

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИКИ РАН)

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**АКАДЕМИЧЕСКИЙ МИКРОСПУТНИК**  
**ЧИБИС-М**  
РЕЗУЛЬТАТЫ, УРОКИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Москва, ИКИ РАН  
03–07 февраля 2014 года

**ПРОГРАММА**

Москва  
2014

---

## 03 февраля 2014 г. (понедельник)

---

- 11:00–15:00 Приезд участников конференции и размещение в гостинице  
Экскурсия в «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина»
- 15:00–18:00 *Заседание рабочих групп*  
ИКИ РАН, ком. 200, 222
- 16:00–16:30** *Перерыв на кофе, чай* **Coffee break**  
Выставочный зал,  
секция А-4, 1-й этаж

---

## 04 февраля 2014 г. (вторник)

---

- Центр отображения, секция А-4, 2-й этаж
- 10:30–11:00 *Регистрация участников*  
Секция А-4, холл 2-го этажа
- 11:00–11:30 **Зелёный Л. М. (ИКИ РАН)** **Zelenyi L. M.**  
Открытие конференции. Opening of the conference.  
Основные результаты проекта The main results of the Chibis-M  
«Чиби́с-М» project
- 11:30–12:00 **Панасюк М. И. (НИИЯФ МГУ)** **Panasyuk M. I.**  
К модели глобальной генера- To the model of global tran-  
ции транзиентных энергичных sient events generation in the  
явлений в атмосфере atmosphere
- 12:00–12:30** *Перерыв на кофе, чай* **Coffee break**  
Выставочный зал,  
секция А-4, 1-й этаж
- 12:30–13:00 **Богомолов А. А., Богомо- Bogomolov A. A., Bogomo-  
лов В. В., Гари́пов Г. К., Сверти- lov V. V., Garipov G. K., Sverti-  
лов С. И., Яшин И. В. (НИИЯФ lov S. I., Yashin I. V.**  
МГУ) **The main results of experiment  
Основные результаты экспе- with RGD instrument on-board  
римента с прибором РГД на Chibis-M microsatellite**  
микроспутнике «Чиби́с-М»
- 13:00–13:30 **Гари́пов Г. К. (НИИЯФ МГУ)** **Garipov G. K.**  
Обзор космических экспери- Review of SINP MSU space  
ментов НИИЯФ МГУ «Татья- experiments Tatiana, Compass-2,  
на», «Компас-2», «Татьяна-2», Tatiana-2, Chibis-M for study  
«Чиби́с-М» по изучению of night atmosphere airglow and  
свечения ночной атмосферы transient optical phenomena  
и транзиентных оптических  
явлений
- 13:30–14:00 **Гуревич А. В. (ФИАН)**  
TBD

**14:00–15:00 Обед**

15:00–15:30

15:30–16:00 **Мареев Е. А. (ИПФ РАН)**  
Что могли бы дать микро-  
спутники для исследования  
глобальной электрической  
цепи?

**16:00–16:30 Перерыв на кофе, чай**

Выставочный зал,  
секция А-4, 1-й этаж

16:30–17:00

**18:00–20:00 Коктейль**

Выставочный зал,  
секция А-4, 1-й этаж

**Dinner**

**Ferencz Cs., Lichtenberger J.,  
Steinbach P., Szegedi P.,  
Dósa M. V. (Space Research  
Group, Eötvös University,  
BL-Electronics Space Research,  
Hungary)**

First results on Chibis-M VLF  
monitoring operation in Space  
Weather application

**Mareev E. A.**  
What could give microsattellites  
for the study of the global electric  
circuit?

**Coffee break**

**Steinbach P., Ferencz Cs., Lich-  
tenberger J., Ferencz O. E., Sze-  
gedi P. (Space Research Group,  
Eötvös University, BL-Electronics  
Space Research, Hungary)**

Results of waveform analysis  
in Chibis-M SAS3 burst VLF  
records

**Cocktail**

---

## 05 февраля 2014 г. (среда)

---

Центр отображения, секция А-4, 2-й этаж

**09:30–10:00 Регистрация участников**

Секция А-4, холл 2-го этажа

10:00–10:30 **Климов С. И., Козлов И. В.,  
Рябова А. Д. (ИКИ РАН), Коре-  
панов В. Е. (ЛЦ ИКИ НАН-ГКА  
Украины), Ференц Ч. (Space  
Research Group, Eötvös Univer-  
sity, Hungary)**

Программа наземных экспе-  
риментов, скоординирован-  
ных с «Чибис-М»

**Klimov S., Kozlov I., Ryabova A.,  
Korepanov V., Ferenc Cs.**  
Ground support experiments,  
coordinated with Chibis-M

- 10:30–11:00 **Евтушенко А. А., Кутерин Ф. А., Мареев Е. А., Давыденко С. С. (ИПФ РАН)**  
 Моделирование воздействий высотных разрядов на химический состав и излучение мезосферы  
**Evtushenko A. A., Kuterin F. A., Mareev E. A., Davydenko S. S.**  
 On the modeling of high-altitude discharges influence on the chemical balance and emissions of mesosphere
- 11:00–11:30 **Ерохин Н. С., Артёха С. Н. (ИКИ РАН)**  
 Структурные характеристики электрического поля в грозовой облачности  
**Erohin N. S., Arteha S. N.**  
 Structural characteristics of the electric field in thunderstorm
- 11:30–12:00 **Климов С. И. (ИКИ РАН)**  
 Методические аспекты измерений электрической компоненты КНЧ-ОНЧ-излучений на микроспутнике «Чибис-М»  
**Klimov S. I.**  
 Methodological aspects of measuring electrical components ELF-VLF emissions on microsatellite Chibis-M
- 12:00–12:30 **Перерыв на кофе, чай**  
 Выставочный зал, секция А-4, 1-й этаж  
**Coffee break**
- 12:30–13:00 **Назаров В. Н., Назиров Р. Р., Зелёный Л. М., Ангаров В. Н., Батанов О. В., Эйсмонт Н. А., Готлиб В. М., Каредин В. Н., Климов С. И., Коротков Ф. В., Козлов И. В., Ледков А., Мельник А. П., Родин В. Г., Рябова А. Д., Суханов А. А., Третьяков А. Е. (ИКИ РАН), Папков А. П. (НИЛАКТ РОСТО), Карпенко С. О. (СКАНЕКС), †Боднар Л. (BL-Electronics Space Research, Hungary), Шмеллауэр Я. (UFA CzAV)**  
 Наземный сегмент проекта «Чибис-М»: полученные уроки после двух лет полёта  
**Nazarov V., Nazirov R., Zelenyi L., Angarov V., Batanov O., Eismont N., V.Gotlib, Karedin V., Klimov S., Korotkov F., Kozlov I., Ledkov A., Melnik A., Rodin V., Ryabova A., Sukhanov A., Tretiakov A., Papkov A., Karpenko S., †Bodnar I., Shmelauer Ya.**  
 Ground segment for microsatellite Chibis-M: learned lessons after two years of operations
- 13:00–13:30 **Ледков А., Эйсмонт Н., Назиров Р., Назаренко А., Назаров В. (ИКИ РАН)**  
 Анализ опыта эксплуатации спутника «Чибис» как этап подготовки проекта космического аппарата для исследования процессов генерирования излучений в атмосфере Земли  
**Ledkov A., Eismont N., Nazirov R., Nazarenko A., Nazarov V.**  
 Analysis of operating experience satellite Chibis as a stage of the processing of the spacecraft's project to explore the processes of generating radiation in the Earth's atmosphere

13:30–14:00 **Лизунов А. А.** (ОАО «ВПК  
«НПО машиностроение»)  
Система электроснабжения  
МС «Чибис», опыт эксплу-  
атации и рекомендации на  
будущие МС

**14:00–15:00 Обед**

15:00–15:30 **Васюник А. Е.** (Дворец науч-  
но-технического творчества  
молодёжи, Москва)  
Фотореалистичная трёхмер-  
ной модель микроспутника  
«Чибис-М» и визуализация  
средствами компьютерной  
графики и анимации вывода  
его на орбиту

15:30–16:00 **Дудкин Д. Ф., Проненко В. А.**  
(ЛЦ ИКИ НАН ГКА Украины)  
Излучение линий высоко-  
вольтных передач, обнару-  
женные микроспутником  
«Чибис-М»

**16:00–16:30 Перерыв на кофе, чай**

Выставочный зал,  
секция А-4, 1-й этаж

16:30–17:00 **Белоконов И. В., Тимбай И. А.**  
(Самарский государственный  
аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Коро-  
лёва (национальный исследова-  
тельский университет))  
О возможности использования  
верхних ступеней ракет-носи-  
телей «Союз» для проведения  
краткосрочных экспериментов  
в космосе

**Lizunov A. A.**  
Supply system MS Chibis, oper-  
ating experience and recommen-  
dations for future MS

**Dinner**

**Vasyunik A. E.**  
Photorealistic 3D model of  
microsatellite Chibis-M and  
visualization by computer graph-  
ics and animation orbiting it on  
the orbit

**Dudkin D., Pronenko V.**  
Power lines harmonic ra-  
diation observed by Chibis-M  
microsatellite

**Coffee break**

**Belokonov I. V., Timbai I. A.**  
Research of the possibility of the  
use the upper stages of rockets  
Soyuz for carrying out of short-  
term experiments in space

---

## 06 февраля 2014 г. (четверг)

---

Центр отображения, секция А-4, 2-й этаж

**09:30–10:00 Регистрация участников**  
Секция А-4, холл 2-го этажа

10:00–10:20 **Туганов В. Ф.** (ИКИ РАН)  
Важность наблюдений высо-  
кочастотного спектра гамма-  
излучения в грозовых разрядах

**Tuganov V. F.**  
Importance of the observations  
high-frequency gamma spectrum  
in lightning discharges

- 10:20–10:40 **Анохин М. В., Галкин В. И., Дитлов В. А., Дубов А. Е., Королёв А. Г., Макарычев С. В. (СКБ КП ИКИ РАН)**  
Синхронное исследование дифференциального распределения объемной плотности индуцированного космическими лучами электрического заряда в материале микроэлектроники в полетных условиях МКС и микроспутника «Чибис-АИ» (предложение эксперимента)
- 10:40–11:10 **Ангаров В. Н., Калужный А. В., Козлов В. М., Крючков А. А., Летуновский В. В., Новиков А. А., Наганов С. А., Шестаков С. А. (СКБ КП ИКИ РАН)**  
Конструкторско-технологические результаты лётных испытаний микроспутника «Чибис-М»
- 11:10–11:40 **Готлиб В. М., Долгоносов М. С. (ИКИ РАН), Каредин В. Н. (СКБ КП ИКИ РАН)**  
Короткие внутриоблачные разряды в тропосфере Земли
- 11:40–12:00 **Бондаренко А. В., Докучаев И. В., Котцов В. А. (ИКИ РАН)**  
Опыт работы цифровой фотокамеры на микроспутнике «Чибис-М»
- 12:00–12:30** *Перерыв на кофе, чай*  
Выставочный зал, секция А-4, 1-й этаж
- 12:30–13:00
- Anokhin M. V., Galkin V. I., Ditlov V. A., Dubov A. E., Korolev A. G., Makarychev S. V.**  
Synchronous study of differential volume density distribution of cosmic ray induced electrical charge in microelectronics material in onboard environment of the International Space Station (ISS) and Chibis AI microsatellite (experiment proposal)
- Angarov V. N., Kalyuzhniy A. V., Kozlov V. M., Kryuchkov A. A., Letunovskiy V. V., Novikov A. A., Naganov S. A., Shestakov S. A.**  
Design-technological results of flight tests microsatellite Chibis-M
- Gotlib V. M., Dolgonosov M. S., Kareidin V. N.**  
Compact intracloud discharges in Earth's troposphere
- Bondarenko A. V., Dokuchaev I. V., Kottsov V. A.**  
Experience of a digital camera on the Chibis-M microspacecraft
- Coffee break**
- Nagy J., Szalai S., Balázs A., Balajthy K., Baksa A., Sódor B., Horváth I., Pálos Z. (Institute for Particle and Nuclear Physics, Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences (Wigner RCP).**  
On-board Data Acquisition and Control Computer System for Space Applications

- 13:00–13:30 **Пилипенко В., Климов С. (ИКИ РАН), Дудкин Д., Корепанов В. (ЛЦ ИКИ НАН-ГКА Украины)** УНЧ излучения в верхней ионосфере по данным электрического датчика микроспутника «Чибис-М» **Pilipenko V., Dudkin D., Koropanov V., Klimov S.** ULF emissions in the upper ionosphere detected by the electric sensor of Chibis microsatellite
- 13:30–14:00 **Папков А. П. (НИЛАКТ РОСТО, Калуга)** ТВС
- 14:00–15:00 Обед**
- 15:00–15:20 **Петров В. Л. (НПП «Даурия»)** Малая космическая платформа для реализации космических экспериментов. Проект ИКИ01 **Petrov V. L.** Small space platform for the implementation of space experiments. IKI01 project
- 15:20–15:40 **Розин П. (НПП «Даурия»)** Система управления движением и навигации. Проект ИКИ01 **Rozin P.** Traffic control system and navigation. IKI01 project
- 15:40–16:00 **Соболев И. (НПП «Даурия»)** Система электроснабжения. Проект ИКИ01 **Sobolev A. I.** Power supply system. IKI01 project
- 16:00–16:30 **Ангаров В. Н., Назаров В. Н., Родин В. Г., Готлиб В. М., Долгоносов М. С., Козлов И. В. (ИКИ РАН)** Модельный состав научной аппаратуры проекта «Чибис-АИ» **Angarov V. N., Nazarov V. N., Rodin V. G., Gotlib V. M., Dolgonosov M. S., Kozlov I. V.** Model composition of the scientific equipment of the Chibis AI project
- 16:30–16:50 **Климов С. И., Новиков Д. И. (ИКИ РАН)** Организационно - методические вопросы реализации космического эксперимента «Трабант» (проект «Чибис-ЭМЧМ») **Klimov S. I., Novikov D. I.** Organizational and methodological issues of realization of the space experiment Trabant (project Chibis-EMChM)
- 16:50–18:00 Подведение итогов конференции

---

## 07 февраля 2014 г. (пятница)

---

- 10:00–12:00 Рабочие группы по проектам
- 12:00–12:30 Перерыв на кофе, чай** **Coffee break**  
Выставочный зал,  
секция А-4, 1-й этаж  
Отъезд участников конференции

*Программный комитет*

академик РАН **Л.М. Зелёный** — председатель  
профессор **С.И. Климов** — зам. председателя  
академик РАН **А.В. Гуревич**

**С. И. Свертилов**

**В. Н. Ангаров**

**В. Н. Назаров**

**А. П. Папков**

**В. Г. Родин**

**М. С. Долгонос**

*Организационный комитет*

**И. В. Козлов** — председатель

**Е. А. Антоненко** — секретарь

**О. В. Батанов**

**Н. А. Черногорова**

**Н. Ю. Комарова**

*Контактная информация*

Антоненко Елена Александровна: +7 916-612-51-24

Климов Станислав Иванович: +7 916 705-68-50



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**АКАДЕМИЧЕСКИЙ МИКРОСПУТНИК**  
**ЧИБИС-М**  
РЕЗУЛЬТАТЫ, УРОКИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Москва, ИКИ РАН  
03–07 февраля 2014 года

**ТЕЗИСЫ**

## FIRST RESULTS ON CHIBIS VLF MONITORING OPERATION IN SPACE WEATHER APPLICATION

*Csaba Ferencz*<sup>1</sup>, *János Lichtenberger*<sup>1</sup>, *Péter Steinbach*<sup>1,2</sup>,  
*Péter Szegedi*<sup>3</sup>, *Melinda V. Dósa*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Space Research Group, Eötvös University, [spacer@sas.elte.hu](mailto:spacer@sas.elte.hu), tel: +36-1-3722906, H-1117 Budapest, Pázmány P.s. 1/a, Hungary

<sup>2</sup> MTA-ELTE Research Group for Geophysics, Geology and Space Science, [steinb@sas.elte.hu](mailto:steinb@sas.elte.hu), tel: +36 1 3722906, H-1117 Budapest, Pázmány P.s. 1/a, Hungary

<sup>3</sup> BL-Electronics Space Research, [pszegedi@bl-electronics.hu](mailto:pszegedi@bl-electronics.hu), tel.: +36-26-363620, H-2083 Solymár, Sport u. 5, Hungary

SAS3 wave analyzer and VLF experiment on board of CHIBIS, operating properly since scientific program start, provides real time monitoring operation by calculated dynamic spectra, compressed FFT of wide-band VLF sensor (sampled at 78 125 Hz) data. This mode has enabled effective investigation of VLF wave intensities in the topside ionosphere, without the need of large satellite telemetry resource. Quick-looks of monitoring data are available at: <http://elteflash.elte.hu/chibis/sas/monitor/>.

A subset of monitoring data, acquired in sub-polar satellite passes (geomagnetic latitudes  $>45^\circ$ ) were selected for a case study investigation. Qualitative review of these records showed, as expected, clear ELF/VLF intensity enhancements in the auroral regions. In order to have first order quantitative relation between the occurrence of these intensifications and actual geomagnetic/Solar conditions, simple data processing was performed in monitoring data set, recorded during 1.5 year of CHIBIS operation. Wave power data, obtained by the averaged spectra in the DC-5 kHz, 5...10 kHz, 10...20 kHz and 20...40 kHz bands were compared to global kp and high latitude ae indices. Preliminary statistical results exhibit varying emissions in different frequency bands, according to geomagnetic activity, and prove the necessity of continuous e.m. monitoring of the terrestrial plasma environment.

**Csaba Ferencz** — Prof., sci. advisor

**János Lichtenberger** — Dr., senior research fellow

**Péter Steinbach** — PhD, research fellow

## RESULTS OF WAVEFORM ANALYSIS IN CHIBIS SAS3 BURST VLF RECORDS

*Péter Steinbach*<sup>1,2</sup>, *Csaba Ferencz*<sup>1</sup>, *János Lichtenberger*<sup>1</sup>, *Orsolya E. Ferencz*<sup>1</sup>,  
*Péter Szegedi*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Space Research Group, Eötvös University, [spacer@sas.elte.hu](mailto:spacer@sas.elte.hu), tel: +36-1-3722906, H-1117 Budapest, Pázmány P.s. 1/a, Hungary

<sup>2</sup> MTA-ELTE Research Group for Geophysics, Geology and Space Science, [steinb@sas.elte.hu](mailto:steinb@sas.elte.hu), tel: +36 1 3722906, H-1117 Budapest, Pázmány P.s. 1/a, Hungary

<sup>3</sup> BL-Electronics Space Research, [pszegedi@bl-electronics.hu](mailto:pszegedi@bl-electronics.hu), tel.: +36-26-363620, H-2083 Solymár, Sport u. 5, Hungary

SAS3 ELF-VLF wave instrument on board of CHIBIS micro-satellite operates properly, and has recorded ~1300 time domain waveform data segments, overall ~160 minutes of VLF data of electric and magnetic sensors, in the period of Mar. 2012 – Oct. 2013. This data base was processed, applying specific event detection software, optimized for identifying and analyzing lightning generated fractional-hop whistlers in the satellite burst recordings. This mass data processing resulted in reliable statistics of whistler occurrences at different latitudes, daytimes. Dispersion values of the detected whistler signals exhibits dependence in geomagnetic latitudes, due to oblique propagation in the ionosphere. Detailed UWB oblique propagation investigations were also completed in selected events to verify the mass processing results. UWB impulse propagation modeling in the ionosphere was applied to describe the probable 3D propagation topology of low latitude whistler pairs, and still unexplained; first time observed whistler triplets in CHIBIS records.

Unusual emissions accompanied to fractional hop whistlers, the STW whistlers were first time observed in case of short path fractional-hop ( $0^+$ ) whistlers in CHIBIS records. Comparison study of STW event, recorded by SAS3-CHIBIS and earlier observations of STWs, recorded at higher altitude satellite missions was performed, using a real full-wave UWB propagation code.

**Péter Steinbach** — PhD, research fellow

**Csaba Ferencz** — Prof., sci. advisor

**János Lichtenberger** — Dr., senior research fellow

**Orsolya E. Ferencz** — PhD, research fellow

## ON-BOARD DATA ACQUISITION AND CONTROL COMPUTER SYSTEM FOR SPACE APPLICATIONS

*János Nagy, Sándor Szalai, András Balázs, Kálmán Balajthy, Attila Baksa,  
Bálint Sódor, István Horváth, Zoltán Pálos*

Institute for Particle and Nuclear Physics, Wigner Research Centre for Physics,  
Hungarian Academy of Sciences (Wigner RCP)

We present the on-board data acquisition system developed by us through two experiments, one around the Earth and the other one on interplanetary orbit, where common tasks e.g. data acquisition, control of experiments and special tasks e.g. control of Lander unit by autonomous fault tolerant system had to be solved. Such

applications can be adapted on nanosatellites, e.g. Chibis-2, for control and data acquisition tasks.

We participated in the development of the RPC (Rosetta Plasma Consortium) plasma physical device of the orbiter unit and the central computer of the landing unit in the Rosetta program which was launched by the European Space Agency (ESA) in 2004. It takes 10 years until the device can land on the surface of a comet. The on-board computer of landing unit (CDMS) controls the whole landing operation, holds radio communication with the Earth, switches on and off instruments, controls the anchoring system and power. Due to the basic task of CDMS the basic core ensures fault tolerance by implementation of two DPUs.

The main goal of Plasma Wave Complex (PWC, Obstanovka in Russian) system is to study dynamic processes in the magnetosphere and ionosphere accompanied by a variety of electromagnetic phenomena by means of a permanent long-term observation site onboard the International Space Station (ISS). The computer system of PWC which has been developed by our engineers is a distributed intelligence system working in its own local network of three processors. This network structure has the advantage of increased data acquisition capacity, reliability and fulfills special requirements of electronic isolation between experiments and on-board electronics. The PWC system contains eleven sensors to collect data.

The software solution of different tasks of the two experiments is briefly described in the presentation.

**János Nagy** — [nagy.janos@wigner.mta.hu](mailto:nagy.janos@wigner.mta.hu) group leader, +36-1-3922733

**Sándor Szalai** — [szalai.sandor@wigner.mta.hu](mailto:szalai.sandor@wigner.mta.hu) professor, +36-1-3922523

**András Balázs** — [balazs.andras@wigner.mta.hu](mailto:balazs.andras@wigner.mta.hu) design engineer, +36-1-3922222

**Kálmán Balajthy** — [balajthy.kalman@wigner.mta.hu](mailto:balajthy.kalman@wigner.mta.hu) design engineer, +36-1-3922222

**Attila Baksa** — [baksa.attila@wigner.mta.hu](mailto:baksa.attila@wigner.mta.hu) design engineer, +36-1-3922222

**Bálint Sódor** — [sodor.balint@wigner.mta.hu](mailto:sodor.balint@wigner.mta.hu) design engineer, +36-1-3922222

**István Horváth** — [horvath.istvan@wigner.mta.hu](mailto:horvath.istvan@wigner.mta.hu) design engineer +36-1-3922222

**Zoltán Pálos** — [palos.zoltan@wigner.mta.hu](mailto:palos.zoltan@wigner.mta.hu) design engineer +36-1-3922222

## **КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЁТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»**

*В. Н. Ангаров, А. В. Калужный, В. М. Козлов, А. А. Крючков,  
Летуновский В. В., А. А. Новиков, С. А. Наганов, С. А. Шестаков*

Специальное конструкторское бюро космического приборостроения  
Института космических исследований Российской академии наук, Таруса,  
Россия (СКБ КП ИКИ РАН)

Рассмотрена правильность конструкторской проработки микроспутника (МС) и транспортно-пускового контейнера (ТПК). Отмечено, что идеология построения МС «вокруг» комплекса научной аппаратуры (КНА) оправдана. Такой подход к проектированию МС является новым и отличается от идеологии малых и больших спутников.

Подтверждена правильность технических решений по конструкции и основным бортовым системам МС. Конструкция МС с ТПК выдержала все механические нагрузки на активном участке выведения, в условиях трёх-

месячного хранения на российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) и в процессе отделения МС от ТПК, установленного на транспортном грузовом корабле (ТГК) «Прогресс М-13М».

Повторно (миссия МС «Колибри») подтверждена реализуемость технической концепции безопасной и надёжной доставки МС на орбиту по схеме ТГК – МКС – ТГК, проработаны варианты действий при различных нештатных ситуациях. Все механические узлы ТПК и механизмы развёртывания антенно-фидерных устройств, солнечных батарей МС отработали штатно.

Реализованы возможности значительного увеличения полётного ресурса систем и, соответственно, продолжительности полёта МС за счёт старта с более высокой орбиты. Это создало дополнительные возможности производить измерения с помощью КНА.

Введённый вновь в проекте «Чибис-М» способ заряда буферной батареи на борту ТГК «Прогресс» перед отделением МС показал эффективность и целесообразность. Потенциально, проведение ограниченного обслуживания на борту ТГК полезно дополнить некоторыми другими функциями, которые могут быть реализуемы в следующих проектах.

Проведён анализ решений построения КНА. Предложенная разработчиками реализация работы по «событиям» с использованием триггеров опробована и показала положительные результаты.

Опыт двухлетней эксплуатации МС имеет практическое значение для использования в следующих проектах. Анализ полученных удачных решений, а также ошибок позволит перейти на новый уровень технической реализации.

#### **MICROSATELLITE CHIBIS-M FLIGHT TESTS RESULTS**

*V. N. Angarov, A. V. Kalyuzhny, V. M. Kozlov, A. A. Kryuchkov,  
V. V. Letunovsky, A. A. Novikov, S. A. Naganov, S. A. Shestakov*

Special Design Department of the Space Research Institute,  
Tarus, Russia (SKB KP IKI RAN)

Having examined the propriety of the microsatellite (MS) and the transporter-launcher container's (TLC) engineering study one can say that the idea of MS construction on the basis of scientific instrument complex (SIC) proved to be right. This MS design approach is a new one and differs from the common pattern of small and big satellites construction.

Basic engineering solutions on MS design and primary onboard systems proved to be correct. MS with TLC construction got through all mechanical tests in the launching phase under the conditions of three-month storage on ISS Russian Segment (ISS RS) and in the course of MS separation of TLC installed on Progress M-13M transport cargo vehicle (TCV).

Again (mission MS Colibri) the feasibility study of MS safe and reliable insertion into orbit according to the pattern: TCV-ISS-TCV proved to be successful; all possible reactions in different emergency situations have been trashed out.

All TLC mechanical engineering assemblies and MS antenna feeder systems and solar cell battery deployment mechanisms have been tested satisfactorily.

System on-orbit life has been increased and MS mission duration launched from a higher orbit has been increased accordingly. It makes data receiving and transmitting with the help of scientific instrument complex much easier.

The method of bypass accumulator charging aboard TCV Progress before MS separation used again in Chibis-M proved to be successful.

It is advisable to add some more functions to TCV limited service that can be developed in future projects.

Scientific instrument complex construction feasibility study has been done. Event triggers put forward by engineers have been tested with positive results.

Results yielded in the course of MS two-year operation experience can be used in future projects. Analysis of success and errors will take engineering implementation to a new higher level.

## **СИНХРОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЁМНОЙ ПЛОТНОСТИ ИНДУЦИРОВАННОГО КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В МАТЕРИАЛЕ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В ПОЛЁТНЫХ УСЛОВИЯХ МКС И МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-АИ» (ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА)**

*М. В. Анохин<sup>1,2</sup>, В. И. Галкин<sup>2</sup>, В. А. Дитлов<sup>3</sup>, А. Е. Дубов<sup>1</sup>, А. Г. Королёв<sup>1</sup>, С. В. Макарычев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Специальное конструкторское бюро космического приборостроения Института космических исследований Российской академии наук, Таруса, Россия (СКБ КП ИКИ РАН)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ)

<sup>3</sup> Институт теоретической и экспериментальной физики имени А. И. Алиханова, Москва, Россия (ИТЭФ)

Как показали прикладные космические эксперименты последних лет, использование существующих методик предсказания стойкости микроэлектроники с использованием традиционных критериальных параметров, таких как полная доза, линейная передача энергии, поток и флюенс, приводят в ряде случаев к тысячекратным ошибкам в предсказании срока активного функционирования аппаратуры.

Предлагаемый эксперимент позволяет проверить эффективность применения иного критериального подхода, основанного на оценке данных о дифференциальных распределениях объёмной плотности электрического заряда в треках первичных и вторичных частиц. Такие распределения дают картину радиационной обстановки в месте нахождения детектора с точки зрения локальных последствий воздействия ионизирующих частиц на структуру чувствительного элемента аппаратуры.

Особый интерес представляет проведение синхронных измерений с помощью идентичных приборов, установленных на МКС и микроспутнике. В этом случае появляются дополнительные возможности для выделения в зарядовом спектре компоненты, относящейся к вторичному излучению, и создаётся хорошая экспериментальная ситуация для оценки зависимости спектральной интенсивности вторичного излучения от массы космического аппарата.

Полученная информация может быть использована при создании наземных испытательных стендов низкоинтенсивного радиационного воздействия, где выбор источника осуществляется по критерию соответствия указанных зарядовых распределений для наземной и бортовой радиационной обстановки. В то же время эти данные могут оказаться полезными и для решения фундаментальных задач космофизики, заключая в себе информацию о событиях, не поддающихся регистрации с помощью других типов детекторов.

В качестве основного детектора — зарядового спектрометра (ДЗС) предлагается использовать матрицу КМОП (Active Pixels Sensors). Одновременно с исследованием дифференциального распределения плотности заряда, образуемого космическими лучами на МКС и микроспутнике «Чибис», предполагается исследовать распределение частоты событий, связанных с изменением архитектуры кристалла в чувствительной области, а также временную эволюцию таких событий. Подобные измерения до сих пор не проводились.

Наземный физический макет экспериментального прибора был создан и испытан в поле плутоний–бериллиевого источника. Обработка проводилась с помощью специального программного продукта для идентификации и классификации трековых событий.

В случае успешного проведения эксперимента разработанный образец прибора может быть усовершенствован с целью применения в качестве низкобюджетного, малогабаритного и энергоэкономичного средства оценки радиационной обстановки на микроспутниках и других космических аппаратах в составе систем управления. С учётом микродозиметрических возможностей такого прибора можно ожидать, что он будет представлять интерес и для проведения биологически релевантной оценки радиационной обстановки в пилотируемых полётах.

**Анохин Михаил Всеволодович** — СКБ КП ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ, старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, доцент, [anokhin@skbcp.tarusa.ru](mailto:anokhin@skbcp.tarusa.ru), 232161181

**Галкин Владимир Игоревич** — НИИЯФ МГУ, профессор, доктор физико-математических наук, 232161181; [v\\_i\\_galkin@mail.ru](mailto:v_i_galkin@mail.ru), 495-714-15-65

**Дитлов Валерий Анатольевич** — ИТЭФ, ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, [valery.ditlov@itep.ru](mailto:valery.ditlov@itep.ru), 232161181

**Дубов Андрей Евгеньевич** — СКБ КП ИКИ РАН, младший научный сотрудник, [anokhin@skbcp.tarusa.ru](mailto:anokhin@skbcp.tarusa.ru), 232161181

**Королёв Александр Григорьевич** — СКБ КП ИКИ РАН, программист, [anokhin@skbcp.tarusa.ru](mailto:anokhin@skbcp.tarusa.ru), 232161181

**Макарычев Сергей Владимирович** — СКБ КП ИКИ РАН, программист, [anokhin@skbcp.tarusa.ru](mailto:anokhin@skbcp.tarusa.ru), 232161181

**SYNCHRONOUS STUDY OF DIFFERENTIAL VOLUME DENSITY DISTRIBUTION OF COSMIC RAY INDUCED ELECTRICAL CHARGE IN MICROELECTRONICS MATERIAL IN ONBOARD ENVIRONMENT OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION (ISS) AND CHIBIS AI MICROSATELLITE (EXPERIMENT PROPOSAL)**

*M. V. Anokhin<sup>1,2</sup>, V. I. Galkin<sup>2</sup>, V. A. Ditlov<sup>3</sup>, A. E. Dubov<sup>1</sup>, A. G. Korolev<sup>1</sup>, S. V. Makarychev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Special Design Department of the Space Research Institute, Tarusa, Russia (SKB KP IKI RAN)

<sup>2</sup> Skobel'syn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University (MSU SINP)

<sup>3</sup> Institute for Theoretical and Experimental Physics (ITEP) (Russian Federation State Scientific Center), Moscow, Russia

As the applied space experiments of last years demonstrate, the existence methods of microelectronics radiation hardness prediction based on traditional criterial parameters such as full dose, linear energy transmission (LET), flux and fluence in some cases get to three order mistakes in prediction of active operation period of devices.

The proposed experiment allows verifying the effectiveness of the new criterial approach based on data analysis of differential distributions of volume density of cosmic ray induced electrical charge in tracks of primary and secondary particles. Such distributions give a picture of radiation environment at the detector place in terms of ionizing particles local resulting influence to the structure of sensitive elements of the equipment.

The particular interest is to fulfill synchronous measurements with the aid of identical devices mounted on ISS and microsatellite. That provides the additional possibilities for extracting in charge spectrum the component related to secondary emission. Also, a good experimental situation arises for estimation of secondary emission spectral intensity dependence on space vehicle mass.

The information obtained can be than used in making industrial low-intensity radiation test equipment, for which the source is taken by the criteria of space and earth radiation conditions correspondence in the above mentioned charge distributions. At the same time these data might be helpful in solving of the fundamental cosmophysics problems as soon as bearing the information about events that cannot be registrated by other detector types.

As the basic detector — charge spectrometer (DCS) we suggest to use an active pixel sensor matrix device. Simultaneously with the study of the differential charge density distribution formed by cosmic rays on the ISS and microsatellite CHIBIS it is supposed to explore the frequency distribution of the events associated with changes in the chip architecture in a sensitive volume, as well as the temporal evolution of such events. This kind of measurements has not yet been ever conducted.

Laboratory physical prototype of the experimental device is designed and tested in the radiation field of a lead-beryllium source. Data processing was carried out with special software for the identification and classification of track events.

If the experiment will be successful, the designed sample device might be than improved to be used as low-cost, compact and energy efficient means of the radiation situation assessment on microsattelites and other spacecrafts as an element of control systems. Taking into account microdosymetry possibilities of such a device, one can expected for that to be of interest to apply for biologically relevant assessment of radiation environment in manned missions.



## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕРХНИХ СТУПЕНЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ «СОЮЗ» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КРАТКОСРОЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В КОСМОСЕ**

*И. В. Белоконов, И. А. Тимбай*

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ)

Целью работы является исследование возможности использования верхних ступеней ракет-носителей «Союз» после отделения полезной нагрузки для проведения краткосрочных экспериментов в космосе (до трёх суток) с научной аппаратурой, размещённой в переходном отсеке.

Проведён анализ неуправляемого движения относительно центра масс верхней ступени ракеты-носителя «Союз» и сформированы вероятностные модели начальных условий углового движения ступени после отделения полезной нагрузки. Получены аналитические выражения функции распределения и плотности вероятности углов ориентации, правильность которых подтверждена численным моделированием.

Выявлены особенности движения верхней ступени, проявляющиеся в сохранении угловой ориентации, достаточной для успешного решения навигационной задачи по сигналам систем ГЛОНАСС/GPS и задачи связи с использованием низковысотной системы связи GlobalStar. Это обеспечит пространственно-временную привязку результатов научных измерений и передачу их на Землю непосредственно постановщикам экспериментов, минуя наземные центры управления полётом.

Исследованы вероятности решения навигационной задачи при «холодном», «теплом» и «горячем» режиме включения навигационного приёмника. Также исследованы вероятности существования непрерывных сеансов передачи данных различной длительности. Например, вероятность решения навигационной задачи и наличия сеанса связи длительностью не менее 5 минут на интервале времени, равному орбитальному периоду движения верхней ступени, составляет не менее 0,85.

Таким образом, показана принципиальная возможность дополнительного использования верхней ступени ракет-носителей «Союз» как платформы для проведения краткосрочных экспериментов в космосе. Для лётной проверки обсуждаемой концепции проведения попутных экспериментов на верхних ступенях ракет-носителей «Союз» разработан автономный модуль контроля параметров движения.

**Белоконов Игорь Витальевич** — доктор технических наук, профессор, заведующий межвузовской кафедрой космических исследований, [acad@ssau.ru](mailto:acad@ssau.ru)

**Тимбай Иван Александрович** — доктор технических наук, профессор, профессор межвузовской кафедрой космических исследований, [timbai@ssau.ru](mailto:timbai@ssau.ru)

## RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF THE USE THE UPPER STAGES OF ROCKETS SOYUZ FOR CARRYING OUT OF SHORT-TERM EXPERIMENTS IN SPACE

*I. V. Belokonov, I. A. Timbai*

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev  
(National Research University)

The aim of paper is research the possibility of use the upper stages of the carrier rockets Soyuz after payload separation for short-term experiments in space (up to three days) with scientific equipment placed in the transfer compartment.

The uncontrolled motion of the Soyuz carrier rocket upper stage around its mass center is analyzed. The stochastic models of initial conditions of attitude motion for upper stage are formulated. Obtained the analytical expressions for the probability density function and cumulative distribution function of the orientation angles which confirmed by numerical simulation.

Revealed the movement features of the upper stage which shown in preservation of certain angular orientation during the time, sufficient for the successful solutions of navigation and communication problems using the navigation systems GLONASS/GPS and low-altitude satellite communication network GlobalStar. This ensures the time-position binding the results of scientific measurements and transmits them directly to the customer bypassing ground control centers.

The probabilities of the navigation solution in the “cold”, “warm” and “hot” navigation receiver modes are investigated. Also are investigated the probabilities of the availability of the data sessions of different durations. For example, the probability of navigation solution and communication session availability at least 5 minutes at the upper stage orbit is not less than 0.85.

Thus, the principal possibility of utilization the upper stage rocket Soyuz as a platform for short-term experiments in space is shown. For flight verification of discussed the experiments concept on the upper stage rocket Soyuz designed autonomous motion control module.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРИБОРОМ РГД НА МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»

*А. А. Богомолов<sup>1</sup>, В. В. Богомолов<sup>1,2</sup>, Г. К. Гарипов<sup>1</sup>, С. И. Свертилов<sup>1,2</sup>, И. В. Яшин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ)

<sup>2</sup> МГУ, физический факультет

Прибор РГД (рентген-гамма-детектор) является частью комплекса научной аппаратуры «Гроза», устанавливаемой на микроспутнике «Чибис-М» для изучения высотных атмосферных разрядов. Рентген-гамма-детектор предназначен для регистрации спорадических возрастаний (всплесков) жёсткого рентгеновского и гамма-излучения (диапазон энергий фотонов 0,02...1,0 МэВ) высотных атмосферных разрядов. Детекторный узел прибора РГД состоит из трёх детекторов жёсткого рентгеновского и гамма-излучения

(50...500 кэВ) и одного детектора — гамма-спектрометра (0,05...1,0 МэВ), выполненных на основе скintиллятора NaI(Tl) с размерами —  $\varnothing 5,0 \times 1,0$  и  $\varnothing 5,0 \times 2,0$  см соответственно. Каждый скintиллятор просматривается фотомножителем (ФЭУ) Hamamatsu R1306 с диаметром фотокатода 5,0 см. Оси всех детекторов сонаправлены и ориентированы в местный надир. Мониторинговые данные прибора РГД представляют собой непрерывно накапливаемый временной ряд числа отсчётов в каждом из четырёх скintилляционных детекторов прибора за интервал времени 1,6 с. Кроме мониторингового временного ряда прибор РГД может формировать более подробные всплесковые массивы данных. Это происходит по триггеру, который может быть внутренним, т.е. вырабатываться на основе анализа показаний в самом приборе РГД, или внешним: в этом случае подробные данные РГД фиксируются на основе анализа показаний других приборов. Получено указание на то, что после триггера прибора РЧА наблюдается увеличение среднего темпа счета гамма-квантов, что может свидетельствовать о возможной генерации гамма-излучения во время грозовых разрядов.

**Богомолов Андрей Владимирович** — старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, [aabboogg@rambler.ru](mailto:aabboogg@rambler.ru), 939-51-60

**Богомолов Виталий Владимирович** — доцент, кандидат физико-математических наук, [vit\\_bogom@nm.ru](mailto:vit_bogom@nm.ru), 939-51-60

**Гарипов Гали Карымович** — старший научный сотрудник [ggkmsu@yandex.ru](mailto:ggkmsu@yandex.ru), 939-44-96

**Свертилов Сергей Игоревич** — профессор, доктор физико-математических наук, [sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru), 939-51-60

**Яшин Иван Васильевич** — заведующий лабораторией, кандидат физико-математических наук, [ivn@eas.sinp.msu.ru](mailto:ivn@eas.sinp.msu.ru), 939-18-10

## THE MAIN RESULTS OF EXPERIMENT WITH RGD INSTRUMENT ON-BOARD CHIBIS-M MICRO-SATELLITE

*A. A. Bogomolov<sup>1</sup>, V. V. Bogomolov<sup>1,2</sup>, G. K. Garipov<sup>1</sup>, S. I. Svertilov<sup>1,2</sup>, I. V. Yashin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Skobel'syn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University (MSU SINP)

<sup>2</sup> MSU, Physical Department

The RGD instrument (Rentgen-Gamma detector) is the part of Groza number of instruments on-board Chibis-M micro-satellite for studying high-altitude atmospheric discharges. The RGD instrument is intended for detection of sporadic hard X-ray and gamma ray bursts (flashes) from high-altitude atmospheric discharges in the energy range 0.02...1.0 MeV. The RGD instrument detector unit consists from three X-ray and gamma ray detectors (50...500 keV) and one gamma-ray detector-spectrometer (0.05...1.0 MeV). All detectors made from NaI(Tl) scintillator with  $\varnothing 5.0 \times 1.0$  and  $\varnothing 5.0 \times 2.0$  cm respectively. Each scintillator is viewed by photomultiplier tube (PMT) Hamamatsu R1306 with 5.0 cm photocatode diameter. The all detector axe are collinear and directed to the Nadir. The RGD instrument monitor data are the time sets of counts accumulated continuously in the each of four scintillator detector for time intervals 1.6 s. Besides the monitor time set the RGD instrument is capable to obtain the more detailed burst data arrays. They are formed by trigger, which can be as internal, i.e. produced as the result of RGD instrument own data analysis, as external produced as the result of analysis of other Groza instrument data. In both cases the detailed data are stored in the instrument

memory. To the present it was obtained that some indication on gamma-quantum mean count rate increasing after the RChA instrument trigger is observed. It may indicate on possible gamma quanta generation during the thunderstorms which are detected by RChA instrument.

**Bogomolov Andrey** — senior scientist [aabboogg@rambler.ru](mailto:aabboogg@rambler.ru), 939-51-60

**Bogomolov Vitaly** — associate professor [vit\\_bogom@nm.ru](mailto:vit_bogom@nm.ru), 939-51-60

**Garipov Gali** — senior scientist [ggkmsu@yandex.ru](mailto:ggkmsu@yandex.ru), 939-44-96

**Sartilov Sergey** — professor [sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru), 939-51-60

**Yashin Ivan** — head of laboratory [ivn@eas.sinp.msu.ru](mailto:ivn@eas.sinp.msu.ru), 939-18-10

## **ОПЫТ РАБОТЫ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ НА МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»**

***А. В. Бондаренко, И. В. Докучаев, В. А. Котцов***

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Входящая в состав комплекса научной аппаратуры «Гроза» микроспутника «Чибис-М» цифровая фотокамера (ЦФК) RT-1020DC-G предназначена для изучения новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах. Использование ЦФК для фиксации вспышки молний для дальнейшей их идентификации с одновременно наблюдаемыми физическими явлениями. Съёмка выполняется в кольцевом цикле наблюдения с запоминанием грозовых вспышек по синхронизации от приборов регистрации одновременных событий.

Описана конструкция цифровой камеры и её размещение на аппарате в составе научного комплекса. Рассмотрены особенности её функционирования, алгоритмы работы в полёте, обработки телеметрии, дана оценка применения и рекомендации по улучшению эксперимента.

**Бондаренко Андрей Викторович** — главный специалист, [rastermsk@gmail.com](mailto:rastermsk@gmail.com), (495) 789-93-67

**Докучаев Игорь Вадимович** — ведущий специалист, [olga\\_igor@mail.ru](mailto:olga_igor@mail.ru), (495) 789-93-67

**Котцов Владимир Александрович** — научный сотрудник, [vladkott@mail.ru](mailto:vladkott@mail.ru), (495) 333-64-33

## **EXPERIENCE OF A DIGITAL CAMERA ON THE «CHIBIS-M» MICRO SPACECRAFT**

***A. V. Bondarenko, I. V. Dokuchaev, V. A. Kottov***

Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

Being a part of a complex of the scientific equipment Groza of the Chibis-M micro spacecraft the digital camera RT-1020DC-G is intended for studying of new physical mechanisms in lightning atmospheric discharges. Digital camera use for fixing of flash of lightnings for their further identification with at the same time observed physical phenomena. Shooting is carried out in a loop cycle of supervision with storing of storm flashes on synchronization from devices of registration of simultaneous events.

The design of the digital camera and its placement on the spacecraft as a part of the scientific complex is described. Features of its functioning, algorithms of work in flight, telemetry processing are considered, the assessment of application and the recommendation about experiment improvement is given.

## **ФОТОРЕАЛИСТИЧНАЯ ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛЬ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М» И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВЫВОДА ЕГО НА ОРБИТУ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ И АНИМАЦИИ**

*А. Е. Васюник*

Московский городской Дворец детского (юношеского) творчества (МГДД(Ю)Т) при поддержке Московского авиационного института (Национального исследовательского университета) (МАИ), научный руководитель Першина Н. А.

Создание наглядного мультимедийного пособия по устройству и назначению микроспутника *нацелено на популяризацию космической тематики*. Микроспутник «Чибис-М» выбран объектом моделирования, как значимый с инженерной стороны, уникальный по техническому исполнению космический аппарат.

Для реализации поставленной цели обозначены следующие *задачи*:

- создание 3D модели микроспутника «Чибис»
- обзор технических характеристик спутника
- визуализация вывода микроспутника на орбиту
- демонстрация раскрытия рабочей аппаратуры

Для решения поставленных задач применён полный цикл современных мультимедийных средств и цифровых технологий. Работа в трёхмерном пространстве осуществлена средствами 3D-редактора Блендер.

*Дальнейшее прикладное назначение.* Трёхмерную модель микроспутника и анимационный ролик можно рассматривать как самостоятельные продукты, объединённые одной тематикой. Студентам 3D-модель предлагается использовать для разработки виртуальных сценариев поведения микроспутника на орбите. Общее мультимедийное приложение может использоваться как наглядное пособие в школах и вузах.

*Научная новизна работы.* По прототипу микроспутника «Чибис-М» создана с фотографической достоверностью виртуальная модель, анимирована и помещена в космическое окружение. Научно-популярное изложение творчески и эмоционально переосмыслено, что и делает работу привлекательной для любой аудитории.

*Практическая полезность* Анимационный фильм «Космические исследования Земли» неоднократно демонстрировался на различных мероприятиях научно-технической направленности. Работа экспонировалась на авиакосмическом салоне «МАКС-2013» и на Первом Всероссийском Форуме «Будущие интеллектуальные лидеры России».

Копия фильма передана директору Мемориального музея космонавтики космонавту Лазуткину А. И. в качестве виртуального экспоната.

**Васюник Артём Евгеньевич** — [artem30801@gmail.com](mailto:artem30801@gmail.com), 8(916) 682-86-04

## PHOTOREALISTIC 3D MODEL OF MICROSATELLITE CHIBIS-M AND VISUALIZATION ORBITING IT ON THE ORBIT BY COMPUTER GRAPHICS AND ANIMATION

*A. E. Vasyunik*

DNTTM, supported by Moscow Aviation Institute  
(National Research University) (MAI)

The creation of graphical multimedia manual of c configuration application of microsattelite aimed at popularization of space subjects. Microsatellite Chibis-M is selected as the object for modeling as significant from the engineering side, unique in its technical execution spacecraft.

To achieve this goal the following objectives: создание 3D-модели микроспутника «Чибис»

- Overview the technical characteristics of satellite.
- visualization output microsatellite into orbit.
- Demonstration opening working equipment.

To solve the problems applied full cycle of modern multimedia and digital technologies. Work performed in three-dimensional space by means of 3D editor Blender.

Further application. Three-dimensional model of the microsatellite and animation can be regarded as independent products, united by one theme. 3D model students can use to develop virtual life scenarios microsatellite in orbit. Total multimedia application mogzhet used as a teaching aid in schools and universities

Scientific novelty. Prototype microsatellite Chibis-M was created with photographic authenticity virtual model, animated and placed in the space environment. Scientific presentation artistic and emotional, it makes an attractive information for all audiences.

The practical utility. Animated film “Space research of the Earth” many times demonstrated at various scientific events The project was exhibited at the Air Show MAKS-2013 and on the First All-Russian Forum “Future intellectual leaders of Russia”.

Copy of the film is given to the Director of the Memorial Museum of Cosmonautics cosmonaut Alexander Lazutkin as a virtual exhibit.

**Vasyunik Artem** — artem30801@gmail.com, 8 (916) 682-86-04

**ОБЗОР КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НИИЯФ МГУ «ТАТЬЯНА», «КОМПАС-2», «ТАТЬЯНА-2», «ЧИБИС-М» ПО ИЗУЧЕНИЮ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ И ТРАНЗИЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**  
**От имени исследовательских групп «Татьяна», «Компас-2», «Татьяна-2», «Чибис-М»**

*Г. К. Гарипов*

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), МГУ, физический факультет

В этом докладе представлены основные результаты изучения свечения атмосферы и транзитных оптических явлений, выполняемых НИИЯФ МГУ в космических экспериментах на спутниках. Обсуждается глобальное распределение зарегистрированных событий, высота их зарождения, мощность излучения, связь с геофизическими факторами, влажностью, облачностью, радиоизлучением и параметрами орбиты. Рассмотрены особые, взаимосвязанные события, так называемые, пространственно распределённые серии вспышек, которые наблюдаются независимо от облачности на огромных территориях, соизмеримых с площадью континентов и, так называемые, локальные серии вспышек, которые наблюдаются над облаками, на площадях сравнимых с площадью грозových образований. Приводятся примеры совместных исследований транзитных оптических явлений и радиосигналов на борту спутника и примеры совместного изучения пространственно распределённых серий вспышек зарегистрированных в безоблачных районах при наблюдениях из космоса с молниями, зарегистрированными глобальной сетью станций регистрации молний с помощью низкочастотных радиоприёмников наземного базирования.

**Гарипов Гали Карымович** — старший научный сотрудник, ggkmsu@yandex.ru

**REVIEW OF SINP MSU SPACE EXPERIMENTS TATIANA, COMPASS-2, TATIANA-2, CHIBIS-M FOR STUDY OF NIGHT ATMOSPHERE AIRGLOW AND TRANSIENT OPTICAL PHENOMENA**  
**ON BEHALF OF THE TATIANA, COMPASS-2, TATIANA-2, CHIBIS -M SCIENCE TEAMS**

*G. K. Garipov*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University (MSU SINP), MSU, Physical Department

In this report presented the main results of the study airglow and transient optical phenomena performed by SINP MSU in space experiments on satellites. Global distribution of recorded events, the height of their origin, power of radiation and their relation with geophysical factors, clouds, radio waves and orbit parameters are discussed. Interrelated events so-called, spatially distributed series and so-called, local series are considered. Spatially distributed series of events are observed above huge territory independent to clouds cover, comparable to the area of the continents, whereas local series are observed above areas of thunderstorm clouds and in measurements, spatially distributed series are registered for several thousand kilometers along the orbit of the satellite, while local series are registered along the satellite orbit whose length does not exceed dimensions of thunderstorm formations are shown. Several examples are given of joint research of transient optical phenomena and radio signals on board the satellite and examples of joint study of geographical coordinates of spatially distributed series of flashes occurring in cloudless

regions registered from space with lightnings registered by global network of lightning registration stations with help of low-frequency ground-based radio receivers.

**Garipov G. K.** — staff researcher, ggkmsu@yandex.ru

## **КОРОТКИЕ ВНУТРИОБЛАЧНЫЕ РАЗРЯДЫ В ТРОПОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

*В. М. Готлиб, М. С. Долгоносов, В. Н. Каредин*

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

В докладе приведены краткие характеристики приборов Комплекса научной аппаратуры микроспутника «Чибис-М», с помощью которых было зафиксировано радио и оптическое излучение коротких молниевых разрядов в высотных грозовых облаках.

Даны статистические данные двухлетней работы микроспутника по регистрации таких разрядов, гистограммы распределения разрядов по локальному времени и географическому району, характеристики излучения в УКВ-диапазоне, инфракрасной и ультрафиолетовой области спектра. Рассматриваются некоторые физические механизмы возникновения таких разрядов.

## **COMPACT INTRACLOUD DISCHARGES IN EARTH'S TROPOSPHERE**

*V.M. Gotlib, M.S. Dolgonosov, V.N. Kareidin*

Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

The report provides a brief description of scientific equipment devices microsatellite CHIBIS-M, with which it was recorded by radio and optical radiation compact lightning discharges in high thunderclouds .

Given statistics 2 years operation of the microsatellite, discharges histogram on local time and geographic area, radiation characteristics in the VHF band, the infrared and ultraviolet region of the spectrum. Some physical mechanisms leading to the generation of such discharges will be discussed.

## **СПОРАДИЧЕСКИЕ МИКРОРАЗРЯДЫ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ РАДИОШУМ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

*В. М. Готлиб, М. С. Долгоносов, В. Н. Каредин*

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

В докладе приведены краткие характеристики Радиочастотного анализатора, входящего в состав микроспутника «Чибис-М». В тропосферном грозовом фронте с помощью этого прибора зафиксированы спорадические микроразряды, которые генерируют радиоизлучение в УКВ-диапазоне (26...48 МГц). Характер этих разрядов дискретен во времени и пространстве.



Это явление не нашло отражения в специальной литературе и требует отдельного обсуждения. Приведены примеры записи, временные и пространственные параметры излучения. Рассматриваются некоторые физические механизмы наблюдаемого явления.

## **MICRODISCHARGES AND SPORADIC HIGH FREQUENCY RADIO NOISE IN THE EARTH'S UPPER ATMOSPHERE**

*V.M. Gotlib, M.S. Dolgonosov, V.N. Karedin, D.I. Iudin*

Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

The report provides a brief description of radio frequency analyzer and data collected by this instrument as a part of the microsatellite CHIBIS-M during 17 months of successful operation. In tropospheric thunderstorms with this instrument sporadic microdischarges in the VHF band (26-48 MHz) were recorded. Probably, that the nature of these discharges is discrete in time and space. This phenomenon was not mentioned in the literature and requires a separate discussion. We are going to provide examples of records, the temporal and spatial parameters of radiation. Finally we will discuss some of the physical mechanisms of the observed phenomena.

## **ИЗЛУЧЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПЕРЕДАЧ, ОБНАРУЖЕННЫЕ МИКРОСПУТНИКОМ «ЧИБИС-М»**

*Д. Ф. Дудкин, В. А. Проненко*

Львовский центр Института космических исследований Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины (ЛЦ ИКИ НАНУ НКАУ)

Исследование влияния на околоземное космическое пространство низкочастотных (НЧ) электромагнитных (ЭМ) полей техногенного происхождения представляет значительный интерес. К источникам таких НЧ-ЭМ-полей относятся, в частности, электростанции, линии электропередач, промышленные объекты и т.д., которые вызывают различные ионосферные явления, изменения ЭМ поля и параметров плазмы в ионосфере. Последствия воздействия этих источников на состояние ионосферы в настоящее время неизвестны.

Спутниковый мониторинг с расширенной наземной поддержкой является лучшим инструментом для наблюдения воздействия НЧ-ЭМ-энергии как в глобальном, так и в локальном масштабах. ЭМ-эффекты, вызванные наземными источниками, наблюдаются уже с момента запуска первых научных спутников. В частности, было зафиксировано существенное увеличение интенсивности высокочастотных ЭМ-шумов над Евро-азиатским континентом. Также было подтверждено, что естественное ЭМ-поле в околоземном пространстве сильно «загрязнено» человеческой деятельностью.

Одним из таких обнаруженных в ионосфере и магнитосфере эффектов является гармоническое излучение линий электропередач — PLHR (Power Line Harmonic Radiation). Линии электропередач могут иметь протяжённость

до нескольких тысяч километров и представляют собой антенны — источники ЭМ поля. Токи в них могут достигать нескольких тысяч ампер и содержать, кроме основной частоты, ещё и высшие гармоники, эффективность излучения которых повышается с ростом их порядка (частоты).

В докладе представлены результаты измерений излучения линий высоковольтных передач, полученных с борта микроспутника «Чибис-М». Представленные данные подтверждают, что сигналы от линий электропередач непосредственно проникают на высоты ионосферы, что, в свою очередь, не находит убедительного теоретического обоснования. Рассмотренные экспериментальные факты должны стимулировать развитие исследований взаимодействия мощных НЧ-ЭМ-полей, связанных с постоянным ростом выработки электроэнергии и другими техногенными факторами, с плазмой околоземного космического пространства и их соответствующим влиянием на космическую погоду.

**Дудкин Денис Фёдорович** — младший научный сотрудник, dd@isr.lviv.ua, +380987477719

**Проненко Вера Александровна** — кандидат технических наук, заведующий лабораторией электромагнитных исследований, pron@isr.lviv.ua, +38096783689

#### **POWER LINES HARMONIC RADIATION OBSERVED BY CHIBIS-M MICROSATELLITE**

*D. Dudkin, V. Pronenko*

Lviv Centre of Institute for Space Research National Academy of Sciences and National Space Agency of Ukraine (LCISR NASU-SSAU)

Investigation of influence on near-Earth space environment of anthropogenic very low frequency (VLF) electromagnetic (EM) fields is of great interest. In particular, the sources of such fields are the power plants, power lines, industrial facilities etc., which produce different ionospheric phenomena, EM field and ionospheric plasma parameters variation. The effects of these sources on the ionospheric state are not currently known.

Satellite monitoring with extended ground-based support is the best opportunity for observation of VLF EM energy impact, both in global and local scales. EM effects of the ground-based sources are observed since the first scientific satellites launch. Particularly, the significant increase of high-frequency EM noise intensity was recorded over the Euro-Asian continent. It was also confirmed that the natural EM field in the near-Earth space are strongly «contaminated» by human activity.

One such observed ionospheric and magnetospheric effect is the power line harmonic radiation (PLHR). Power lines may have length up to several thousand kilometers and are similar to a long antenna — the source of EM field. Currents in them can reach several thousand amperes and, besides the basic frequency, contain higher harmonics, which radiation efficiency increases with their order (or frequency).

In talk the measurement results of PLHR, detected by Chibis-M, have been presented. These data show the direct penetration of PLHR to ionospheric altitudes, which at present has not convincing theoretical explanation. In connection with sustained growth of electric energy production and impact of other man-made factors the obtained experimental facts should stimulate the research progress on the powerful VLF EM field interaction with the near-Earth space plasma and its respective influence on space weather.

Dudkin Denys — junior research scientist, dd@isr.lviv.ua, +380987477719

Pronenko Vira — PhD, head of laboratory for electromagnetic investigation, pron@isr.lviv.ua, +38096783689

## СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГРОЗОВОЙ ОБЛАЧНОСТИ

*Н. С. Ерохин, С. Н. Артёха*

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Рассмотрены имеющиеся в литературе экспериментальные данные по зондовым измерениям высотного профиля электрического поля  $E(z)$  в грозовой облачности для области высот  $z < 14$  км. На основе данных измерений разработаны аналитические аппроксимации  $E(z)$  в классе локализованных по высоте функций, которые использованы в численных расчётах структурных функций  $S(m, L)$  для поля  $E(z)$ , где  $L$  — разность высот двух слоёв профиля  $E(z)$ ;  $m$  — порядок структурной функции (СФ). Анализ СФ показал, что для рассмотренных профилей  $E(z)$  имеются два инерционных интервала электрической турбулентности в диапазонах соответственно малых  $z < 100$  м и средних  $100 \text{ м} < z < 1,5$  км масштабов  $L$ . На больших масштабах  $L$  наблюдается насыщение роста СФ. Получены степенные скейлинги СФ в инерционных интервалах, вычислены скейлинговые экспоненты  $g(m)$  и другие параметры электрической турбулентности. Проведено сравнение СФ для различных выборок поля  $E(z)$ . Для ряда выборок показано наличие обобщенной масштабной инвариантности электрической турбулентности (ОМИ). Выявлены также отклонения профилей СФ от чисто степенных скейлингов. Рассмотрены СФ для особого случая — высотного профиля  $E(z)$  с сильным всплеском поля на высоте  $z \approx 6$  км. Показано, что в данной выборке в инерционных интервалах имеются заметные отклонения профилей СФ от чисто степенных скейлингов. Анализ обобщенной масштабной инвариантности для этого случая показал её отсутствие. Отсутствие ОМИ может быть связано с наличием в высотном распределении электрического поля  $E(z)$  когерентных структур достаточной амплитуды, а также перемежаемостью электрической турбулентности. Данный вопрос будет рассмотрен в следующей работе на основе анализа аналитической модели электрической турбулентности с двумя инерционными интервалами с учётом в распределении поля когерентных структур достаточной амплитуды и перемежаемости.

Исследование структурных функций электрической турбулентности представляет интерес, в частности, для определения характерных статистических параметров высотного распределения  $E(z)$ , а также для разработки в последующих работах схем параметризации уравнений гидродинамики атмосферы, позволяющих проводить моделирование роли электрических взаимодействий на основе численных расчётов пространственно-временной, нелинейной динамики интенсивных атмосферных вихрей. В настоящее время имеются оценки влияния электромагнитных взаимодействий на ветровые потоки в тропических циклонах, показывающие возможность существенной роли поля  $E(z)$  в формировании самосогласованной неоднород-

ной структуры ветров в мощных атмосферных вихрях и их географическом распределении.

**Ерохин Николай Сергеевич** — заведующий отделом, доктор физико-математических наук, профессор, nerokhin@iki.rssi.ru, тел.8-495-333-41-00

**Артеха Сергей Николаевич** — ведущий математик, кандидат физико-математических наук, sergey.arteha@gmail.com, тел.8-963-639-45-87

## STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE ELECTRIC FIELD IN THUNDERSTORM

*N. S. Erohin, S. N. Arteha*

Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

The literature experimental data on the probe measurements of the electric field  $E(z)$  vertical profile in thunderstorms are considered for the altitude  $z < 14$  km. On the basis of the measurement data the analytical approximations  $E(z)$  are developed in the class of localized adjustment functions are used in the numerical calculations of structure functions  $S(m, L)$  for the field  $E(z)$ , where  $L$  is the difference in elevation between two layers of profile  $E(z)$ ,  $m$  is the order of structure function (SF). SF analysis have shown that for the considered profiles  $E(z)$  are two inertial interval of electric turbulence in ranges respectively small scales  $L < 100$  m and middle ones  $100 \text{ m} < L < 1.5$  km.

At large scales  $L$  the growth of SF saturates. It was obtained a SF degree scalings in the inertial ranges, scaling exponents  $g(m)$  and other parameters of the electrical turbulence are calculated. A comparison of SF for different samples of the field  $E(z)$  vertical profile. For a number of samples it was shown the presence of generalized scale invariance of the electrical turbulence (GSI). Profiles identified as having deviations from a purely SF power scaling. SF properties are considered also for a special case when the vertical profile of  $E(z)$  has a strong peak at a height  $z \approx 6$  km. It is shown that in this sample in the inertial range are significant deviations from pure SF profiles power scaling. Analysis of generalized scale invariance for this case showed her absence. Lack GSI may be due to the presence in altitude distribution of the electric field  $E(z)$  of sufficient amplitude coherent structures and the intermittency of electrical turbulence. This issue will be addressed in subsequent work on the basis of the analytical model of electric turbulence with two inertial intervals taking into account in the distribution field of sufficient amplitude coherent structures and electrical turbulence intermittency.

Study of the structural features of electrical turbulence is of great interest, in particular, for determining the characteristic statistical parameters of  $E(z)$  altitude distribution as well as for the development in subsequent works the parameterization schemes for atmosphere hydrodynamic equations that will allow for the modeling of the electrical interactions role on the basis of numerical calculations of the space-time nonlinear dynamics of intense atmospheric vortices. There are currently estimates of the electromagnetic interactions influence on the wind flows in tropical cyclones, showing the possibility of a significant role of the field  $E(z)$  in the formation of inhomogeneous structure and self-consistent winds inside powerful atmospheric vortices and their specific geographical distribution.

**Erokhin Nikolay Sergeevich** — head of department, doctor of physico-mathematical sciences, professor, nerokhin@iki.rssi.ru, 8-495-333-41-00

**Arteha Sergei Nikolaevich** — candidate of physico-mathematical sciences, leading mathematician, sergey.arteha@gmail.com, 8-963-639-45-87

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ИЗЛУЧЕНИЕ МЕЗОСФЕРЫ

*А. А. Евтушенко, Ф. А. Кутерин, Е. А. Мареев, С. С. Давыденко*

Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН)

Как известно, грозовая активность в тропосфере создаёт условия для развития целого семейства высотных разрядов: джетов, спрайтов, эльфов, гало. Одной из наиболее интересных проблем, связанных с высотными разрядами, является изучение возможных возмущений состава средней атмосферы, весь диапазон высот которой подвержен их воздействию. Действительно, спрайты занимают диапазон высот от 50 до 90 км, гало зажигаются на 75...80 км, эльфы на высоте около 100 км, т.е. наблюдаются в мезосфере и нижней ионосфере. Джеты (в наибольшей степени затрагивающие озоновый слой) стартуют с верхней кромки облака и достигают высоты 45...50 км. Наиболее мощные джеты достигают 85 км и называются гигантскими джетами; последние наблюдаются редко, но представляют особый интерес для комплексных (включая спутниковые) экспериментов.

Авторами разработана плазмохимическая самосогласованная радиально-симметричная модель, связывающая протекание тока в молниевом канале в тропосфере, генерацию квазистатического электрического поля из-за формирования слоёв нескомпенсированного заряда и возмущение химического состава мезосферы, включая образование атомов и молекул в возбуждённом состоянии и излучение фотонов в различных диапазонах длин волн.

Данная модель применена для изучения возмущения мезосферы при развитии гало и спрайтов. Рассчитаны эмиссии наиболее интенсивных линий излучения, сопровождающих эти разряды. Показано, что максимальная интенсивность излучения для спрайта в первой положительной полосе молекулярного азота в 4 раза превышает интенсивность излучения во второй полосе. Интенсивность излучения на других частотах (557 нм, 630 нм, O<sub>2</sub>Atm, O<sub>2</sub>IRAtm) на несколько порядков меньше. Химический состав нижней ионосферы при развитии гало практически не изменяется, а при развитии спрайтов существенно возмущаются концентрации электронов, положительных и отрицательных ионов, нейтралов (включая окислы азота и атомарный кислород), в том числе и в возбуждённом состоянии.

При дальнейшем развитии данной модели планируется детально исследовать количественные характеристики спектра излучения высотных разрядов в зависимости от параметров вспышки молнии в тропосфере. Учитывая результаты моделирования, при планировании спутниковых наблюдений высотных разрядов, кроме спектральных измерений, желательно предусмотреть возможность измерения возмущения проводимости и концентраций отдельных химических компонент.

**Евтушенко Андрей Александрович** — младший научный сотрудник, a\_evtushenko@inbox.ru

**Кутерин Фёдор Алексеевич** — ведущий электроник, xredor@gmail.com

**Мареев Евгений Анатольевич** — заместитель директора, mareev@appl.sci-nnov.ru

**Давыденко Станислав Станиславович** — старший научный сотрудник, davyd@appl.sci-nnov.ru

## **ON THE MODELING OF HIGH-ALTITUDE DISCHARGES INFLUENCE ON THE CHEMICAL BALANCE AND EMISSIONS OF MESOSPHERE**

*A. A. Evtushenko, F. A. Kuterin, E. A. Mareev, S. S. Davydenko*

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS)

It's known, that lightning activity in the troposphere creates conditions for development of several types of high-altitude discharges: jets, sprites, elves and halos. One of the most interesting questions related to high-altitude discharges is the study of chemical balance perturbation of middle atmosphere in all range of heights. Indeed, sprites appear at the heights from 50 to 90 km, halos at 75...80 km, elves at the heights of about 100 km. The heights correspond to the mesosphere and lower ionosphere. Jets start from the top of the cloud, reach 45...50 km and propagate through the ozone layer. Extremely powerful jets are called gigantic jets and reach 85 km. It is a rare event, but very interesting for complex experiments, including satellite observations.

We develop plasm-chemical self-consistent radial-symmetry model that relates current flow in the lightning channel in the troposphere, generation of quasi-static electric field caused by the cloud charge and perturbation of mesosphere chemical balance, including generation of excited atoms and molecules and emissions in the different wavelength ranges.

We use this model to study the perturbation of mesosphere during the halo and sprite events. We calculate the most intensive emissions caused by halo and sprite discharges. It is shown that maximum emission rate forms in the first positive band of nitrogen exceeds by 4 times emission rate in the second positive band. Emission rates on the other frequency bands (557 nm, 630 nm, O<sub>2</sub>Atm, O<sub>2</sub>IRAtm) are several orders smaller than for first positive band of nitrogen. During the halo discharge the chemical balance of lower ionosphere is practically not perturbed. Concentrations of electrons, positive and negative ions, neutrals (including nitric oxides and oxygen atoms) and excited neutrals undergo a great perturbation.

Using our model we are planning to study in detail the sprite and halo spectra depending on the parameters of lightning discharge on the troposphere. It would be useful to take into account the results of modeling during the planning of satellite experiments and consider the possibility to measure not only spectra of discharges but also perturbation of conductivity and concentration of chemical components of mesosphere caused by high-altitude discharges.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ КНЧ-ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ НА МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»**

*С. И. Климов*

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Измерение электрической компоненты плазменных излучений является сложной методической задачей, что подтверждается малым количеством успешных экспериментов на космических аппаратах. Используя положительный опыт, накопленный в результате проведённых на космических ап-

паратах «Космос-484», «Интеркосмос-10», «Прогноз-8, -10», «Интербол-1» экспериментов по методу комбинированной волновой диагностики [1, 2], на микроспутнике (МС) «Чибис-М» были установлены два комбинированных волновых зонда и индукционный магнитометр (КВ31, КВ32, ИМ, рис. 1), созданные в ЛЦ ИКД (научный руководитель Корепанов В. Е.) и входящие в состав магнитно-волнового комплекса (МВК) [3].

Для измерения электрической компоненты КНЧ-ОНЧ-излучений разность потенциалов между КВ31 и КВ32 (двойной зонд) далее подавалась на процессор спектрального анализа (ПСА, Университет имени Лоранда Этвёша, Компания VL Electronics, Венгрия, научный руководитель Ференц Ч.), где в режиме «волновая форма» оцифровывалась, запоминалась и затем передавалась по телеметрическому (ТМ) каналам, либо в режиме «мониторинг» оцифровывалась, подвергалась FFT, спектры запоминались и затем передавалась по ТМ. Для измерений флуктуаций плавающего потенциала плазмы разность потенциала между КВ31 и корпусом МС подавалась на ПСА и подвергалась процедуре, изложенной выше. Для измерения трёх магнитных компонент КНЧ-ОНЧ-излучений сигналы с КВ31, КВ32 и ИМ подавались на ПСА и подвергались изложенной выше процедуре.

В данной работе вопросы методики измерения электрической компоненты рассматриваются ниже путём, в первую очередь, сопоставления с данными по магнитной компоненте.

Полученные в режиме «мониторинг» типичные и регулярно наблюдаемые в течение ~12 месяцев данные по электрической (КВ31-КВ32) и магнитной (ИМ) компонентам представлены на рис. 2. Данные представлены в геомагнитно спокойные периоды и свидетельствуют о достаточно низком уровне фона по обоим компонентам.

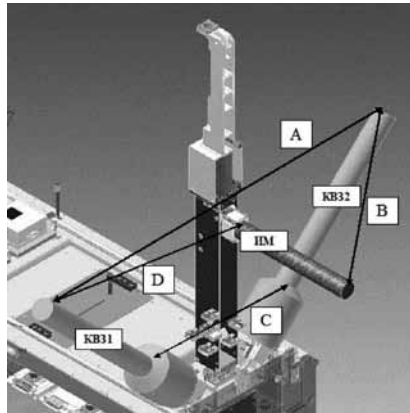
Особенностью этих данных является выделение только по компоненте  $E$  «зон» с минимальной интенсивностью фона во всей полосе частот. Сигналы на рис. 2а вне «зон» по обоим компонентам регистрируются, в основном, на частотах ниже 1 кГц. Сигналы на рис. 2б вне «зон» по компоненте  $E$  регистрируются в диапазоне ниже 20 кГц преимущественно в высоких широтах.

Предварительный анализ свидетельствует, что «зоны» на рис. 2:

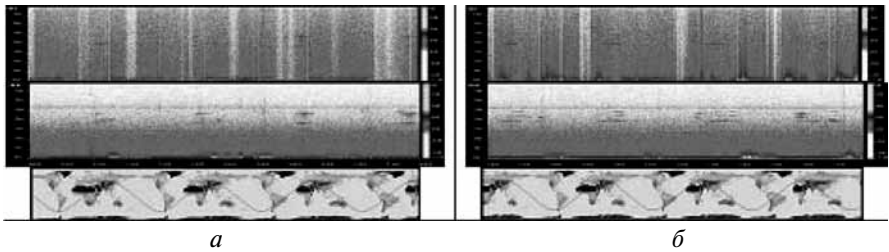
- имеют периодичность, близкую к периоду обращения вдоль орбиты, ~98 минут;
- наблюдаются преимущественно в приэкваториальных областях;
- наблюдаются как на освещённых, так и не освещённых участках орбиты; это может свидетельствовать о слабом влиянии на зонды фототока по сравнению с током тепловой ионосферной плазмы.

Исходя из методических предпосылок [4], фон (шумы тепловой плазмы) возникает от флуктуаций и температуры частиц плазмы и, следовательно, должен изменяться вдоль орбиты. Шумовой ток двойного зонда также зависит от его ориентации относительно магнитной силовой линии. Следовательно, для физического анализа природы появления «зон» крайне желательно иметь данные о распределении концентрации и температуры плазмы вдоль орбиты.

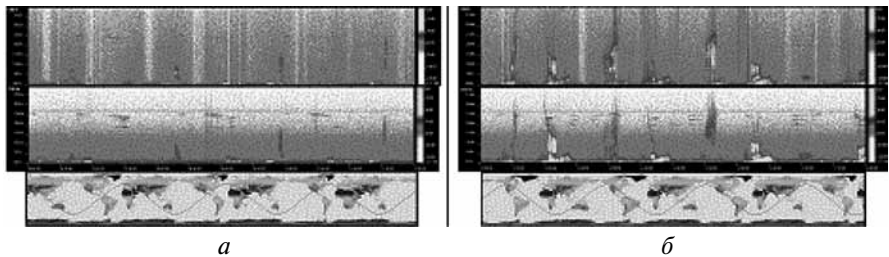
Анализ данных в геомагнитно возмущённых условиях, представленных на рис. 3, свидетельствует о пространственно-временной корреляции компонент  $E$  и  $V_z$ .



**Рис. 1.** Размещение на «Чибис-М» датчиков МВК. KB31, KB32 — комбинированные волновые зонды (длина датчика 245 мм), ИМ — индукционный магнитометр (длина датчика 205 мм). Конфигурация: A = 597 мм, B = 376 мм, C = 250 мм, D = 299 мм



**Рис. 2.** Данные МВК длительностью 6 часов. По оси X — время UT+3: *a* — 2012.04.01, начало 00:00:08 — конец 06:00:08; *б* — 2013.04.27, начало 18:00:07 — конец 24:00:07. Данные на рис. 2*a* и 2*б* идентичны. Расположение панелей сверху вниз: СН0 E — электрическая компонента; СН5 Vz — магнитная компонента; проекция орбиты на земную поверхность. Для E и Vz ось Y — шкала частот 0,001...40 КГц, цвет — интенсивность 120 дБ



**Рис. 3.** Данные МВК длительностью 6 часов. По оси X — время UT+3: *a* — 2012.04.01, начало 06:00:11 — конец 12:00:11; *б* — 2012.10.13, начало 12:00:02 — конец 18:00:02. Данные идентичны рис. 2



Начало и развитие суббури ( $Kp = 3$ ), представленное на рис. 3а, проявляется синхронно по  $E$  и  $Vz$  появлением излучений на южных высоких широтах растущих от орбиты к орбите по частоте. Наличие обеих компонент свидетельствует об электромагнитной природе излучений. При развитой суббуре ( $Kp = 8-9$ ), представленной на рис. 3б, излучения проявляются в обоих полушариях на высоких широтах, но на разных частотах.

Наличие «зон» по компоненте  $E$  в спокойных (см. рис. 2) и возмущённых (см. рис. 3) условиях явно свидетельствует об их методической, а не физической природе. Изучение как природы «зон», так и излучений будут продолжены с привлечением, в первую очередь, данных синхронных наземных наблюдений.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 13-05-12102-офи\_м.

1. *Климов С. И., Ноздрачёв М. Н., Триска П.* и др. Исследование плазменных волн с помощью комплекса комбинированной волновой диагностики БУДВАР («Прогноз-10-Интеркосмос») // Космич. исслед. 1986. Т. 24. № 2. С. 177–184.

2. *Klimov S. I., Nozdrachev M. N., Petrukovich A. A.* et al. Combined wave diagnostics — a new tool for the plasma turbulence studies // COSPAR COLLOQUIUM'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques. Beijing China, 15–19 April 1996: Abstr. 1996. P. 18–19.

3. *Новиков Д. И., Климов С. И., Корепанов В. Е.* и др. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды. Миссия «Чибис-М» // Миссия «Чибис-М»: Сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 78–89. Сер. «Механика, управление и информатика».

4. *Козлов О. В.* Электрический зонд в плазме. М.: Атомиздат, 1969.

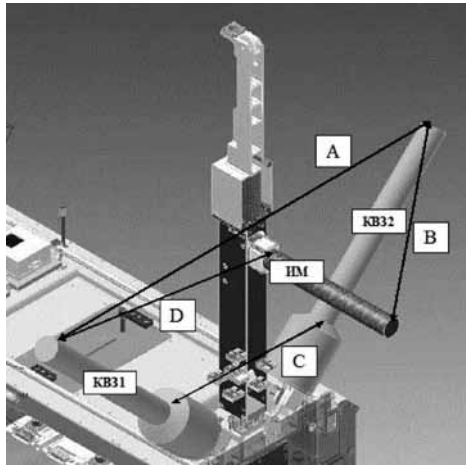
## METHODOLOGICAL ASPECTS OF MEASURING ELECTRICAL COMPONENTS ELF-VLF EMISSIONS ON MICROSATELLITE CHIBIS-M

*S. I. Klimov*

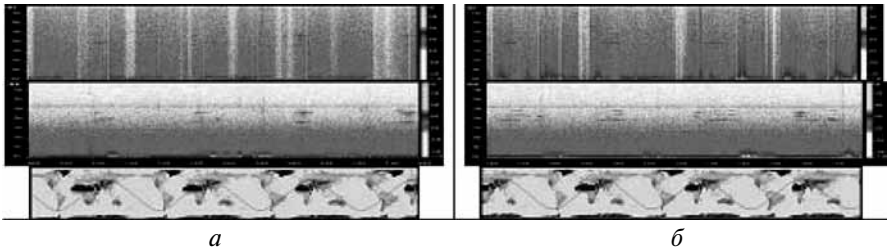
Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

Measurement of the electrical components of the plasma radiation is a complex methodological problem, as evidenced by a small number of successful experiments on the spacecraft. Using the positive experience gained as a result of on the Kosmos-484, Interkosmos-10, Prognoz-8, -10, Interball-1 experiment using the combined wave diagnostics [1, 2] on the microsatellite (MS) Chibis-M was equipped with two wave combined probe and induction magnetometer (Figure 1) created in LC ISR (supervisor Korepanov V. E.) and are part of the magnetic wave complex (MWC) [3].

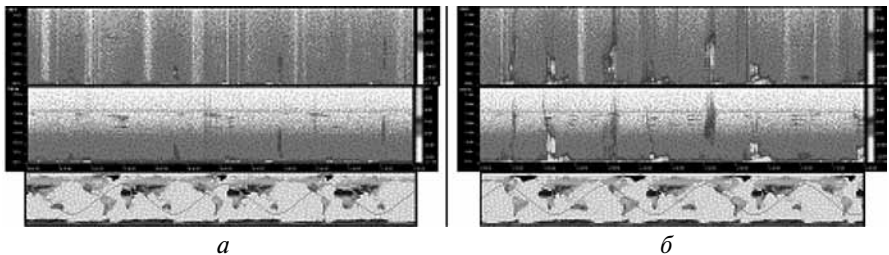
To measure the electrical component of ELF-VLF emissions, potential difference between KB31 and KB32 (dual probe) was applied to further processing of the spectral analysis (PSA University Etvesha, Company BL Electronics, Hungary, supervisor Ferencz Cs.) where either “waveform” digitized, storage and then transferred to the telemetry (TM) channels, or in the “monitoring” digitized, subjected to FFT, spectra storage and then transferred to TM. For measurements of the floating potential fluctuations in the plasma potential difference between the MS and the housing KB31 submitted PSA and subjected to the procedure outlined above. To measure the 3-component magnetic ELF-VLF emissions signals KB31, KB32, ИМ submitted to PSA and subjected to the above procedure.



**Figure 1.** Accommodation for Chibis-M MWC sensors: KB31, KB32 — combined wave probes (probe length 245 mm); ИМ — induction magnetometer (sensor length 205 mm). Configuration: A = 597 mm, B = 376 mm, C = 250 mm, D = 299 mm



**Figure 2.** MWC data during 6 hours. X-axis — time UT+3: a — 2012.04.01, 00:00:08 start — end 6:00:08; b — 2013.04.27, 18:00:07 start — end 24:00:07. The data in Figure 2a and 2b are identical. Location panels from top to bottom: CH0 E — electrical component; CH5 Bz — magnetic component; projection of the orbit on the Earth's surface. For E and Bz Y-axis — frequency range 0.001...40 kHz, color — 120 dB intensity



**Figure 3.** MWC data during 6 hours. X-axis — time UT+3: a — 2012.04.01, start 6:00:11 — end 12:00:11; b — 2012.10.13, 12:00:02 start — end 18:00:02. These are identical to Figure 2

In this paper, methods for measuring the electrical component are discussed below by, primarily for comparison with the data of the magnetic component.

Obtained in the “monitoring” typical and regularly observed for ~12 months on the electrical data (KB31-KB32) and magnetic (ИМ) components are presented in Figure 2. Data are presented in geomagnetic quiet periods and demonstrate a low level background on both components. Feature of these data is to allocate only component E “zones” with a minimum intensity of the background in the whole band. Signals in Figure 2a is “zones” recorded on both components, mainly in frequencies below 1 kHz. Signals in Figure 2b is “zones” on the component E recorded in the range below 20 kHz mainly in high latitudes.

Preliminary analysis shows that the “zone” in Figure 2:

- have a frequency close to the period of revolution along the orbit, ~ 98 minutes;
- observed mainly in the equatorial regions;
- observed both illuminated and non-illuminated portions of the orbit. This may indicate a weak influence on the probes photocurrent compared with current thermal ionospheric plasma.

Based on the methodological prerequisites [4], the background (thermal plasma noise) arises from fluctuations in temperature and plasma particles and hence should vary along the orbit. Noise current dual probe also depends on its orientation relative to the magnetic force line. Consequently, for the analysis of the nature of the physical appearance of the “zones” highly desirable to have data on the distribution of plasma density and temperature along the orbit.

Data analysis in geomagnetic disturbance conditions shown in Figure 3 indicates a spatio-temporal correlation the E and the Bz components.

Substorm onset and progression ( $K_p = 3$ ), shown in Figure 3a, is shown synchronously E and Bz advent of radiation in the southern high latitudes growing from orbit to orbit frequency. The presence of both components of the electromagnetic nature of radiation shows. When substorm development ( $K_p = 8-9$ ), shown in Figure 3b, radiation appear in both hemispheres at high latitudes, but at different frequencies.

The presence of “zones” on the component E in quiet (see Figure 2) and perturbed (see Figure 3) clearly shows the conditions of their methodical, rather than physical nature. The study of nature as «zones» and radiation will be continued with the involvement, primarily, data synchronous ground-based observations.

This work was partially supported by RFBR (project No. 13-05-12102-ofi\_m).

1. Климов С. И., Ноздрачёв М. Н., Триска П. и др. Исследование плазменных волн с помощью комплекса комбинированной волновой диагностики БУДВАР («Прогноз-10-Интеркосмос») // Космич. исслед. 1986. Т. 24. № 2. С. 177–184.

2. Klimov S. I., Nozdachev M. N., Petrukovich A. A. et al. Combined wave diagnostics — a new tool for the plasma turbulence studies // COSPAR COLLOQUIUM'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques. Beijing China, 15–19 April 1996: Abstr. 1996. P. 18–19.

3. Новиков Д. И., Климов С. И., Корепанов В. Е. и др. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды. Миссия «Чибис-М» // Миссия «Чибис-М»: Сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 78–89. Сер. «Механика, управление и информатика».

4. Козлов О. В. Электрический зонд в плазме. М.: Атомиздат, 1969.

## ПРОГРАММА НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, СКООРДИНИРОВАННЫХ С МС «ЧИБИС-М»

*С. И. Климов<sup>1</sup>, И. В. Козлов<sup>1</sup>, А. Д. Рябова<sup>1</sup>, В. Е. Корепанов<sup>2</sup>, Чаба Ференц<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

<sup>2</sup> Львовский центр Института космических исследований Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины (ЛЦ ИКИ НАНУ НКАУ)

<sup>3</sup> Научный университет имени Лоранда Этвёша, Будапешт, Венгрия

Микроспутник (МС) «Чибис-М» был запущен 25 января 2012 г. и, при запланированном ресурсе один год, успешно работает уже третий год. В состав комплекса научной аппаратуры (КНА) МС «Чибис-М» (КНА «Гроза») входит магнитно-волновой комплекс (МВК), состоящий из двух комбинированных волновых зондов, одного индукционного магнитометра, созданных в ЛЦ ИКИ, Львов, и прибора спектрального анализа (Университет имени Лоранда Этвёша, Компания VL Electronics, Венгрия). МВК предназначен для изучения электромагнитных параметров в диапазоне частот 0,1 Гц – 40 кГц с целью исследования вариаций плазменно-волновых процессов в ионосфере, происходящих под влиянием грозовой активности, и процессов космической погоды в системе ЛАИМ [1]. Реализованная на борту МС конфигурация датчиков позволяет провести векторные измерения магнитной и одной электрической компонент КНЧ-ОНЧ эмиссий. В круг задач, решаемых на «Чибис-М» [2], входило проведение активных экспериментов:

- по воздействию на ионосферу нагревного стенда «СУРА» (Васильсурск, Нижегородской обл.); эксперимент организован Институтом динамики геосфер (ИДГ РАН, Москва, координатор Гаврилов Б. Г.), Научно-исследовательским радиофизическим институтом РАН (НИРФИ, Нижний Новгород, координатор Караштин А.) и ИКИ РАН (координатор Климов С.);
- по акустическому воздействию на атмосферу и ионосферу во время пролёта «Чибис-М» над наземным стендом ЛЦ ИКИ. Эксперимент организован ИКИ РАН при поддержке Государственного космического агентства Украины, Института космических исследований НАН и ГКА Украины, Киев, и ЛЦ ИКИ (координатор Черемных О. К.).

В 2012–2013 гг. накоплена база данных об электромагнитной обстановке (ЭМО) в районе стендов. 5 и 9 августа 2013 г. был проведён эксперимент со стендом «СУРА», 28 ноября 2013 г. — с акустическим стендом. В ходе экспериментов получены данные об ЭМО как в районе стендов, так и на орбите «Чибис-М». Эти данные в настоящий момент комплексно исследуются.

Своеобразным активным экспериментом явилось исследование ЭМО в районах Индокитая и Юго-Восточной Азии в период декабрь 2012 г. — февраль 2013 г. во время развития тропических циклонов (ТЦ) Narelle, 08С, Naguna, Rusty, 18S. Здесь также получены данные об ЭМО как в зоне ТЦ, так и на орбите «Чибис-М», что необходимо для изучения собственных вариаций параметров ионосферной плазмы и определения ионосферного критерия, отражающего процессы циклогенеза.

Важной составной частью исследований физических процессов, протекающих в ионосфере под действием природных и техногенных факторов,

является одновременный мониторинг ЭМО на наземных геофизических обсерваториях и в ионосфере на орбите «Чибис-М». Такие исследования проводились, в частности, с Геофизической обсерваторией «Михнево» ИДГ РАН (ГФО ИДГ) в 2012–2013 гг. и в январе 2014 г. Согласовывается программа наземно-космического эксперимента по исследованию шумановского и ионосферного альвеновского резонаторов с участием Радиоастрономического института НАН Украины (РИ НАНУ, Харьков, координатор Ямпольский Ю. М.), ЛЦ ИКИ и ИКИ РАН.

Данная работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 13-05-12102- офи\_м (ИКИ РАН) и контракта № ... с ГКАУ (ЛЦ ИКИ).

1. Новиков Д. И., Климов С. И., Корепанов В. Е., Ференц Ч., Лихтенбергер Я., Марусенков А., Боднар Л. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды // Миссия «Чибис-М»: Сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 78–89. Сер. «Механика, управление и информатика».

2. Гуревич А. В., Зелёный Л. М., Климов С. И. Научные задачи миссии «Чибис-М» // Миссия «Чибис-М»: Сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 7–25. Сер. «Механика, управление и информатика».

#### GROUND SUPPORT EXPERIMENTS, COORDINATED WITH MS CHIBIS-M

S. Klimov<sup>1</sup>, I. Kozlov<sup>1</sup>, A. Ryabova<sup>1</sup>, V. Korepanov<sup>2</sup>, Csaba Ferencz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

<sup>2</sup> Lviv Centre of Institute for Space Research National Academy of Sciences and National Space Agency of Ukraine (LCISR NASU-SSAU)

<sup>3</sup> Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest, Hungary

The Chibis-M microsatellite (MS) was launched January, 25, 2012, and, having planned operation time 1 year, is already active third year. In the scientific payload Groza of this MS the magneto-wave complex (MWC) is included, consisting of two combined wave probes and one induction magnetometer (LCISR, Ukraine) and Spectral analyzer and sampler (Eotvos University, BL Electronics, Hungary). MWC allows the measurements of electromagnetic parameters in the frequency range from 0.1 Hz till 40 kHz. Its goal is the study of plasma-wave processes in the ionosphere triggered by thunderstorm activity, as well as space weather signatures in the LAIM system [1]. The «Chibis-M» sensors arrangement allows measurements of vector magnetic component and of one electric component of ELF-ULF emissions. The scientific tasks of «Chibis-M» include, besides other [2], following active experiments:

- heating stand SURA (Vasilursk, Nizhny Novgorod) influence on the ionosphere. Experiment organized by the Institute of Dynamics of Geospheres, Moscow, coordinator Gavrillov B.), Radiophysical Scientific Research Institute of RAN (Nizhny Novgorod, coordinator Karashtin A.) and IKI RAN (coordinator Klimov S.);
- acoustic emission influence on the atmosphere and ionosphere during the operation of powerful acoustic radiator (LCISR, Ukraine). Experiment organized by IKI RAN with the support of State Space agency of Ukraine (SSAU), Space research institute of NASU-SSAU, Kiev, and LCISR (coordinator Cheremnykh O.).

During the years 2012–2013 the data base about electromagnetic environment (EME) in the region of these facilities was assembled. August, 5 and 9, 2013, the experiment with SURA stand was carried out and November, 28 — with the acoustic stand. The data about EME both in stands region and at the Chibis-M orbit were collected. These data are now under complex investigation.

A peculiar “active” experiment was the EME study in Indo-China and South-East Asia regions in the period of December, 2012 – February, 2013 during the tropic cyclones (TC) Narelle, 08C, Haruna, Rusty, 18S development. The data about EME in TC area and at the Chibis-M orbit were also collected, which allow the study of own ionospheric plasma variations and the determination of ionospheric criterion reflecting cyclogenesis processes.

Important part of the study of physical processes, running in the ionosphere under the influence of terrestrial natural and technogenic factors is simultaneous EME monitoring at ground geophysical observatories and at the Chibis-M orbit. Such study was carried out in 2012–2013 and in January, 2014 with Mikhnevo Geophysical observatory of Institute of Dynamics of Geospheres. Also the program of ground-orbital experiment aiming the study of Schumann and ionospheric Alfvén resonators is coordinated with Radioastronomical institute of NASU (Kharkov, Ukraine, coordinator Yampolski Yu.), LCISR and IKI RAN.

This work is fulfilled with partial support of 13-05-12102-офи\_м grant RFBR (IKI RAN) and contract # ... with SSAU (LCISR).

1. Новиков Д. И., Климов С. И., Корепанов В. Е., Ференц Ч., Лихтенбергер Я., Марусенков А., Боднар Л. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды // Миссия «Чибис-М»: Сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 78–89. Сер. «Механика, управление и информатика».

2. Гуревич А. В., Зелёный Л. М., Климов С. И. Научные задачи миссии «Чибис-М» // Миссия «Чибис-М»: Сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 7–25. Сер. «Механика, управление и информатика».

## **АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ СПУТНИКА «ЧИБИС» КАК ЭТАП ПОДГОТОВКИ ПРОЕКТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

*А. Ледков, Н. Эйсмонт, Р. Назиров, А. Назаренко, В. Назаров*

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

После двух лет эксплуатации в околоземном космическом пространстве спутника «Чибис» появилось достаточно данных для того, чтобы сделать некоторые выводы, которые были бы полезны при разработке нового аппарата того же научного назначения. В предлагаемой работе рассматривается, главным образом, часть проекта, относящаяся к области динамики космического полёта, в частности, к вопросам определения параметров движения центра масс аппарата, а также к проблемам его ориентации. При этом анализируются возможности решения задач управления в пределах технических

возможностей служебных систем спутника с целью оптимального планирования физических экспериментов на борту.

Что касается орбитальных данных, то проведённый анализ показывает, что точность, состав и частота публикаций службой NORAD являются достаточными для задач экспериментов, запланированных на «Чибисе», а разработанный метод автоматического обновления этих данных удовлетворяет требованиям планирования операций. Даются оценки эволюции орбитальных параметров под воздействием торможения атмосферой, определяется средний баллистический коэффициент аппарата.

Система ориентации спутника, базирующаяся на использовании солнечных датчиков и магнитометров как измерительных элементов и магнитных катушек и маховиков как исполнительных органов, показала свою работоспособность, но с некоторыми оговорками.

В работе даются рекомендации по преодолению этого дефекта в последующих проектах, а также исследуются альтернативные варианты построения системы ориентации.

**Ледков А.** — [aledkov@rssi.ru](mailto:aledkov@rssi.ru), +7495 333-12-66

#### **ANALYSIS OF OPERATING EXPERIENCE SATELLITE CHIBIS AS A STAGE OF THE PROCESSING OF THE SPACECRAFT'S PROJECT TO EXPLORE THE PROCESSES OF GENERATING RADIATION IN THE EARTH'S ATMOSPHERE**

*A. Ledkov, N. Eismont, R. Nazirov, A. Nazarenko, V. Nazarov*

Space Research Institute of the Russian Academy of Space (IKI RAN)

After two years of operation of the spacecraft Chibis-M in space there are many scientific data for design a new spacecraft. The paper considers mainly part of the project related to the space flight dynamics including in particular the problems of satellite orbital parameters determination and attitude control. At the same time the paper analyzes the possibilities of solving control tasks within the functionality of the satellite service systems in order to optimize the planning of physical experiments on board.

As for the orbital data, the analysis shows that the accuracy of the NORAD service is sufficient for the tasks of experiments planned for Chibis. Evolution of the orbital parameters affected by aerobraking was estimated. Average ballistic coefficient is determined.

Attitude control system which includes solar sensors, three dimensional magnetometer used as sensors and also reaction wheels and magnetic coils used as actuators have shown their efficiency, but with some remarks. In particular, it was found that the magnetometers functioned with errors exceeding expected limits. It was explained by nonstationary character of the own satellite magnetic field.

The paper gives recommendations to overcome this defect in the next projects and it is explores alternatives to building an attitude control system.

**Ledkov A.** — [aledkov@rssi.ru](mailto:aledkov@rssi.ru), +7495 333-12-66

## **СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС», ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКОМЕНДАЦИИ НА БУДУЩИЕ МИКРОСПУТНИКИ**

*А. А. Лизунов*

ОАО «ВПК «НПО машиностроение»

В настоящее время увеличился интерес заказчиков к микроспутникам (МС). Такой интерес объясняется уменьшением стоимости разработки, изготовления, услуг по выведению на орбиту и обслуживания (управления) МС. Осуществляется это посредством упрощения конструкции и снижения массогабаритных показателей. Тем не менее, выдвигаются требования к высокому уровню надёжности, эффективности, сроку службы энерговооружённости, радиационной стойкости и другим важным параметрам бортовой аппаратуры.

Цель данной работы — нахождение способа удешевления стоимости разработки, создания и эксплуатации системы энергоснабжения (СЭС) МС. Постановка задачи данной работы — поиск компромисса между уменьшением массогабаритных показателей бортовой системы и сохранением высокого уровня требований к параметрам космической техники. Суть метода решения задачи — детальный анализ требований к отказоустойчивости СЭС, так как, в первую очередь, от её надёжности зависит функционирование всего МС. Отказоустойчивость системы, в основном, достигается с помощью различных способов резервирования её элементов. СЭС МС «Чибис» построена по параллельной структурной схеме с минимально необходимым резервированием.

Новизна работы заключается в предложенной схеме построения СЭС МС. Практическая полезность данной работы заключается в рекомендациях разработчикам МС. Результаты работы применимы в области создания микро- и наноспутников.

**Лизунов А. А.** — начальник отдела, кандидат технических наук, доцент

## **POWER SUPPLY SYSTEM MS CHIBIS OPERATING EXPERIENCE AND RECOMMENDATIONS FOR MS'S IN A FUTURE**

*A. A. Lizunov*

MIC NPO Mashinostroyeniya

Currently customers increased interest to the MS's. Such interest is attributable to reduced development costs, manufacturing, services for orbit insertion and maintenance (management) MS. This is done by simplifying the design and reducing the weight and dimensions.

Nevertheless put forward demands a high level of reliability, efficiency, durability available power, radiation resistance and other important parameters of the on-board equipment. The aim of this work — finding a way to reduce the cost of developing, building and operating PSS MS. Statement of the problem of this work — the search for compromise between the reduction of weight and dimensions of the board system and the persistence of high requirements to parameters of space technology. The essence of the method of solving the problem — a detailed analysis of the requirements for fault tolerance PSS, because, first of all, its reliability depends on the functioning of the whole MS.



Fault tolerance, mainly achieved through various ways redundancy of its elements. PSS MS Chibis built in parallel structural scheme with minimum necessary redundancy. The novelty of this work is proposing scheme of build PSS MS. The practical usefulness of this work lies in the recommendations for developers MS's. The results of the applicable in the field of micro-and nano-satellites.

## **ЧТО МОГЛИ БЫ ДАТЬ МИКРОСПУТНИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ?**

*Е. А. Мареев*

Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН)

## **WHAT COULD GIVE MICROSATELLITES FOR THE STUDY OF THE GLOBAL ELECTRIC CIRCUIT?»**

*Е. А. Mareev*

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS)

## **НАЗЕМНЫЙ СЕГМЕНТ ПРОЕКТА «ЧИБИС-М»: ПОЛУЧЕННЫЕ УРОКИ ПОСЛЕ ДВУХ ЛЕТ ПОЛЁТА**

*В. Н. Назаров<sup>1</sup>, Р. Р. Назиров<sup>1</sup>, Л. М. Зеленый<sup>1</sup>, В. Н. Ангаров<sup>2</sup>, О. В. Батанов<sup>1</sup>,  
Л. Боднар<sup>3</sup>, Н. А. Эйсмонт<sup>1</sup>, В. М. Готлиб<sup>1</sup>, В. Н. Каредин<sup>2</sup>, С. И. Климов<sup>1</sup>,  
Ф. В. Коротков<sup>1</sup>, И. В. Козлов<sup>1</sup>, А. А. Ледков<sup>1</sup>, А. П. Мельник<sup>1</sup>, А. П. Папков<sup>3</sup>,  
В. Г. Родин<sup>1</sup>, А. Д. Рябова<sup>1</sup>, Я. Шмелауэр<sup>4</sup>, А. А. Суханов<sup>1</sup>, А. Е. Третьяков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>2</sup> Специальное конструкторское бюро космического приборостроения Института космических исследований Российской академии наук (СКБ КП ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>3</sup> Научно-исследовательская лаборатория аэрокосмической техники (НИЛАКТ) при Российском оборонно-спортивном техническом обществе (РОСТО) (ДОСААФ), Калуга, Россия

<sup>3</sup> Научный университет имени Лóранда Этвёша, Будапешт, Венгрия

<sup>4</sup> Институт физики атмосферы Академии наук Чешской Республики, Прага, Чешская Республика (ИФА ЧАН)

Микроспутник «Чибис-М» содержит приборный комплекс, обеспечивающий проведение достаточного большого набора различных измерений. В первую очередь они предназначены для изучения физических процессов вызванных высотными грозowymi разрядами, но наравне с этим обеспечивается проведение исследований, которые могут быть объединены под общим термином «космическая погода».

Такой широкий круг измеряемых параметров приводит к необходимости организации высокоскоростного канала передачи результатов измерений, что, в свою очередь, приводит к необходимости организации высокоэффективной информационной среды проекта.

Высокоскоростной S-band канал обеспечивает сброс научных телеметрических данных в формате CCSDS на скорости до 1 Мбит/с. Для инженерных данных и управления микроспутником используется радилюбительский диапазон с частотами 145 и 435 МГц для передачи телекоманд и сброса инженерных телеметрических данных соответственно. И в дополнение к линиям связи, описанным выше, телеграфный канал с передачей данных с помощью азбуки Морзе, также используется в проекте для передачи ключевых технических параметров о состоянии микроспутника.

Такая схема информационного обмена борт — Земля в сочетании с применяемыми современными информационными технологиями (например, Web 2.0, SOA, и т.д.) позволило создать Наземный сегмент проекта «Чибис-М» обладающий развитыми функциональными возможностями на фоне минимизации ресурсов задействованных на его подготовку и эксплуатацию.

В докладе показано, что использованные методы и подходы можно применять и для построения наземных сегментов «больших» научных миссий.

В работе рассматривается текущее состояние Наземного сегмента проекта «Чибис-М», анализируется опыт его эксплуатации в течение двух лет полётных операций. Результаты анализа позволяет сформулировать полученные уроки, в виде базовых тезисов, которые планируется использовать при разработке наземных сегментов перспективных научных космических проектов.

#### **GROUND SEGMENT FOR MICROSATELLITE CHIBIS-M: LEARNED LESSONS AFTER TWO YEARS OF OPERATIONS**

*V. Nazarov<sup>1</sup>, R. Nazirov<sup>1</sup>, L. Zelenyi<sup>1</sup>, V. Angarov<sup>2</sup>, O. Batanov<sup>1</sup>, I. Bodnar<sup>3</sup>, N. Eismont<sup>1</sup>, V. Goulib<sup>1</sup>, V. Karedin<sup>2</sup>, S. Klimov<sup>1</sup>, F. Korotkov<sup>1</sup>, I. Kozlov<sup>1</sup>, A. Ledkov<sup>1</sup>, A. Melnik<sup>1</sup>, A. Papkov<sup>3</sup>, V. Rodin<sup>1</sup>, A. Ryabova<sup>1</sup>, Ya. Shmelauer<sup>4</sup>, A. Sukhanov<sup>1</sup>, A. Tretiakov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia

<sup>2</sup> SKB KP IKI RAN, Tarusa, Russia

<sup>3</sup> NILAKT ROSTO, Kaluga, Russia

<sup>3</sup> Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest, Hungary

<sup>4</sup> UFA CAZ, Prague, Czech Republic

The microsatellite Chibis-M is in flight operations stage now. Its flight story starts on November 2, 2011 when cargo ship Progress M-13M was docked with International Space Station (ISS). As usually it brings some equipment and goods needed for ISS survival but also it delivered microsatellite Chibis-M. At January 24, 2012 01:59 msk Progress M-13M was undocked and after two corrections it will be positioned at 500 km orbit. At January 25, 03:14 msk Chibis-M was separated from it and starts its own flight.

The mass of the microsatellite, is 34.4 kg, the mass of scientific instruments on board is about 12 kg. The one of distinctive features of the microsatellite Chibis-M is that it is assigned not for education proposes only but for investigation in the field of fundamental researches as well.

The main purpose of Chibis-M is a comprehensive study of physical processes in atmospheric lightning discharges in a wide range of energies — from radio to gamma radiation as well as extended measurements of parameters which may be described by term called “space weather”. And it contains an impressive list of the scientific instruments for resolving these tasks of course.

Extended measurements means using of high-speed telemetry channels which requires respective power supplying. And it corresponds to some problems for relatively small spacecrafts. Therefore three downlink and one uplink systems were used onboard the microsatellite.

High speed S-band channel which provides downlink for science data in format of CCSDS telemetry packets up to 1 Mbps. For technical mission operations radio-amateur bands are used with frequencies of 145 and 435 MHz for uplink and downlink respectively. For preventing of collisions with radio-amateurs and for safety reasons this links use respective security coding. And at last the telegraph channel with simplest coding by dot-and-dash (Morse code) method is used for transferring information about the general status of the satellite.

Such architecture of the satellites links as well as using of modern technologies (like Web 2.0, SOA, etc.) and implementation of a few new approaches allowed us to create the ground segment for the Chibis-M operations with extended features on the background of low budget and high reliability.

As shown in the article there are comprehensive facilities of microsatellites in the field of fundamental researches and not directly for space investigations only. Some approaches (especially for ground operations and support) which have been tried during these missions may successfully be implemented in the “big” science space projects.

The article describes current status of the ground segment for microsatellite Chibis-M as well as lessons learned after first two years of operations with it and shows prospective ways of evolutions of the described ground information system.

## **К МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТРАНЗИЕНТНЫХ ЭНЕРГИЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ**

*М. И. Панасюк*

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), физический факультет МГУ

Под транзистентными энергичными явлениями в контексте предлагаемого наброска модели их генерации рассматриваются земные гамма-всплески (Terrestrial Gamma Flashes), некоторые типы транзистентных световых явлений (Transient Luminous Events), а также грозовые земные возрастания (Thunderstorm Ground Enhancements), сопровождающиеся появлением как в нижних слоях атмосферы, так и верхней её области, кратковременных потоков электронов, гамма — квантов, нейтронов и радиоизлучения, а также всплесков ультрафиолетового излучения, по крайней мере, в верхней части земной атмосферы. В предлагаемой модели ключевым элементом, объясняющим существование всех этих явлений в рамках единой глобальной цепи, являются

пучки релятивистских электронов, природа которых связана как прямым, так и опосредованным образом, с усилением атмосферного электричества во время проявлений грозовой активности. Их генерация становится возможной не только в нижних слоях атмосферы с последующим вылетом в верхние и приземные слои атмосферы, но и проникновение их в атмосферу в результате эффектов высыпания из радиационных поясов Земли. Именно пучки релятивистских электронов, «выстреливающие» как снизу, так и сверху (соответственно варианты модели «снизу вверх» и «сверху вниз»), могут быть ответственны за весь комплекс явлений со значительным выделением энергии, наблюдающиеся как в нижней, так и в верхней атмосфере. Не исключено, что все эти транзиентные энергичные явления развиваются на близкой временной шкале. В докладе приводятся имеющиеся экспериментальные аргументы, подтверждающие предложенную модель, а также обсуждаются направления дальнейших целевых экспериментальных исследований в этом направлении.

**Панасюк Михаил Игоревич** — директор НИИЯФ МГУ, доктор физико-математических наук, профессор, [panasyuk@sinp.msu.ru](mailto:panasyuk@sinp.msu.ru), +7495 939-18-18

## TO THE MODEL OF GLOBAL TRANSIENT EVENTS GENERATION IN THE ATMOSPHERE

*M. Panasyuk*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University (MSU SINP), Physics Department MSU

Within the frames of the suggested draft model of transient events generation the following their types are considered: Terrestrial Gamma Flashes, some types of Transient Luminous Events and Thunderstorm Ground Enhancements, which are accompanied by short occurrence of the fluxes of electrons, gammas, neutrons and radio-emission both in the lower and upper regions of the atmosphere as well as UV-flashes at least in the upper atmospheric layer. The basic element of the suggested model explaining all these events within the frames of the single global chain are the beams of relativistic electrons. Their nature is associated with intensification of atmospheric electricity during thunderstorm activity consequences both directly and indirectly. Along with their generation in the lower atmosphere and subsequent escape to the upper and near-Earth layers of the atmosphere, their penetration into the atmosphere as a result of precipitation from the Earth's radiation belts becomes also possible. Just relativistic electrons beams “fired” both from below and from above (correspondingly, variants “bottom upwards” and “top down”) can be responsible for the whole complex of the events with significant energy release observed in the lower and in the upper atmosphere. Quite possibly that all these transient events happen at the same time scale. The report includes the experimental arguments proving the suggested model and the discussion of the further experimental research directions in this field.

**Panasyuk Mikhail** — director of SINP MSU, professor, [panasyuk@sinp.msu.ru](mailto:panasyuk@sinp.msu.ru), +7495 939-18-18

## **МАЛАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. ПРОЕКТ ИКИ01**

*В. Л. Петров*

Научно-производственное предприятие «Даурия» (ООО «НПП Даурия»)

В докладе представлена концепция создания малого космического аппарата для научных исследований. Аппарат запускается из транспортно-пускового контейнера разработки ИКИ РАН и РКК «Энергия». Космическая платформа имеет рабочее название ИКИ01. Полезная нагрузка космического аппарата приведена для научной задачи по исследованию транзитных явлений в ионосфере и ближней магнитосфере Земли. Проведённые энергетические, тепловые, баллистические расчёты показывают, что характеристики платформы с запасом удовлетворяют требованиям, предъявляемым со стороны научных приборов производства ИКИ РАН, и подходят для решения не только описанной научной задачи, но и большого спектра фундаментальных и прикладных научных исследований околоземного космического пространства. Тем не менее, платформа создана по модульному принципу и при необходимости может быть доработана по ряду ключевых параметров в широком диапазоне без изменения общей концепции КА.

### **SMALL BUS FOR THE SPACE EXPERIMENTS. IKI01 PROJECT**

*V. L. Petrov*

NPP Dauriia

The concept of a small spacecraft for scientific research is being presented. The spacecraft should be launched from the IKI and RSC Energia's container. Space platform has a draft name IKI01. The payload of the spacecraft is described for the transient phenomena in the ionosphere and nearest magnetosphere research. The general parameters of the bus satisfy the IKI scientific complex requirements as the power, thermal, ballistic etc. calculations show. The bus is also suitable for the wide spectra of fundamental and applied research of near-Earth space. However, the bus is designed modular, and if necessary, it may be modified in certain key parameters in a wide range without changing the general concept of the SC.

## УНЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

*В. Пилипенко<sup>1</sup>, Д. Дудкин<sup>2</sup>, В. Корепанов<sup>2</sup>, С. Климов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Россия

<sup>2</sup> Львовский центр Института космических исследований Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины (ЛЦ ИКИ НАНУ НКАУ)

Используя данные однокомпонентного датчика УНЧ/КНЧ-вариаций электрического поля микроспутника «Чибис-М», мы попытались обнаружить признаки таких электромагнитных структур в верхней ионосфере как ИАР (ионосферный альвеновский резонатор) и ШР (шумановский резонанс). Во время как эти многополосные спектральные структуры уверенно наблюдаются наземными магнитометрами, их прямых наблюдений в ионосфере практически не было. Анализ данных «Чибис-М» показал, что многополосные спектральные структуры, соответствующие характерным частотам ИАР, действительно наблюдаются, но не в виде длительного излучения, как на земной поверхности, а как короткие широкополосные всплески, триггерам которых по-видимому являются мощные грозовые разряды. Вопреки принятым представлениям, тонкая спектральная структура электромагнитных всплесков, обусловленная ИАР, наблюдалась также и на дневной стороне. Таким образом, отсутствие наземных проявлений ИАР в дневные часы связано не с низкой добротностью резонатора, а с худшим прохождением к земной поверхности. Приборами микроспутника «Чибис-М» также были обнаружены слабые полосовые излучения на частотах первых трёх гармоник ШР. Интенсивности зарегистрированных излучений находятся в согласии с модельными оценками просачивания энергии ШР в верхнюю ионосферу.

**Пилипенко Вячеслав Анатольевич** — доктор физико-математических наук, профессор, научн. сотр., pilipenko\_va@mail.ru, 903-6184666

**Дудкин Денис** — научн. сотр., dd@isr.lviv.ua

**Корепанов Валерий Евгеньевич** — доктор физико-математических наук, директор, vakor@isr.lviv.ua, +3-806-76792912

**Климов Станислав Иванович** — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, sklimov@iki.rssi.ru

## ULF EMISSIONS IN THE UPPER IONOSPHERE DETECTED BY THE ELECTRIC SENSOR OF CHIBIS MICROSATELLITE

*V. Pilipenko<sup>1</sup>, D. Dudkin<sup>2</sup>, V. Korepanov<sup>2</sup>, S. Klimov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Russia

<sup>2</sup> Lviv Centre of Institute for Space Research National Academy of Sciences and National Space Agency of Ukraine (LCISR NASU-SSAU)

We tried to find with the ULF/ELF electric field sensor onboard Chibis-M microsatellite signatures of the IAR (Ionospheric Alfvén Resonator) and Schumann resonance (SR) in the upper ionosphere. Whereas observations of the IAR and SR multi-band emissions with ground magnetometers are ubiquitous, in-situ satellite observations of their signatures are very rare. ULF events detected by the Chibis-M show a possibility of triggered excitation of IAR. In contrast to dominating view,

IAR has been found to be effectively excited on the dayside, too. The absence of the daytime IAR features on the ground is probably caused by the elevated absorption of ULF waves in the lower ionosphere during daytime hours. Chibis-M observations also supported the possibility of the SR leakage into the upper ionosphere.

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И НАВИГАЦИИ. ПРОЕКТ ИКИ01**

*П. Розин*

Научно-производственное предприятие «Даурия» (ООО «НПП Даурия»)

В докладе рассматривается возможность создания низкоорбитального космического аппарата на базе технических решений ООО «НПП Даурия» в части системы управления движением и навигации (СУДН), разработанных для аппаратов микро- и наноклассов (DX-1 и МКА-Н). Представлены основные компоненты СУДН — определён набор исполнительных органов и измерительных приборов, средствами которых предлагается осуществлять решение задачи управления КА на всех этапах его функционирования. Представлены основные характеристики предлагаемой СУДН, полученные по результатам математического моделирования. Определены основные характеристики в части достижимой точности ориентации и стабилизации КА, а так же параметров движения спутника по орбите. Дано описание возможностей разработанного программно-алгоритмического обеспечения БЦ ЦУП.

## **TRAFFIC CONTROL SYSTEM AND NAVIGATION. PROJECT IKI01**

*P. Rozin*

NPP Dauria

The report considered the possibility of creating attitude control and determination system (LEO) spacecraft based on Dauria Aerospace solutions from spacecraft DX-1 and MKA-N. Showed main measurement devices and actuators LEO scientific spacecraft with medium class accuracy ADCS system. Presented main parameters of ADCS system (accuracy of orientation and stabilization and orbit determination accuracy) for spacecraft on LEO orbit. Considered questions about ballistic software for ground control center.

## **СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ. ПРОЕКТ ИКИ01**

*И. Соболев*

Научно-производственное предприятие «Даурия» (ООО «НПП Даурия»)

В настоящее время в НПП «Даурия» проходят завершающий этап работы по созданию КА DX1, предназначенного для решения задач дистанцион-

ного зондирования Земли (ДЗЗ), а также разрабатываются другие миссии, запуск которых ожидается в 2014 г.

В предлагаемом докладе анализируются условия функционирования научного аппарата по проекту «ИКИ-01», и на основе сопоставления полученных результатов с требованиями полезной нагрузки формируются выводы о возможности реализации планируемой миссии с помощью космического аппарата, созданного на основе элементной базы КА DX-1 и других миссий НПП «Даурия». При этом первоочередное внимание уделяется вопросам энергоснабжения КА и выработке конструктивных решений, обеспечивающих требуемый для непрерывного функционирования научной аппаратуры уровень мощности системы энергоснабжения (СЭС).

## **POWER SUPPLY SYSTEM. PROJECT IKI01**

*I. Sobolev*

NPP Dauria

Currently the NPP Dauria proceed the final stage of the creation of spacecraft DX1, designed to meet the challenges of remote sensing, as well as other missions are developed, which is expected to launch in 2014.

In this report the conditions for the functioning of scientific apparatus IKI-01 are analyzed. By comparing the results obtained with the requirements of the payload formed conclusions about the feasibility of the planned missions using element base of DX-1 and other missions, designed by NPP Dauria. Priority was given to power budget and developing of constructive solutions to ensure required for the continued operation of scientific equipment power level.

## **ВАЖНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ**

*В. Ф. Туганов*

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Степенные спектры атмосферных гамма-всплесков на частотах больше 10 МэВ ( $J(\nu) \propto 1/\nu^\beta$ , где  $\beta = 2,6..4,1$ ) имеют при тормозном излучении ту же форму энергетических распределений, что и излучающие их электроны с энергиями  $\xi > \nu \gg 1$  ( $f(\xi) \propto 1/\xi^\beta$ ,  $\xi$  и  $\nu$  — в долях среднего значения энергии электрона  $D \approx 10$  МэВ). А потому эти спектры, несомненно, заслуживают внимания при проектировании экспериментов по проекту «Чибис-М». Напротив, универсальный, от разных источников спектр  $J(\nu) \propto 1/\nu$  при  $\nu \ll 1$  (частоты ниже 10 МэВ), — отражая лишь свойство тормозного излучения и подтверждая его как механизм, — никак не связан ни с формой (видом) функции распределения электронов  $f(\xi) \propto 1/\xi^\beta \exp(-(\beta - 2)/\xi)$ , ни с её параметрами. Хотя информация о них может содержаться здесь — в наблюдаемых спектрах. Например, — данные о значениях  $\beta$  за время вспышки. Тогда зависимость  $\beta = \beta(d) = 3 + 1/d \geq 3$  (случай  $\beta < 3$  тоже рассмотрен) от коэффициента вариации энергии электронов  $d$  может показать, как он меняется за это время.



Что, в свою очередь, следует из характера взаимодействия пучка со средой (Туганов В.Ф. Энергетические спектры электронов и гамма-частиц в грозových разрядах // Международное совещание «Первые результаты проекта «Чибис-М». Представительство «Интеркосмос» ИКИ РАН, 13–15 февраля 2013, Таруса, Россия: тез. 2013. С. 48–49). Если электронный пучок теряет свою энергию, то коэффициент  $d$  растёт ( $d \rightarrow \infty$ ), и энергетические спектры электронов и гамма-частиц стремятся к распределению Парето с  $\beta \rightarrow 3$ . Если пучок, наоборот, увеличит энергию, то коэффициент  $d$ , стремясь к нулю ( $d \rightarrow 0$ ), приведёт к значению  $\beta \gg 1$ .

Поэтому, если есть только один механизм формирования пучков, то наблюдаемый диапазон параметра  $\beta = 3...4,1$  может соответствовать значениям коэффициента  $d$  в разное время его эволюции. Что, несомненно, позволит выявить природу этого механизма и понимание эволюции энергетических спектров электронов и гамма-частиц в грозových разрядах.

Туганов Валерий Фёдорович — главный специалист, [princet@rambler.ru](mailto:princet@rambler.ru), 8-916 0988247

### IMPORTANCE OF THE OBSERVATIONS HIGH-FREQUENCY GAMMA SPECTRUM IN LIGHTNING DISCHARGES

*V. F. Tuganov*

Space Research Institute of Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

Spectra of gamma-ray bursts at frequencies greater than 10 MeV ( $J(\nu) \propto 1/\nu^\beta$ , where  $\beta = 2.6...4.1$ ) have the same shape as the distribution of emitting electrons with energies  $\xi > \nu \gg 1$  ( $f(\xi) \propto 1/\xi^\beta$ ,  $\xi$  and  $\nu$  — in fractions of the mean electron energy  $D \approx 10$  MeV). Therefore these spectra are undoubtedly are noteworthy when designing of experiments for the project Chibis-M. In contrast, universal, from various sources spectrum  $J(\nu) \propto 1/\nu$  at  $\nu \ll 1$  (at frequencies below 10 MeV) — reflecting a property of bremsstrahlung and affirming it as a mechanism — not affiliated nor with view function of electron distribution  $f(\xi) \propto 1/\xi^\beta \exp(-(\beta - 2)/\xi)$ , nor with its the parameters. Although the information about them may be contained here — in observed spectra For example, — the data about values  $\beta$  during out-breaks. Then the dependence of the parameter  $\beta = \beta(d) = 3 + 1/d \geq 3$  on the coefficient of variation  $d$  can show how he is changing during this time (variant, when  $\beta < 3$  also investigated).

Which in turn, follows from the nature of the beam interaction with a medium (Туганов В.Ф. The energy spectra of electrons and gamma particles in lightning discharges // International Meeting “The First Results of the Project Chibis-M”. Representation “Intercosmos” IKI RAN, 13–15 Feb. 2013, Tarusa, Russia: Abstr. 2013. P. 48–49 (in Russian)). If the beam loses the energy (power  $w < 0$ ), then the coefficient  $d$  increases ( $d \rightarrow \infty$ ), and the energy spectra of electrons and gamma particles shall endeavor to the Pareto distribution with  $\beta \rightarrow 3$ . If the electron beam, on the contrary, will increase its energy, then the coefficient  $d$ , tending toward zero ( $d \rightarrow 0$ ) will lead to the parameter  $\beta \gg 1$ .

Therefore, if there is only one formation mechanism of electron beams, then the observed range of parameter  $\beta = 3...4.1$  may correspond to values of the coefficient  $d$  at different times of its evolution. This undoubtedly will clarify the nature of this mechanism and the understanding of evolution the energy spectra of electrons and gamma particles in lightning discharges.

## СОДЕРЖАНИЕ

First results on CHIBIS VLF monitoring operation in Space Weather application <i>Csaba Ferencz, János Lichtenberger, Péter Steinbach, Péter Szegedi, Melinda Dósa V.</i> .....	10
Results of waveform analysis in CHIBIS SAS3 burst VLF records <i>Péter Steinbach, Csaba Ferencz, János Lichtenberger, Orsolya Ferencz E., Péter Szegedi</i> .....	11
On-board Data Acquisition and Control Computer System for Space Applications <i>János Nagy, Sándor Szalai, András Balázs, Kálmán Balajthy, Attila Baksa, Bálint Sódor, István Horváth, Zoltán Pálos.</i> .....	11
Конструкторско-технологические результаты лётных испытаний микроспутника «Чибис-М» <i>Ангаров В. Н., Калужный А. В., Козлов В. М., Крючков А. А., Летуновский В. В., Новиков А. А., Наганов С. А., Шестаков С. А.</i> .....	12
Синхронное исследование дифференциального распределения объёмной плотности индуцированного космическими лучами электрического заряда в материале микроэлектроники в полётных условиях МКС и микроспутника «Чибис-АИ» (предложение эксперимента) <i>Анохин М. В., Галкин В. И., Дитлов В. А., Дубов А. Е., Королёв А. Г., Макарычев С. В.</i> .....	14
О возможности использования верхних ступеней ракет-носителей «Союз» для проведения краткосрочных экспериментов в космосе <i>Белоконов И. В., Тимбай И. А.</i> .....	17
Основные результаты эксперимента с прибором РГД на микроспутнике «Чибис-М» <i>Богомолов А. А., Богомолов В. В., Гарипов Г. К., Свертилов С. И., Яшин И. В.</i> .....	18
Опыт работы цифровой фотокамеры на микроспутнике «Чибис-М» <i>Бондаренко А. В., Докучаев И. В., Котцов В. А.</i> .....	20
Фотореалистичная трёхмерной модель микроспутника «Чибис-М» и визуализация вывода его на орбиту средствами компьютерной графики и анимации <i>Васюник А. Е.</i> .....	21
Обзор космических экспериментов НИИЯФ МГУ «Татьяна», «Компас-2», «Татьяна-2», «Чибис-М» по изучению свечения ночной атмосферы и транзитных оптических явлений. От имени исследовательских групп «Татьяна», «Компас-2», «Татьяна-2», «Чибис-М» <i>Гарипов Г. К.</i> .....	23
Короткие внутриоблачные разряды в тропосфере Земли <i>Готлиб В. М., Долгоносоев М. С., Каредин В. Н.</i> .....	24
Спорадические микроразряды и высокочастотный радиосум в верхней атмосфере Земли <i>Готлиб В. М., Долгоносоев М. С., Каредин В. Н.</i> .....	24
Излучение линий высоковольтных передач, обнаруженные микроспутником «Чибис-М» <i>Дудкин Д. Ф., Проненко В. А.</i> .....	25

Структурные характеристики электрического поля в грозовой облачности <i>Ерохин Н. С., Артёха С. Н.</i> .....	27
Моделирование воздействий высотных разрядов на химический состав и излучение мезосферы <i>Евтушенко А. А., Кутерин Ф. А., Мареев Е. А., Давыденко С. С.</i> .....	29
Методические аспекты измерений электрической компоненты КНЧ-ОНЧ-излучений на микроспутнике «Чибиc-М» <i>Климов С. И.</i> .....	30
Программа наземных экспериментов, скоординированных с МС «Чибиc-М» <i>Климов С. И., Козлов И. В., Рябова А. Д., Корепанов В. Е., Чаба Ференц.</i> ....	36
Анализ опыта эксплуатации спутника «Чибиc» как этап подготовки проекта космического аппарата для исследования процессов генерирования излучений в атмосфере Земли <i>Ледков А., Эйсмонт Н., Назиров Р., Назаренко А., Назаров В.</i> .....	38
Система энергоснабжения микроспутника «Чибиc», опыт эксплуатации и рекомендации на будущие микроспутники <i>Лизунов А. А.</i> .....	40
Что могли бы дать микроспутники для исследования глобальной электрической цепи? <i>Мареев Е. А.</i> .....	41
Наземный сегмент проекта «Чибиc-М»: полученные уроки после двух лет полёта <i>Назаров В. Н., Назиров Р. Р., Зеленый Л. М., Ангаров В. Н., Батанов О. В., Боднар Л., Эйсмонт Н. А., Готлиб В. М., Каредин В. Н., Климов С. И., Коротков Ф. В., Козлов И. В., Ледков А. А., Мельник А. П., Папков А. П., Родин В. Г., Рябова А. Д., Шмеллауэр Я., Суханов А. А., Третьяков А. Е.</i> .....	41
К модели глобальной генерации транзиентных энергичных явлений в атмосфере <i>Панасюк М. И.</i> .....	43
Малая космическая платформа для реализации космических экспериментов. Проект ИКИ01 <i>Петров В. Л.</i> .....	45
УНЧ-излучения в верхней ионосфере по данным электрического датчика микроспутника «Чибиc-М» <i>Пилипенко В., Дудкин Д., Корепанов В., Климов С.</i> .....	46
Система управления движением и навигации. Проект ИКИ01 <i>Розин П.</i> .....	47
Система энергоснабжения. Проект ИКИ01 <i>Соболев И.</i> .....	47
Важность наблюдений высокочастотного спектра гамма-излучения в грозовых разрядах <i>Туганов В. Ф.</i> .....	48

---

Для заметок

---

---

Для заметок

---

---

Для заметок

---

---

**Для заметок**

---

055(02)2

Ротапринт ИКИ РАН  
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32

Подписано к печати 29.01.2014

Заказ 3328

Формат 70×108/32

Тираж 50

2,33 уч.-изд. л.