

СПЕЦИФИКА КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МИКРОСПУТНИКОВЫХ ПЛАТФОРМАХ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В ИНФРАСТРУКТУРУ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

С. И. КЛИМОВ, В. Н. АНГАРОВ, В. М. ГОТЛИБ, М. С. ДОЛГОНОСОВ,
А. В. КАЛЮЖНЫЙ, И. В. КОЗЛОВ, В. Н. НАЗАРОВ, Д. И. НОВИКОВ, В. Г. РОДИН

*Институт космических исследований Российской академии наук, 117997, Москва, Россия
E-mail: sklimov@iki.rssi.ru*

Описан комплекс работ, выполняемых ИКИ РАН в области фундаментальных космических исследований. Предложены решения, обеспечившие создание комплекса научной аппаратуры, включающего бортовую систему сбора и передатчик информации, а также экспериментальных микроспутниковых платформ, выводимых на орбиту в инфраструктуре Российского сегмента Международной космической станции (МКС). Реализована баллистическая схема увеличения высоты орбиты транспортно-грузового корабля „Прогресс“ после выполнения им основной задачи — доставки грузов на МКС. Для реализации, обработки информации и обеспечения дальнейшего доступа к ней создана наземная инфраструктура, использующая обычные интернет-каналы и позволяющая обслуживать иные подобные проекты.

Ключевые слова: микроспутник, бортовая аппаратура, верхняя атмосфера, ионосфера, грозовые разряды, гамма-излучение, радиоизлучение, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение

Последнее десятилетие, благодаря прежде всего космическим исследованиям, привнесло серьезные изменения в понимание учеными природы атмосферных грозовых разрядов (молний), хотя разнообразные проявления атмосферного электричества изучаются не одну сотню лет. Новый физический процесс — „земные гамма-всплески“ (ТГФ), был обнаружен в начале 1990-х гг. космическими астрофизическими обсерваториями [1]. Единичные космические эксперименты и теоретические модели [2—4] показали, что молниевые разряды сопровождаются исключительно мощными гамма-всплесками (энергия импульсов достигает десятков килоджоулей) и радиочастотными импульсами, которые создают радиоизлучение в широкой полосе частот.

Исследование комплекса этих явлений стало возможным только в результате разработки и внедрения инновационных решений [5].

Для изучения новых физических процессов при высотных атмосферных грозовых разрядах и механизмов их подготовки необходимы комплексные исследования гамма-излучений, инфракрасного (ИК) и (УФ) ультрафиолетового излучения, электромагнитных волн в широком диапазоне частот с беспрецедентно высоким (менее долей микросекунд) временным разрешением.

На рис. 1 представлена диаграмма распределения приборов комплекса научной аппаратуры (КНА) „Гроза“ по спектру грозовых электромагнитных излучений. Пунктирные стрелки обозначают процессы регистрации радиочастотным анализатором (РЧА) молниевых разрядов, выработки РЧА триггера события, выдачи триггера остановки кольцевой памяти приборов; сплошные стрелки — сбор информации в память, жирная — сброс телеметрической информации через передатчик (1 Мбит/с) на Землю.

Так как гамма-кванты, ИК- и УФ-излучение сильно поглощаются в атмосфере, возможности наземных исследований подобных процессов сильно ограничены. Оптимально их изучать с помощью низкоорбитальных космических аппаратов.

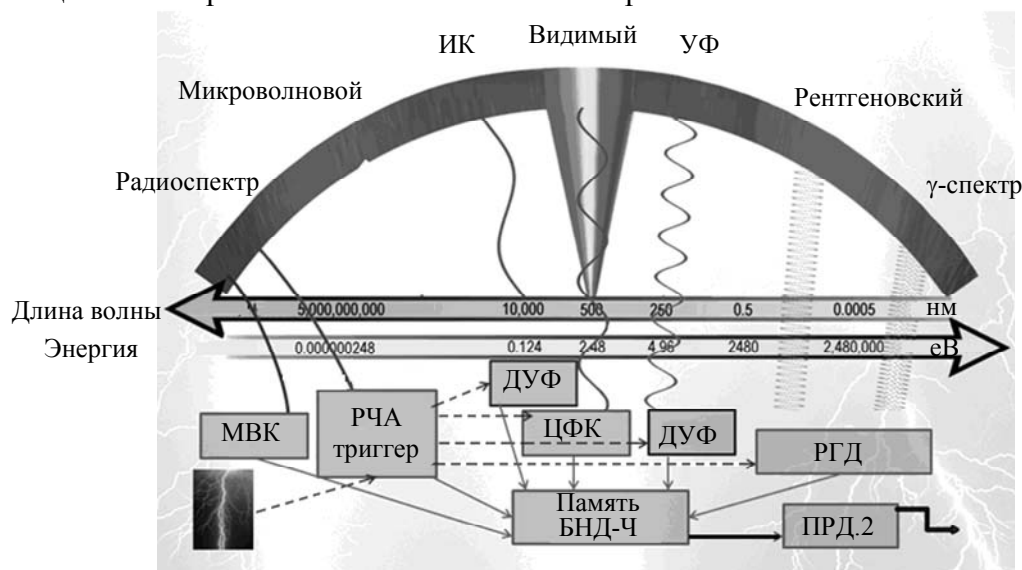


Рис. 1

Уникальная по ширине спектра исследуемых электромагнитных излучений (см. рис. 1), первая в мире целевая обсерватория [6], была создана в рамках Программы Президиума Российской академии наук в ИКИ РАН в кооперации с другими академическими и университетскими организациями, в том числе международными (Венгрия, Украина), в виде КНА „Гроза“, включающего бортовую систему сбора информации и передатчик научной информации. Масса КНА „Гроза“ 10,8 кг и электропотребление ~15 Вт позволяют разместить его на микроспутниковой платформе (МСП) [7].

Состав научной аппаратуры КНА „Гроза“ [8]: детектор рентгеновского и гамма-излучения (РГД), ультрафиолетовый и инфракрасный детекторы (ДУФ), радиочастотный анализатор (РЧА), оптическая камера (ЦФК), магнитно-волновой комплекс (МВК), блок накопления информации (БНД-Ч), передатчик научных данных (ПРД.2).

Инновационным решением при разработке МСП стало создание общего базового несущего конструктива-трансформера „Чибис-М“ (на рис. 2 представлен общий вид „Чибис-М“; элементы солнечной батареи из арсенида галлия, КПД 25 %; никель-металлгидридная аккумуляторная батарея) [6]. Основной особенностью этого решения стало то, что микроспутник рассматривался как единый „летающий прибор“, в котором МСП способствует реализации целей КНА „Гроза“ по фундаментальным комплексным исследованиям процессов при высотных атмосферных грозовых разрядах.

Несмотря на малый размер (~40 кг) и низкую стоимость „Чибис-М“ [9], на нем удалось разместить как КНА „Гроза“, так и комплекс служебной аппаратуры, включающий систему трехосной ориентации и стабилизации; систему электропитания (солнечные батареи и аккумулятор); средства навигации; радиотехническую систему для приема команд и передачи служебной информации; элементы обеспечения теплового режима; управляющий компьютер.

МСП помещается в разработанный универсальный транспортно-пусковой контейнер, ТПК (рис. 3, а — загрузка „Чибис-М“ в ТПК; б — ТПК на Байконуре; в — ТПК в грузовом отсеке „Прогресс М-13М“).

ТПК позволяет безопасно доставлять МСП на Российский сегмент (РС) МКС, проводить на РС МКС с ней необходимые подготовительные действия с помощью экипажа (рис. 4). ТПК обеспечивает отделение с заданной скоростью МСП от транспортно-грузового корабля (ТГК) „Прогресс“ и выводит МСП на автономную орбиту.

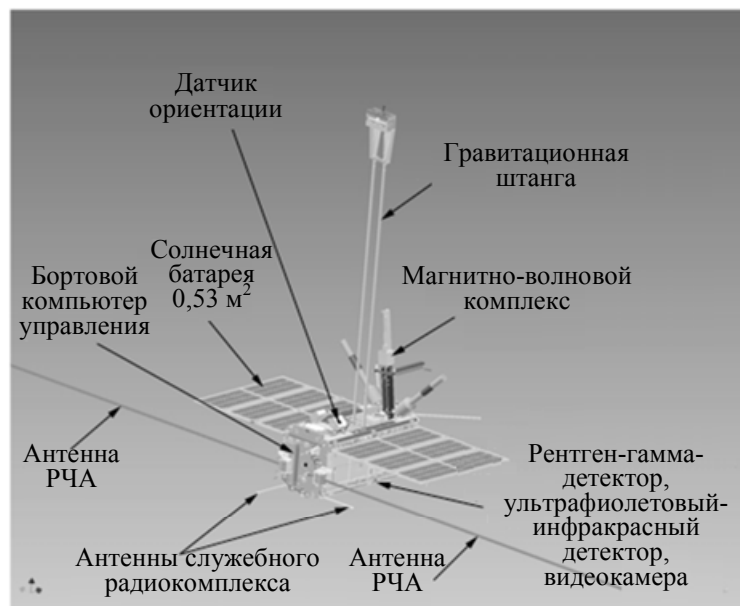


Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

Другим инновационным решением была баллистическая схема (рис. 5) увеличения высоты орбиты ТГК „Прогресс“ после выполнения им основной задачи — доставки грузов на МКС.

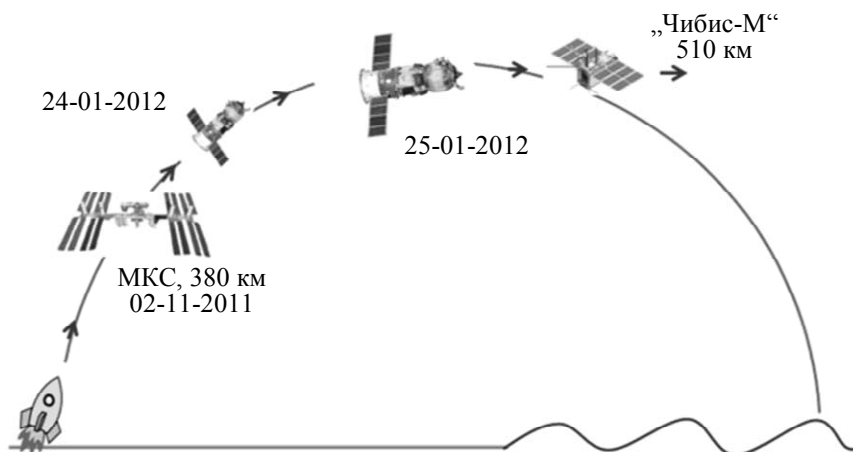


Рис. 5

Расчеты и моделирование показали, что использование запасов топлива дает возможность поднять высоту орбиты микроспутника до ~500 км. Такая баллистическая схема обеспечивает значительный экономический эффект и позволяет в будущем, в определенных пределах, варьировать высоту орбиты микроспутников, увеличивать время их жизни на орбите до входа в плотные слои атмосферы.

Телевизионной камерой, установленной на „Прогресс М-13М“, была осуществлена в режиме реального времени в течение ~6 мин трансляция процессов: выхода „Чибис-М“ из ТПК, раскрытия всех механических систем (солнечные панели, антенны датчики научной аппаратуры и др.), отхода от ТГК на автономную орбиту.

Следующей важнейшей частью решения поставленной задачи являлась разработка полнофункционального комплекса МСП „Чибис-М“ [9], обладающего следующими характеристиками.

Основные характеристики микроспутника „Чибис-М“

Общая масса.....	~40 кг
Научная нагрузка.....	10,8 кг
Служебные системы.....	12,6 кг
Ориентация	на Солнце и в надир с использованием маховиков, магнитометра, электромагнитов, гравитационной штанги (запасной вариант)
Навигация и время.....	GPS – GLONASS
Электропитание	солнечные батареи, 50 Вт
Высота орбиты.....	~500 км
Гарантийный срок активного существования.....	1 год

Такой комплекс выполняет функции целевой полезной нагрузки. В процессе создания „Чибис-М“ отработаны циклы испытаний и схемы управления полетом микроспутника, которые могут быть использованы для будущих проектов.

КНА „Гроза“ при проведении измерений на орбите обеспечивал

- поиск мощных вспышек гамма-излучения от высотных молний [10];
- определение высотного распределения зарядов облако—поверхность Земли и облако—облако [11];
- исследование узких биполярных радиоимпульсов (НБР) [11];
- регистрацию фона радиоизлучений в диапазоне 20—50 МГц [11];

- регистрацию всплесков УФ- и ИК-излучения [12];
- оценку электромагнитных параметров космической погоды в диапазоне частот $1 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^4$ Гц [13, 14].

Микроспутники типа „Чибис-М“ могут нести различную полезную нагрузку народно-хозяйственного, военного или научного назначения [15]. Реализованные решения по доставке на орбиту микроспутников экономически и технически эффективны.

Обязательным элементом спутникового комплекса является наземный сегмент [16], структура которого приведена на рис. 6. С „Чибис-М“ прием информации проводился не только в России, но также зарубежными партнерами в Чехии и Венгрии. Для регистрации, обработки информации и обеспечения дальнейшего доступа к ней была создана наземная инфраструктура, использующая обычные интернет-каналы и позволяющая обслуживать и другие подобные проекты [17].

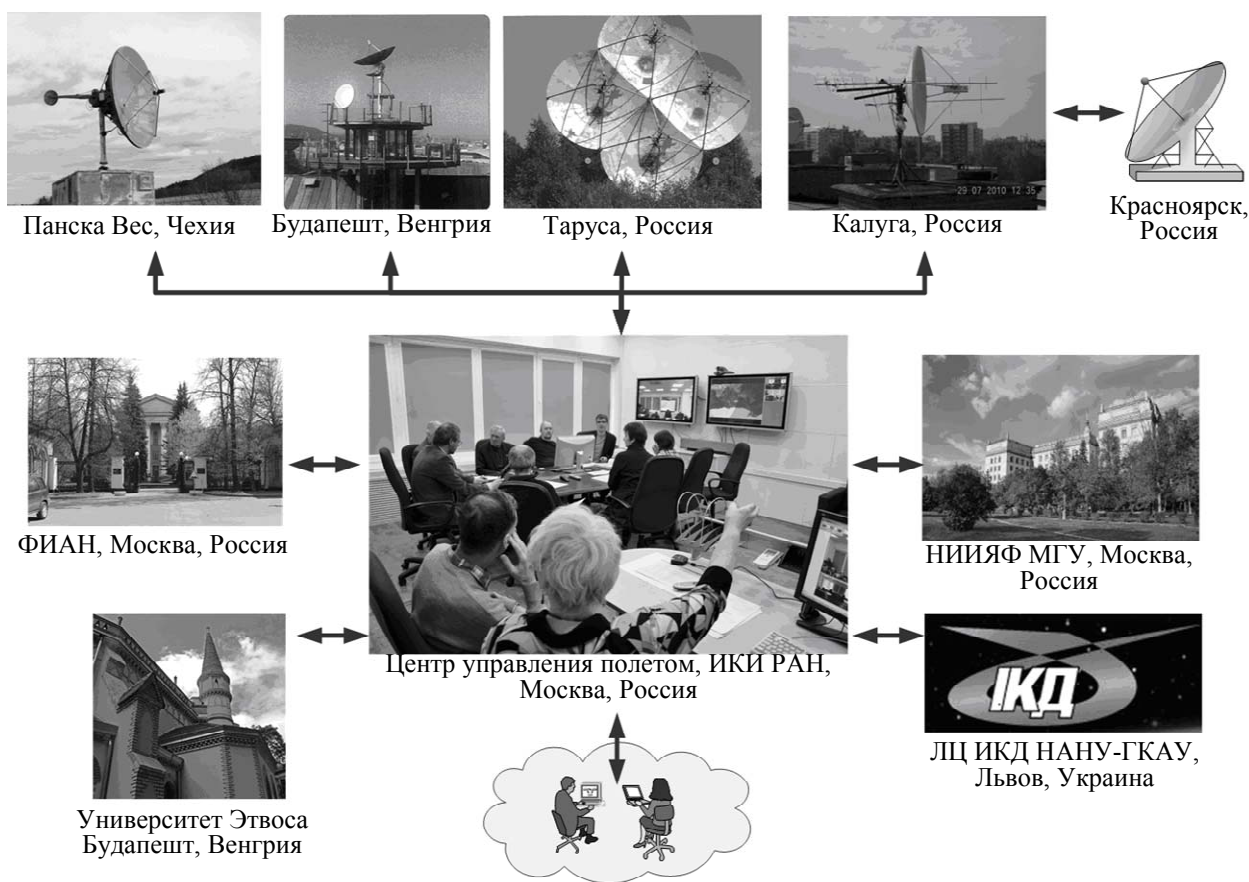


Рис. 6

Полученные данные доступны на сервере ИКИ РАН всем российским и зарубежным исследователям, участвовавшим в проекте. Основные результаты опубликованы в работах [11—15, 17].

Работа поддержана грантом РФФИ 13-05-12102 офи_м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двайер Д., Смит Д. Физика атмосферы // В мире науки. 2012. С. 30—35.
2. Gurevich A. V., Milikh G. M., Roussel'Dupre' R. Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm // Phys. Lett. A. 1992. Vol. 165. P. 463—468.
3. Гуревич А. В., Зыбин К. П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН. 2001. Т. 171. С. 1177—1199.

4. Gurevich A. V., Duncan L. M., Medvedev Y. V., Zybin K. P. Radio emission due to simultaneous effect of runaway breakdown and extensive atmospheric showers // *Phys. Lett. A*. 2002. Vol. 301, N 3—4. P. 320—326.
5. Klimov S., Novikov D., Korepanov V. et al. The study of electromagnetic parameters of space weather, microsatellite CHJBIS'M // *Small Satellites for Earth Observation. New Developments and Trends*. Berlin—Heidelberg: Springer Verlag, 2010. P. 95—102.
6. Zelenyi L. M. et al. Micro satellite “Chibis” — universal platform for development of methods of space monitoring of potentially dangerous and catastrophic phenomena // *Selected Proc. of the 5th Intern. Symp. Of the Intern. Academy of Astronautics*. Berlin, April 4—8, 2005. Berlin—New York: Walter de Gruyter, 2005. P. 443—451.
7. Гуревич А. В., Зелёный Л. М., Климов С. И. Научные задачи миссии “Чибиc-M” // Миссия “Чибиc-M”: Сб. тр. выездного семинара. Сер. “Механика, управление и информатика” / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 7—26.
8. Миссия “Чибиc-M”. Сборник трудов выездного семинара, серия “Механика, управление и информатика”. Таруса, Россия, 24—27 февраля 2009 [Электронный ресурс]: <http://www.cosmos.ru/books/2009chibis_m.pdf>.
9. Зелёный Л. М., Гуревич А. В., Климов С. И. и др. Академический микроspутник Чибиc-M // *Космические исследования*. 2014. Т. 52, № 2. С. 93—105.
10. Panasyuk M. I. et al. Transient Luminous Event Phenomena and Energetic Particles Impacting the Upper Atmosphere: Russian Space Experiment Programs. Transient luminous event phenomena and energetic particles impacting the upper atmosphere: Russian space experiment programs // *J. of Geophysical Research*. 2010. Vol. 115. DOI: 10.1029/2009JA014763, 2010.
11. Dolgonosov M. S., Gotlib V. M., Vavilov D. I., Zelenyi L. M., Klimov S. I. “Solitary” Trans-Ionospheric Pulse Pairs onboard of the microsatellite “Chibis-M” // *Advances in Space Research*. 2015. Vol. 56, N 6. P. 1177—1184.
12. Гарипов Г. К., Свертилов С. И., Яшин И. В. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором ДУФ // Миссия “Чибиc-M”: Сб. тр. выездного семинара. Сер. “Механика, управление и информатика” / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 58—62.
13. Dudkin D., Pilipenko V., Korepanov V., Klimov S., Holzworth R. Electric field signatures of the IAR and Schumann resonance in the upper ionosphere detected by Chibis-M microsatellite // *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2014. N 117. P. 81—87.
14. Dudkin F., Korepanov V., Dudkin D., Pilipenko V., Pronenko V., Klimov S. I. Electric field of the power terrestrial sources observed by microsatellite Chibis-M in the Earth’s ionosphere in frequency range 1—60 Hz // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42, N 7. DOI: 10.1002/2015GL064595.
15. Зелёный Л. М., Климов С. И., Ангаров В. Н., Назаров В. Н. и др. Проект МИКРОСПУТНИК „ЧИБИC-M“. Опыт создания и реализации // *Исследование солнечно-земных связей на микро-, нано- и пикоспутниках: Матер. науч. сессии Секции солнечно-земных связей Совета по космосу РАН*. Сер. „Механика, управление и информатика“ М.: ИКИ РАН, 2015. С. 91—118 [Электронный ресурс]: <<http://www.cosmos.ru/books/2015petrukovich.pdf>>.
16. Nazarov V., Nazirov R., Zelenyi L., Angarov V. et al. Ground segment and operations for microsatellite “Chibis-M”: Learned lessons, current status and prospective evolutions // *Small Satellites for Earth Observation. Digest of the 9th Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA)*. Berlin, April 8—12, 2013. Berlin: Wissenschaft und Technik Verlag, 2013. P. 217—220.
17. Зелёный Л. М., Климов С. И., Ангаров В. Н. и др. Результаты и перспективы фундаментальных космических исследований на микроspутниках, реализуемых в инфраструктуре МКС // *The 2nd Intern. Conf. “International Space Station. Research, Investigations and Experiments”*. April 09—11, 2015. SRI RAS, Moscow. P. 200 [Электронный ресурс]: <http://knts.tsniimash.ru/ru/src/iss_2015.pdf>.

Сведения об авторах

- Станислав Иванович Климов** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Институт космических исследований Российской академии наук; ведущий научный сотрудник;
E-mail: sklimov@iki.rssi.ru
- Вадим Николаевич Ангаров** — Институт космических исследований Российской академии наук; заместитель директора; E-mail: angarov@skbkp.tarusa.ru
- Владимир Михайлович Готлиб** — канд. техн. наук; Институт космических исследований Российской академии наук; ведущий научный сотрудник; E-mail: gotlib@mx.iki.rssi.ru

- Максим Сергеевич Долгоносов** — канд. физ.-мат. наук; Институт космических исследований Российской академии наук; ведущий научный сотрудник; E-mail: rus-sia.on.mars@gmail.com
- Анатолий Викторович Калюжный** — Институт космических исследований Российской академии наук; начальник сектора; E-mail: avk@skbkp.tarusa.ru
- Игорь Владимирович Козлов** — Институт космических исследований Российской академии наук; начальник лаборатории; E-mail: igkozlov@iki.rssi.ru
- Владимир Николаевич Назаров** — Институт космических исследований Российской академии наук; начальник отдела; E-mail: Vladimir.Nazarov@Cosmos.ru
- Денис Игоревич Новиков** — Институт космических исследований Российской академии наук; ведущий конструктор; E-mail: dnovikov@iki.rssi.ru
- Вячеслав Георгиевич Родин** — Институт космических исследований Российской академии наук; помощник директора; E-mail: V.rodin2009@yandex.ru

Рекомендована межвузовской
кафедрой космических исследований

Поступила в редакцию
14.11.2015 г.

Ссылка для цитирования: Климов С. И., Ангаров В. Н., Готлиб В. М., Долгоносов М. С., Калюжный А. В., Козлов И. В., Назаров В. Н., Новиков Д. И., Родин В. Г. Специфика космических исследований на микроспутниковых платформах, интегрированных в инфраструктуру Российского сегмента МКС // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 6. С. 435—442.

**THE SPECIFICS OF SPACE RESEARCH ON MICRO-SATELLITE PLATFORMS
INTEGRATED INTO THE INFRASTRUCTURE OF RUSSIAN SEGMENT OF THE ISS**

**S. I. Klimov, V. N. Angarov, V. M. Gotlib, M. S. Dolgonosov,
A. V. Kalyuzhny, I. V. Kozlov, V. N. Nazarov, D. I. Novikov, V. G. Rodin**

*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
117342, Moscow, Russia
E-mail: sklimov@iki.rssi.ru*

A complex of works carried out at Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences in the field of fundamental space research is reviewed. Suggested solutions ensure the creation of complex scientific instruments, including an onboard acquisition system and a transmitter of information, and experimental micro-satellite platforms into orbit in the infrastructure of the Russian segment of the International space station (ISS). A ballistic scheme of increasing the height of the orbit of the transport cargo ship "Progress" after fulfilling the main task – delivery of cargo to the ISSP – is implemented. A ground infrastructure which uses the common online channels is created for information acquisition, processing, and providing further access to the data; the infrastructure allows serving other projects too.

Keywords: micro-satellite, onboard equipment, upper atmosphere, ionosphere, lightning discharges, gamma-radiation, radio, ultraviolet radiation, x-rays

Data on authors

- Stanislav I. Klimov** — Dr. Sci., Professor; Space Research Institute of the RAS; Leading Researcher; E-mail: sklimov@iki.rssi.ru
- Vadim N. Angarov** — Space Research Institute of the RAS; Deputy Director; E-mail: angarov@skbkp.tarusa.ru
- Vladimir M. Gotlib** — PhD; Space Research Institute of the RAS; Leading Researcher; E-mail: gotlib@mx.iki.rssi.ru
- Maxim S. Dolgonosov** — PhD; Space Research Institute of the RAS; Leading Researcher; E-mail: rus-sia.on.mars@gmail.com
- Anatoly V. Kalyuzhny** — Space Research Institute of the RAS; Head of Sector; E-mail: avk@skbkp.tarusa.ru
- Igor V. Kozlov** — Space Research Institute of the RAS; Head of Laboratory; E-mail: igkozlov@iki.rssi.ru
- Vladimir N. Nazarov** — Space Research Institute of the RAS; Head of Department; E-mail: Vladimir.Nazarov@Cosmos.ru
- Denis I. Novikov** — Space Research Institute of the RAS; Leading Designer; E-mail: dnovikov@iki.rssi.ru
- Vyacheslav G. Rodin** — Space Research Institute of the RAS; Assistant Director; E-mail: V.rodin2009@yandex.ru

For citation: *Klimov S. I., Angarov V. N., Gotlib V. M., Dolgonosov M. S., Kalyuzhny A. V., Kozlov I. V., Nazarov V. N., Novikov D. I., Rodin V. G.* The specifics of space research on micro-satellite platforms integrated into the infrastructure of Russian segment of the ISS // *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2016. Vol. 59, N 6. P. 435—442 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-6-435-442