karimov R.R., Korsakov A.A.

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

uigurov@ikfia.ysn.ru, korsakovaa@ikfia.ysn.ru, karimov@ikfia.ysn.ru

The response of the ionosphere D-layer for the VLF-signals propagation path "Yakutsk-Australia" to powerful X-ray solar flares at the beginning 2024 has been studied. The diurnal variations of the amplitude of electromagnetic radiation of very low frequency range propagating in the "Earth-ionosphere" waveguide are sensitive to changes in conductivity in the lower regions of the ionosphere at heights of 60-90 km of the D-layer during the day and at heights of 90-130 km of the E-layer at night. Monitoring of variations in the diurnal course of low-frequency signals from very low wave VLF radio transmitters emitting signals in the range up to 100 kHz allow us to investigate the physics of the lower ionosphere, which is a giant detector, and the propagation of VLF radiation in the surface waveguide. The main studies of sudden ionospheric perturbations of the lower ionosphere are related to the impact of solar flares of the X-ray range on the Earth's lower ionosphere. The data of registration of VLF radiation in the range up to 20 kHz received on a vertical electric antenna at the radio-physical station of IKFIA SB RAS "Oybenkel" were used in the study. VLF signals are radiated by the NWC radio transmitter in Australia at the frequency of 19.8 kHz. The propagation route of VLF signals "Yakutsk-Australia" has its spatial and temporal peculiarities. Most of the route is located at lower and middle latitudes, and at the same time it crosses the equatorial part of the Earth-Ionosphere waveguide along the meridian. This trace is of particular interest for the development of the electromagnetic radiation propagation model.

Key words: X-ray solar flares, VLF radiation, Earth-ionosphere, electromagnetic radiation.

Естественные потенциалы в криолитозоне 2017-2024 на площадке с таликом

Павлов Е.А., Козлов В.И.

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

pochta_baki@mail.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru

Экспериментальные исследования проводились на таежном полигоне ИКФИА СО РАН в 25 км от г. Якутска и на удалении 7 км от ЛЭП. Площадка расположена на «сухом» участке, содержащем талик. Две пары 100 м измерительных линий имеют направление С-Ю и В-З и выставлены по компасу. Весной с 17.04 по 11.05 наблюдается резкое изменение потенциалов, вызванное таянием снега. Далее наблюдается изменение в обратную сторону, вызванное стеканием воды (вешние воды). До середины июля наблюдается плато и затем изменение в сторону отрицательных потенциалов, связанное с оттайкой верхнего слоя грунта. В середине ноября происходит подъем до зимних значений (идет промерзание верхнего слоя грунта). Зимой наблюдается слабо изменяющееся плато. Деятельный слой грунта при этом полностью промерзший. Размах вариации составляет 63 мВ/100м и стабильный зимний уровень составляет от -0,9 до 2 мВ/100м. Наблюдаются резкие выбросы величин естественных потенциалов во время дождливых дней. Вариации потенциалов на линиях на сухом участке коррелируют с вариациями на участке, содержащем марь, но по величине меньше примерно в 10 раз. Межгодовые вариации лучше всего прослеживаются в период полного промерзания верхнеталого грунта. Этот период около г. Якутск длится с конца ноября по конец апреля. По зимним наблюдениям наблюдается плавная вариация длительностью более 8 лет, в течении которых велись наблюдения с 2017 г до 2024 г. В 2020 произошло изменение знака наклона вариации. Вариация естественных потенциалов зимой возможно определяется межгодовой вариацией магнитного поля. На геомагнитной лаборатория Какиока (КАК) изменение наклона вариации магнитного поля (джерки) наблюдались, как и в Якутске, в 2016 и 2020, что соответствует изменению наклона вариаций естественных потенциалов, зарегистрированных нами. На Магаданской магнитной станции джерк также отмечался в 2020 г.

Ключевые слова: Естественные потенциалы, криолитозона, электротомография, талик.

Natural potentials in the cryolithozone 2017-2024 on a site with a talik

Pavlov E.A., Kozlov V.I.

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

pochta_baki@mail.ru, vkozlov@ikfia.ysn.ru

Experimental studies were conducted at the taiga testing ground of the Institute of Crystallography and Atmospheric Physics SB RAS, 25 km from Yakutsk and 7 km from the power transmission line. The site is located on a "dry" area containing a talik. Two pairs of 100 m measuring lines have a N-S and E-W direction and are aligned with a compass. In the spring, from 17.04 to 11.05, a sharp change in potentials is observed due to snow melting. Then a change in the opposite direction is observed due to water runoff (spring waters). Until mid-July, a plateau is observed and then a change towards negative

potentials associated with the thawing of the upper soil layer. In mid-November, an increase to winter values occurs (the upper soil layer freezes). In winter, a slightly changing plateau is observed. The active soil layer is completely frozen. The variation range is 63 mV/100 m and the stable winter level is from -0.9 to 2 mV/100 m. There are sharp spikes in the values of natural potentials during rainy days. Potential variations on the lines in the dry area correlate with variations in the area containing marsh, but are approximately 10 times smaller in magnitude. Interannual variations are best seen during the period of complete freezing of the upper thawed soil. This period near Yakutsk lasts from late November to late April. According to winter observations, a smooth variation is observed lasting more than 8 years, during which observations were carried out from 2017 to 2024. In 2020, the sign of the variation slope changed. The variation of natural potentials in winter is possibly determined by the interannual variation of the magnetic field. At the Kakioka Geomagnetic Laboratory (KAK), changes in the slope of the magnetic field variation (jerks) were observed, as in Yakutsk, in 2016 and 2020, which corresponds to the change in the slope of the natural potential variations recorded by us. At the Magadan Magnetic Station, jerks were also noted in 2020.

Key words: Natural potentials, cryolithozone, electrical resistivity tomography, talik.

Разработка программы предварительной обработки данных интерферометра Фабри-Перо

Евсеев У.Н., Николашкин С.В.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафара СО РАН,
Якутск, Россия*

striem830289@gmail.com, nikolashkin@ikfia.ysn.ru

Интерферометры Фабри-Перо широко используются во многих областях исследований – в спектроскопии, астрофизике, в геофизике, где требуется большая точность измерений температуры и смещений. Сложность использования интерферометра в области исследования свечения ночного неба и полярных сияний заключается в очень слабой интенсивности источников излучения. Поэтому, данные, которые получаются, бывают зашумленными и сложными для анализа и основной целью данной работы является увеличение отношения сигнал/шум. Для решения этой проблемы была разработана программа предварительной обработки данных, которая производит интегрирование полученной картины вокруг найденного центра интерференционной картины. В результате получается двумерное распределение интенсивности интерференционных контуров, по которым в дальнейшем будет производиться определение температуры излучающего газа по доплеровскому уширению его контура, а также скорости ветра по сдвигу контура. Программа предварительной обработки данных интерферометра Фабри-Перо разработана на языке программирования Python и сокращает время и усилия, необходимые для ручной обработки данных, и предоставляет исследователям удобный формат информации для получения надежных результатов. Эта программа была протестирована с использованием различных данных интерферометра, что продемонстрировало ее универсальность и эффективность.

Ключевые слова: Обработка данных, интерферометр Фабри-Перо, эмиссия 630.0нм, температура верхней атмосферы, интерференционные кольца.

Development of the program of preliminary data processing of the Fabry-Perot interferometer data

Evseev U.N., Nikolashkin S.V.

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

striem830289@gmail.com, nikolashkin@ikfia.ysn.ru

Fabry-Perot interferometers are widely used in many fields of research - in spectroscopy, astrophysics, geophysics, where great accuracy of temperature and displacement measurements is required. The difficulty of using an interferometer in the field of night sky glow and aurora borealis research lies in the very weak intensity of the radiation sources. Therefore, the data that are obtained are noisy and difficult to analyze and the main objective of this work is to increase the signal to noise ratio. To solve this problem, a data preprocessing program has been developed that performs an integration of the obtained pattern around the found center of the interference pattern. As a result, a two-dimensional intensity distribution of interference contours is obtained, which will be used to determine the temperature of the radiating gas by the Doppler broadening of its contour, as well as the wind speed by the contour shift. The Fabry-Perot interferometer data preprocessing program is developed in the Python programming language and reduces the time and effort required for manual data processing and provides researchers with a convenient format of information to obtain reliable results. This program has been tested using a variety of interferometer data, demonstrating its versatility and effectiveness.

Key words: Data processing, Fabry-Perot interferometer, 630.0 nm emission, upper atmosphere temperature, interference fringes.

Исследование вариаций температурного профиля атмосферы по данным лидара

Сидоров Н.Э., Титов С.В.

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

treiv2010@bk.ru, stitev@ikfia.ysn.ru

Исследование вариаций температурного профиля атмосферы способствует лучшему пониманию распространения внутренних гравитационных волн (ВГВ) через слои атмосферы и оценке передачи количества импульса. Что в свою очередь, поможет моделированию климата, изучения атмосферы и разработки более точных прогностических моделей для оценки изменения климата и атмосферных процессов. В данной работе исследуются вариации температурного профиля, вызванные внутренними гравитационными волнами по данным лидара. Для этого были проведены наблюдения на стратосферном лидаре, а также обработаны полученные данные с помощью программ RHC-Viewer, Eclipse. Разработан код в программе Rucharm на языке программирования Python для вычисления вариаций температурного профиля

и визуализации этих вариаций на программе OriginPro. В работе проанализированы вариации температуры атмосферы, вызванные гравитационными волнами на высотах от 20 до 60 км. Основной акцент работы сделан на сравнении параметров ВГВ до, вовремя и после внезапных стратосферных потеплений.

Ключевые слова: Вариация температурного профиля, обработка данных, создание кода на языке программирования Питон, автоматизация лидара, лидарные исследования.

Study of atmospheric temperature profile variations using lidar data

Sidorov N.E., Titov S.V.

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

treiv2010@bk.ru, stitev@ikfia.ysn.ru

The study of variations in the atmospheric temperature profile contributes to a better understanding of the propagation of internal gravity waves (IGW) through the atmospheric layers and the assessment of the transfer of momentum. Which in turn will help in climate modeling, atmospheric studies and the development of more accurate predictive models for assessing climate change and atmospheric processes. In this paper, we study variations in the temperature profile caused by internal gravity waves according to lidar data. For this purpose, observations were carried out on a stratospheric lidar, and the obtained data were processed using PHC-Viewer, Eclipse programs. A code was developed in the Pycharm program in the Python programming language to calculate variations in the temperature profile and visualization of their variations on the OriginPro program. In this paper, we analyze variations in the lidar temperature caused by gravity waves at altitudes from 20 to 60 km. The main focus of the work is on comparing the parameters of the IGW before, during and after sudden stratospheric warmings.

Keywords: Temperature profile variation, data processing, Python coding, lidar automation, lidar research.

Моделирование крупномасштабных волн диффузного свечения в вечернем секторе 28 декабря 2010

Варламов И.И., Гололобов А.Ю., Баишев Д.Г.

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

varlamovi@mail.ru, gololobov@ikfia.ysn.ru, baishev@ikfia.ysn.ru

Крупномасштабные волны диффузного свечения (КВС) можно рассматривать как достаточно редкое явление. Это вытекает хотя бы из того факта, что снимки спутников DMSP имеются в наличии с 1972 г., а первая публикация об этом явлении появилась лишь в 1982 г. [Lui et al., 1982]. В этом исследовании за десятилетний период наблюдений обнаружено только 4 события КВС. Все последующие публикации акцентированы, главным образом, на исследовании единичных событий или, в исключительных случаях, нескольких. В данном

исследовании мы рассматриваем проявление КВС наблюдаемых камерами всего неба на Кольском полуострове 28 декабря 2010 г., и используем в нашей модели проанализированные условия в [Воробьев и др., 2015] в межпланетной среде и характеристики геомагнитной активности до начала КВС и в период их регистрации.

Ключевые слова: Волны большой амплитуды, моделирование, полярное сияние, магнитное поле, ионосфера.

Modeling of large-scale undulations of diffuse aurorae in the evening sector on December 28, 2010

Varlamov I.I., Gololobov A.Yu., Baishev D.G.

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

varlamovi@mail.ru, gololobov@ikfia.ysn.ru, baishev@ikfia.ysn.ru

Large amplitude undulations (LAU) can be considered a rather rare phenomenon. This follows at least from the fact that DMSP satellite images are available since 1972, and the first publication on this phenomenon appeared only in 1982 [Lui et al., 1982]. In this study, only 4 LAU events were detected over a ten-year observation period. All subsequent publications focus mainly on the study of single events or several. In this study, we consider the manifestation of LAUs observed by all-sky cameras on the Kola Peninsula on December 28, 2010, and use in our model the conditions in the interplanetary medium and the characteristics of geomagnetic activity before the onset of LAUs and during their registration, analyzed in [Vorobjev et al., 2015].

Key words: Large amplitude undulations, modeling, aurora, magnetic field, ionosphere.

Признаки поляризационного джета по измерениям навигационной системы GPS

Данилов С.И., Степанов А.Е., Гололобов А.Ю.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

danilov@ikfia.ysn.ru, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru, Gololobov@ikfia.ysn.ru

В данной работе представлены материалы по определению поляризационного джета по данным измерений спутниковой системы навигации GPS. Данные измерений GPS позволяют вычислять полное электронное содержание (ПЭС) вдоль траектории луча. Установлено, что резкие падения ПЭС совпадают с временем наблюдения поляризационного джета по данным наземной станции Якутск и спутника DMSP F-17.

Ключевые слова: GPS, поляризационный джет, ионосфера, плазма.

Polarization jet from GPS satellite navigation system measurements

Danilov S.I., Stepanov A.E., Gololobov A.Yu.

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

danilov@ikfia.ysn.ru, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru, Gololobov@ikfia.ysn.ru

This paper presents materials on the determination of the polarization jet from measurements of the GPS satellite navigation system. The GPS measurement data allows us to calculate the total electron content (TEC) along the beam trajectory. It was found that the sharp drops of TEC coincide with the time of observation of the polarization jet according to the data of the Yakutsk ground-based station and the DMSP F-17 satellite.

Keywords: GPS, polarization jet, ionosphere, plasma.

Исследование пространственно-временных вариаций распределения метана по данным TROPOMI и наземных измерений в азиатской части России

Васильева С.А., Стародубцев В.С.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

tomsкая@ikfia.ysn.ru, starodubjr@ikfia.ysn.ru

В работе предоставлен предварительный анализ особенностей пространственно-временных вариаций распределения атмосферного метана в азиатской части России по данным спектрометра TROPOMI/Sentinel-5 (май-сентябрь 2018–2023 гг.) и наземных наблюдений. Построены карты плотности покрытия данных TROPOMI и значений метана, восстановленных по алгоритмам RemoTeC и WFMD. Проведено сопоставление спутниковых данных с измерениями метана на трех станциях в Западной Сибири и одной на побережье моря Лаптевых (2018-2021 гг.). Анализ спутниковых и наземных данных показывает, что наблюдается общая тенденция роста метана над исследуемой территорией. Восстановленные значения метана по алгоритмам RemoTeC и WFMD имеют заметные различия.

Ключевые слова: метан, TROPOMI, RemoTeC, WFMD, JR-STATION, Арктика.

Spatiotemporal variations in methane distribution from to TROPOMI data and ground measurements in the asian part of Russia

Vasilieva S.A. Starodubtsev V.S.

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

tomsкая@ikfia.ysn.ru, starodubjr@ikfia.ysn.ru

A preliminary analysis spatiotemporal of methane variations in the Asian part of Russia based on TROPOMI/Sentinel-5 spectrometer data (May-September 2018-2023) and ground-based observations was carried out. Methane coverage density maps obtained by RemoTeC and WFMD algorithms from TROPOMI data were constructed. Satellite data were compared with methane measurements at four stations located in Western Siberia and on the coast of the Laptev Sea (2018–2021). Satellite and ground

data show that there is a general trend of increasing methane in the study area. The retrieval methane values by RemoTeC and WFMD algorithms have noticeable differences.

Keywords: methane, TROPOMI, RemoTeC, WFMD, JR-STATION, Arctic.

Разработка регистратора естественных электрических потенциалов

Васильев А.А.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

vasilalex87@mail.ru

Представлено устройство, разработанное для регистрации естественных электрических потенциалов. Это устройство может использоваться для мониторинга вариаций естественных электрических потенциалов грунта и деревьев. Измерение естественных электрических потенциалов является важным инструментом для понимания многих природных процессов. В настоящее время измерения потенциалов, проводимые в лаборатории радиоизлучений ионосферы и магнитосферы ИКФИА СО РАН, осуществляются «ручным» способом. Данный регистратор позволит автоматизировать процесс измерений и сбора данных. В статье представлен прибор для регистрации естественных электрических потенциалов почвы и корневых систем деревьев. Разработанное устройство открывает возможности для автоматизации процессов мониторинга и сбора данных, что является значительным улучшением по сравнению с текущими "ручными" методами, используемыми в лаборатории радиоизлучений ионосферы и магнитосферы ИКФИА СО РАН. Измерения, которые может производить данный регистратор, обеспечивают данные для метеорологов, экологов и исследователей, занимающихся изучением грозовой активности и её влиянием на природные системы.

Ключевые слова: естественные потенциалы, грунт, регистратор, измерения.

Development of a Natural Electric Potential Recorder

Vasiliev A.A.

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

vasilalex87@mail.ru

A device developed for recording natural electric potentials is presented. This device can be used to monitor variations in the natural electric potentials of soil and trees. Measuring natural electric potentials is an important tool for understanding many natural processes. Currently, potential measurements carried out in the laboratory of ionospheric and magnetospheric radio emissions of the IKFIA SB RAS are carried out "manually". This recorder will automate the process of measurements and data collection. The article presents a device for recording natural electric potentials of soil and tree root systems. The developed device opens up possibilities for automation of monitoring and data

collection processes, which is a significant improvement over the current "manual" methods used in the laboratory of ionospheric and magnetosphere radio emissions of the IKFIA SB RAS. The measurements that this recorder can make provide data for meteorologists, ecologists and researchers studying thunderstorm activity and its impact on natural systems.

Keywords: natural potentials, soil, recorder, measurements.

Сопоставления наземных наблюдений и спутниковых данных, полученных во время сияний и возникновений SAR-дуг

Сокольников А.В., Иевенко И.Б.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Якутск, Россия*

sokolnikov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

SAR дуги являются следствием взаимодействия внешней плазмосферы (плазмопаузы) с энергичными ионами кольцевого тока во время магнитных бурь. Это явление появляется не так часто. Наши исследования показывают, что SAR-дуги могут возникать в окрестности границы ДС во время усиления магнитосферной конвекции. Что бы узнать больше о процессах происходящих во время сияний и возникновений SAR-дуг мы используем спутниковые данные зондов Van Allen и ERG (Arase) и сопоставляем их с данными наземных наблюдений. Это позволяет увидеть более полную картину происходящего. В докладе представлено несколько событий и результаты обработки данных.

Ключевые слова: SAR arc, Van Allen, ERG(Arase), плазмосфера, плазмопауза, Keo Centry, Keo Horizon, авроральные сияния, магнитосфера.

Current results of the work. Comparison of ground-based observations and satellite data obtained during auroras and SAR arcs.

Sokolnikov A.V., Ievenko I.B.

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

sokolnikov@ikfia.ysn.ru, ievenko@ikfia.ysn.ru

SAR arcs are a consequence of the interaction of the outer plasmasphere (plasmopause) with energetic ions of the ring current during magnetic storms. This phenomenon does not occur very often. Our studies show that SAR arcs can occur in the vicinity of the DS boundary during increased magnetospheric convection. To learn more about the processes occurring during auroras and the occurrence of SAR arcs, we use satellite data from the Van Allen and ERG (Arase) probes and compare them with ground-based observations. This allows us to see a more complete picture of what is happening. The report presents several events and the results of data processing.

Key words: SAR arc, Van Allen, ERG(Arase), plasmasphere, plasmopause, Keo Centry, Keo Horizon, auroral auroras, magnetosphere.

Научное издание

**Динамические процессы
в средней и верхней атмосфере**

Всероссийская конференция (с международным участием),
посвященная 300-летию Российской академии наук
и 75-летию Якутского научного центра СО РАН

Тезисы докладов

Редколлегия:

Николашкин С.В.,

Колтовской И.И.,

Тыщук О.В.

Подписано в печать 27.08.2024 г.

Электронное издание

Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН,
г. Якутск, пр. Ленина, 31