

# Глобальный мониторинг Земли и планет солнечной системы с помощью сетевых структур на основе микро и нано космических аппаратов

А.Н. Липатов<sup>1</sup>, А.К. Тоньшев<sup>2</sup>, В.Ю. Горетов<sup>2</sup>, В.М. Готлиб<sup>1</sup>, В.Н. Каредин<sup>2</sup>,  
В.М. Линкин<sup>1</sup>, В.С.Макаров<sup>1</sup>, Г.В. Захаркин<sup>3</sup>, Л.И., Хлюстова<sup>1</sup>, Н.А. Эйсмонт<sup>1</sup>,  
О.Н. Андреев<sup>1</sup>, С.А. Антоненко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт космических исследований РАН,  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32  
E-mail: slip@iki.rssi.ru;*

<sup>2</sup>*Специальное конструкторское бюро космического приборостроения  
Института космических исследований РАН,  
249810 Калужская обл., г. Таруса  
E-mail: vgoretov@skbkp.tarusa.ru;*  
<sup>3</sup>*ЗАО СП "Интерастро",  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32  
E-mail: eslab@mail.ru*

К сегодняшнему дню намечилось серьезное отставание России в исследовании планет и малых тел солнечной системы с помощью космических аппаратов. Как восстановить уровень исследований, не имея эквивалентного финансирования и научно-технического потенциала, каким он был в СССР? Это главный вопрос в области космических исследований. Решение этой задачи при имеющихся ресурсах не позволяет сравнительно в короткий срок снять эту проблему. Современные спутники имеют массу от сотен килограммов до нескольких тонн. Стоимость каждого составляет десятки и сотни миллионов долларов. Отсутствие достаточного финансирования тормозит исследования. Решение задачи – создание недорогих малогабаритных спутников, таких как микро-спутники и нано-спутники, имеющих массу не более десятков килограммов, которые по силам создавать одному или группе институтов на базе собственных ресурсов. Разработка таких микро-спутников и нано-спутников позволит осуществить прорыв в данной отрасли и восстановить в значительной мере уровень исследований. Создание сети таких спутников на орбите позволит проводить глобальный мониторинг Земли и планет солнечной системы. В представленной работе приведены результаты, достигнутые лабораторией «Малые аппараты для исследования планет солнечной системы» института космических исследований в данном направлении. В работе представлены разработки в части архитектуры малых аппаратов, приборов и программного обеспечения, которые могут быть использованы при создании микро-спутников и нано-спутников. Это приборы, обеспечивающие функции управления, обеспечения энергией, навигации и ориентации космического аппарата и их программное обеспечение.

**Ключевые слова:** Малые космические аппараты – новый взгляд

Российская Федерация ратифицировала Рамочную Конвенцию ООН об изменении климата (РКИК ООН) 4 ноября 1994 г. В 2004 году Российская Федерация ратифицировала Киотский протокол к РКИК. В связи с ратификацией, в Сообщение [1] была включена информация о создаваемой российской системе. Система включала оценку антропогенных выбросов из источников [2] и абсорбции поглотителями [3] всех парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, о формируемом реестре углеродных единиц для учета введения в обращение, хранения, передачи, приобретения единиц сокращения выбросов, сертифицированного сокращения выбросов и установленного количества. В качестве приложения в сообщение включен Доклад о глобальных системах наблюдения за изменением климата, впервые представляемый в качестве отдельного документа. В силу природно-географических особенностей Российской Федерации (более 60% ее территории находятся в зоне вечной мерзлоты) особое внимание в стране уделяется изучению регио-

нов, сфер деятельности, природных, промышленных и других объектов, наиболее уязвимых в результате климатических изменений. Осуществляется разработка мер по адаптации отраслей экономики и общества к изменениям климата. Информация по этой тематике также включена в «Четвертое национальное сообщение». Методическое руководство подготовкой Национального сообщения осуществлялось Институтом глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. Результаты можно свести к следующему резюме – главным направлением являются народно-хозяйственные задачи и международные обязательства по загрязнению атмосферы Земли.

Для решения этих задач необходимо проводить широкие исследования:

- вредных выбросов и их изменений с целью создания прогноза глобального воздействия на климат;
- климата и его изменения с целью создания достоверного его прогноза;
- влияния климата на сельское хозяйство, водные ресурсы, топливно-энергетический комплекс, лесное хозяйство, районы вечной мерзлоты и людей;

Столь сложный комплекс задач [4] сейчас решается с помощью систематических наблюдений, к которым относятся

- метеорологическое и атмосферное наблюдение;
- океанографические наблюдения;
- наблюдения за сушей;
- наблюдения из космоса.

Все наземные наблюдения сильно финансово затратные. Альтернативой им являются наблюдения из космоса. Исследования Земли из космоса имеют значительные преимущества по сравнению с наземными исследованиями, так как они носят глобальный характер, а это для понимания исследуемых проблем очень важно. Как правило, такие наблюдения позволяют получить многие параметры с лучшим разрешением, чем в наземных исследованиях. Но в связи с высокой стоимостью космических лабораторий на сегодняшний день их также можно отнести к финансово затратным исследованиям. Поэтому ставится задача по снижению этих затрат. Как можно снизить такие затраты при создании космических лабораторий. Ответ на сегодняшний день очевиден - это создание космических микро-аппаратов и нано-аппаратов (в дальнейшем везде мы будем говорить о мини-аппаратах, под которыми понимать космические микро-аппараты и нано-аппараты). В данной статье рассматривается одно из возможных решений данного направления. Цель представленной работы – создание сетевых структур на основе мини-аппаратов для решения научных и прикладных задач. Создание космических аппаратов низкой стоимости с сохранением его высоких характеристик за счет:

- невысокой стоимости универсальных элементов КА;
- автоматизации КА с внедрением элементов интеллекта;
- возможности расширения круга исследуемых задач КА без переделки основной платформы;
- снижения сроков изготовления КА;
- снижения затрат на выведение КА на орбиту посредством выведения попутным грузом или малым носителем;
- снижения затрат на обслуживание наземных пунктов приема.

Важная цель проекта показать реализуемость поставленной задачи в части цены и функциональных возможностей малых космических лабораторий.

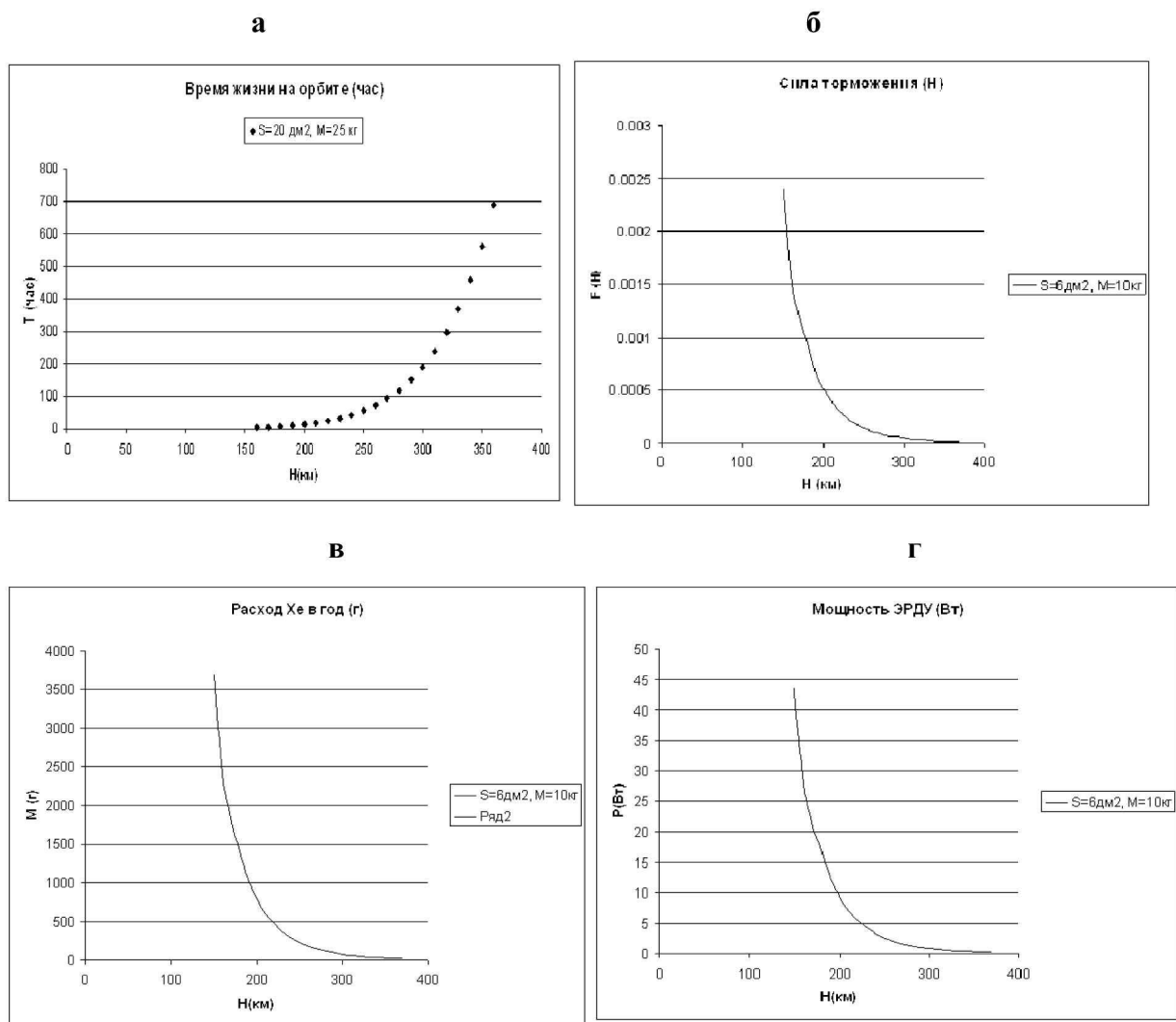


Рис. 1. Графики основных характеристик торможения КА на низкой орбите

Идея использования малых космических аппаратов для исследования Земли из космоса выдвигалась неоднократно, но ее реализация стала реальной только благодаря микроминиатюризации и прогрессу в электронике на сегодняшний день. Достижения в этих областях позволяют значительно снизить массу космического аппарата и перейти на малые носители или вывод на орбиту попутным грузом. В данной статье рассматриваются мини-аппараты для исследования планеты, как для низких, так и других любых орбит, на основе которых могут быть образованы глобальные сети для исследования климата планеты.

Рассматриваемая в этой статье работа, как раз позволяет создать такие мини-аппараты на имеющейся сейчас современной электронной технологии. К сегодняшнему моменту нами созданы практически все необходимые элементы для реализации такого спутника и работа близка к завершению.

В период между 2001 и 2005 годами сотрудниками ИКИ и НПОЛ была разработана платформа космического аппарата Солнечный Парус. При создании аппарата были применены нестандартные решения в разработке таких аппаратов, что позволило обеспечить массу космического аппарата в пределах ста килограммов, включая полезную нагрузку. Работа велась небольшим коллективом, что позволяло снизить затраты на разработку. Общая масса служебной аппаратуры платформы составила около 14 кг, и обеспечивала

все его жизненные функции. В основу была положена интегрированная схема с распределенными ресурсами. Такой подход позволяет сократить лишние элементы аппаратуры, которые возникают при разделении системы, на четко разграниченные подсистемы и упрощает их интерфейс взаимодействия. Так же интегрированная схема обеспечивает простой доступ к любым ресурсам аппарата, что приводит в конечном случае к упрощению отработки всего аппарата. В совокупности такая схема приводит к оптимизации основных параметров КА:

- снижению массы и габаритов;
- снижению общего потребления;
- упрощению конструкции при меньших габаритах;
- сокращению сроков изготовления;
- и в конечном итоге к снижению стоимости аппарата.

В последующие года вплоть до сегодняшнего дня была проделана работа по оптимизации аппаратуры в рамках этих направлений. Работа близка к завершению. В результате была модифицирована аппаратура, масса которой составила величину 4 – 8 кг, в зависимости от уровня ее резервирования. С такой аппаратурой уже можно создавать космические аппараты с массой менее 10 кг, которые в соответствии с принятой классификацией можно отнести к нано-аппаратам. Эта работа проводилась в рамках чисто научных задач, но на наш взгляд она может быть использована и в других областях народнохозяйственной деятельности.

В силу малой цены перспективным становится создание сетевых структур на орбите, состоящих из мини-аппаратов. Использование сети создает новое качество в исследовании Земли из космоса. Во-первых, появляется возможность создания глобального мониторинга по многим параметрам. Во-вторых, снижается требования к наземным приемным пунктам в связи с тем, что получаемая информация распределяется (размазывается) по времени. В-третьих, период определения параметров глобального мониторинга снижается и может составлять 10-15 минут. Это особенно важно для прогноза погоды и предупреждения природных катастроф. В этом случае прогноз может быть более продолжительным. Экономический эффект трудно переоценить.

В части научных исследований на мини-аппаратах предполагается проведение глобального мониторинга околоземного пространства:

- 1) исследование магнитосферы и ионосферы;
- 2) взаимодействие магнитосферы и ионосферы с солнечным ветром;
- 3) и глобальный и локальный мониторинг космического пространства.

Применение мини-аппаратов имеет большее предпочтение особенно тогда, когда решается ограниченный круг связанных задач, например, исследования ионосферы Земли. В этом случае набор инструментов небольшой и легко размещается на мини-аппарате. Кроме того требуется исследовать ионосферу во многих точках одновременно, что осуществить большими КА невозможно по многим причинам. Ниже приводятся результаты проделанной работы. В таблице 1 приведены основные элементы мини-аппарата и их уровень разработки по международной системе классификации «Technology Readiness Level Scale».

Таблица 1. Классификация основных элементов мини-аппарата

Наименование		TRL	Количество
КБА	БУ	8	1
	Звездный датчик	9	2
	Солнечный датчик	9	1
	Датчик ускорения	8	1
	Маховики	9	4
	Датчик угловых скоростей	8	4
	GPS приемник	9	1
	S-диапазона приемник	6	1
	S-диапазона передатчик	6	1
	UHF радиосистема с антенной	8	1
	Программное обеспечение	7	
СЭП	Батарея (Li-ion, до 10 А*Н)	9	1
	Фотоэлектрическая батарея	7	2
ДУ	ЭРДУ, DC/DC (высоковольтный)	7	1
	Программное обеспечение	7	
Конструкция	Рама с теплозащитой	6	1
	Адаптеры для ПН	4	1
	Редукторы и пиротехника	9	
Полезная нагрузка (ПН)	Камера высокого разрешения	7	1
Полезная нагрузка	Камера низкого разрешения	7	1
Полезная нагрузка	Спектрометр	7	1
Дополнительная ПН	TBD		1

На основе разработанных систем были проведены расчеты для определения общих характеристик мини-аппаратов. При этом на аппарат накладывались некоторые предельные ограничения, в пределах которых и проводились расчеты. Результаты проведенных расчетов приведены в таблицах 2, 3. Вид модернизированной аппаратуры представлен на рис. 2 а-и.

Таблица 2. Результаты расчетов

Параметр	Значение
Максимальная сухая масса КА	не более 100 кг
Масса полезной нагрузки	до 50 кг
Масса горючего ЭРДУ (Хе)	до 50 кг
Максимальная мощность ФБ	до 1.8-2.0 кВт
Максимальная площадь ФБ	до 18.0 – 20.0 м <sup>2</sup> (аморфный кремний), или 5 м <sup>2</sup> (As-Ga)
Тяга ЭРДУ	~97 мН
Ресурс ЭРДУ	> 4000 часов
Резервирование	холодный резерв
Время выхода с НО на орбиту типа Молния типовое	~ 90
с максимальной ПН	не более 200 дней
Время существования	> 5 лет
Возможные типы орбиты	любые с перигеем не ниже 300 км
Изменение орбиты	практически любое
Частота передачи информации на землю в диапазоне S	1 – 10 М bits\sec (возможно увеличение при необходимости)
Частота передачи информации на землю в диапазоне UHF	0,1 – 1 М bits\sec (возможно увеличение при необходимости)
Габариты КА в упакованном состоянии	0.5 × 0.9 × 1.3 м
Габариты КА в рабочем состоянии	0.5 × 18(20) × 1.3 м

Таблица 3. Результаты расчетов

Параметр	Значение
Максимальная сухая масса КА	не более 10 кг
Масса полезной нагрузки	до 2 кг
Масса горючего ЭРДУ (Хе)	до 1 кг
Максимальная мощность ФБ	до 8 – 40 Вт
Максимальная площадь ФБ	до 0.01 – 0.05 (аморфный кремний), или 0,003 – 0.015 м <sup>2</sup> (As-Ga)
Тяга ЭРДУ	0.1 мН
Ресурс ЭРДУ	> 4000 часов
Резервирование	холодный резерв
Время существования	> 5 лет
Возможные типы орбиты	Определяются носителем
Изменение орбиты	Небольшая коррекция
Частота передачи информации на Землю в диапазоне S или в диапазоне UHF	1 – 10 М bits/sec 0,1 – 1 М bits/sec
Габариты КА в упакованном состоянии	0.2 × 0.2 × 0.25 м

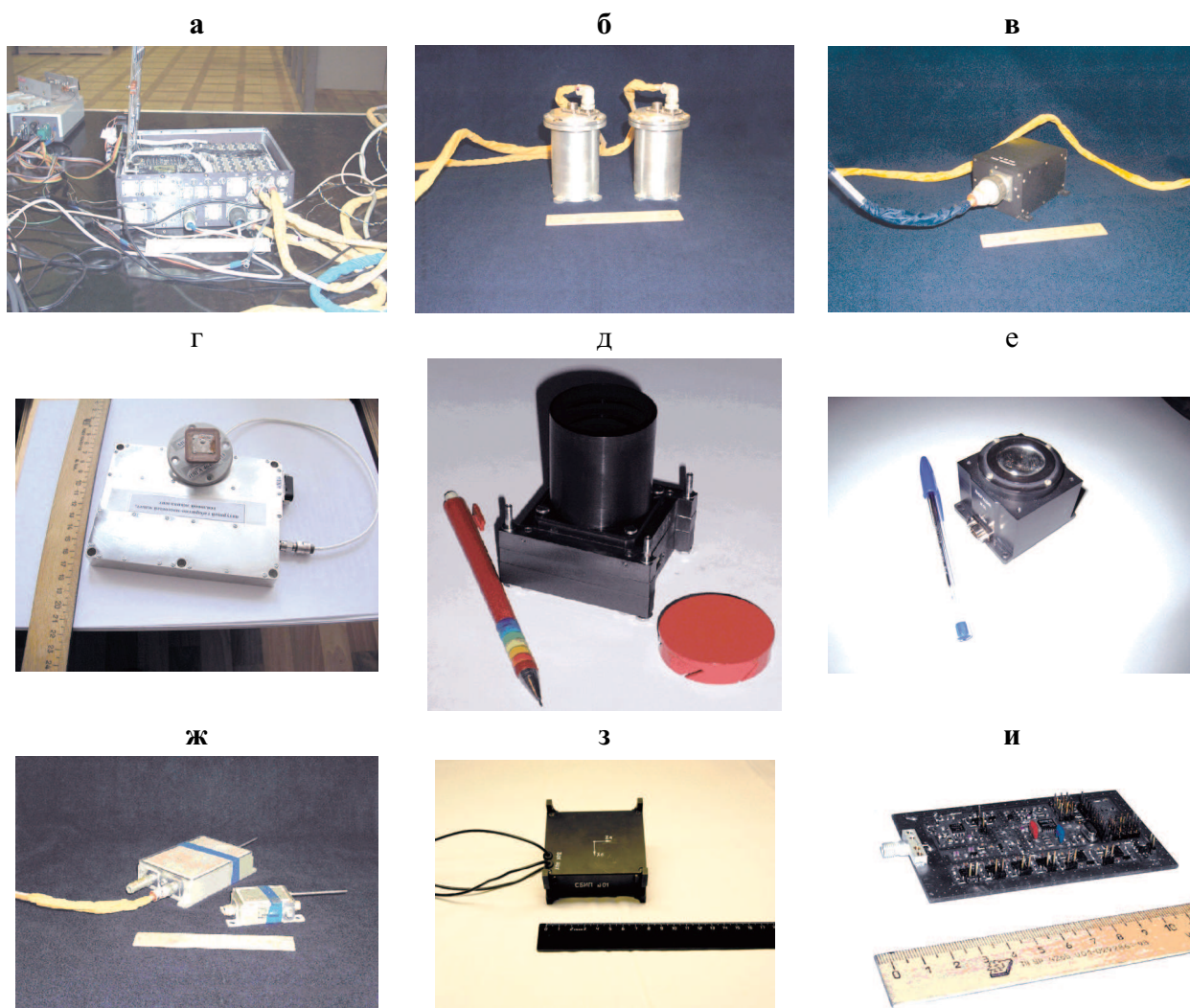


Рис. 2. Внешний вид аппаратуры мини-аппарата ( а – блок управления, б – датчики угловых скоростей, в – аккумуляторная батарея, г – радиосистема s диапазона, д – звездный датчик, ж-GPS приемник, з – солнечный датчик, е – UHF радиосистема, датчик малых ускорений)

Проведенная работа позволяет сделать заключение, что работа будет успешно закончена в ближайшем будущем. Особое значение в данной работе, уделяется научным задачам. Были разработаны камеры в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, как полезная нагрузка для мини-аппаратов. Внешний вид их представлен на рисунке 6а и 6б. Помимо этого ведется работа по созданию спектрометра в диапазоне от 2 до 15 мкм и многоканального фотометра. Для установки любой полезной нагрузки предусмотрен специальный интерфейс, который позволит легко устанавливать и менять нагрузку.

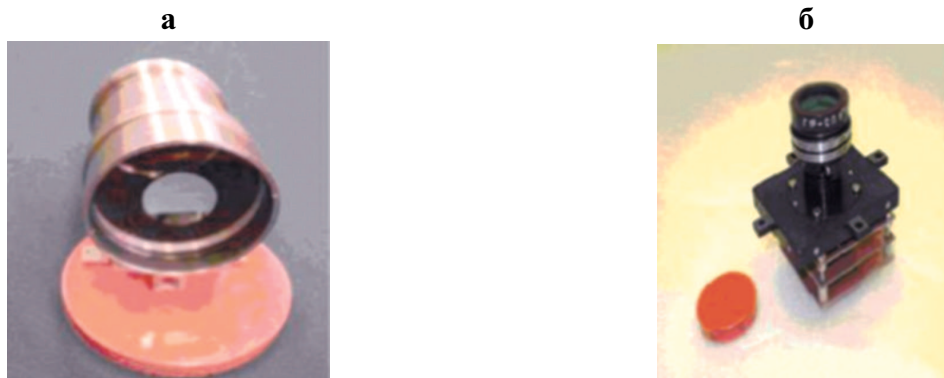


Рис. 3. Камеры высокого (а) и низкого разрешения (б)

Возможность создания, как отдельных, так и сети мини-аппаратов на основе разработанных легких малогабаритных приборов и программного обеспечения открывает следующие возможности:

- Возможность работать на низких орбитах (до 230 км) в течение длительного времени.
- Возможность выведения на орбиту Земли группировки из нескольких мини-аппаратов попутным грузом или малым носителем.
- Возможность маневра на орбите и перехода с одной орбиты на другую.
- Возможность создания мини-аппарата низкой стоимости в 20-30 ниже средней цены современного спутника ДЗЗ при аналогичных характеристиках:
- снижения стоимости изготовления мини-аппарата за счет универсальности архитектуры и легких малогабаритных приборов. Они могут быть применены для любой миссии без какой-либо доработки;
- снижения затрат на наземное обслуживание за счет автоматизации мини-аппарата и приемного пункта;
- снижения затрат за счет использования промышленных компонент и собственной испытательной базы.
- Все это в итоге позволяет:
- повысить объем и качества научной информации;
- исследовать специфические задачи, которые не могут быть решены космической индустрией – отдельная ниша исследований;
- проводить исследования силами нескольких университетов или институтов.

## Литература

1. Четвертое национальное сообщение, представляемое в соответствии, со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. 2006.
2. Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2004 г. // М, Метеоагентство Росгидромета, 2005.
3. Обзор фоновое состояние окружающей среды на территории стран СНГ за 2003 год. // Под ред. Ю.А.Израэля. Спб, Гидрометеиздат, 2005, С. 74.
4. Арманд Н.А., Кравцов Ю.А., Кудашев Е.Б., и др. On-line электронная библиотека космической информации по экологическим и природо-ресурсным фундаментальным программам. // Труды Первой Всероссийской научной конференции "Электронные библиотеки" Санкт-Петербург, 1999, С. 18-21.

### **Global monitoring of the Earth and planets of solar system by means of network structures on a basis micro and nano spacecrafts**

**A.N. Lipatov<sup>1</sup>, A.K. Tonshev<sup>2</sup>, V.J. Goretov<sup>2</sup>, V.M. Gotlib<sup>1</sup>, V.N. Karedin<sup>2</sup>, V.M. Linkin<sup>1</sup>,  
V.S. Makarov<sup>1</sup>, G.V. Zaharkin<sup>3</sup>, L.I. Khlustova<sup>1</sup>, N.A. Eismont<sup>1</sup>,  
O.N. Andreev<sup>1</sup>, S.A. Antonenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
117997 Moscow, Profsoyuznaya 84/32  
E-mails: slip@iki.rssi.ru;*

<sup>2</sup>*Special Design Department of Space research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
249810 Kaluga region, Tarusa  
E-mails: vgoretov@skbkr.tarusa.ru;*

<sup>3</sup>*J.V. Interastro,  
117997 Moscow, Profsoyuznaya 84/32  
E-mails: eslab@mail.ru;*

By today serious backlog of Russia was outlined in research of planets and small bodies of solar system by means of spacecraft. How to restore level of researches, without having equivalent financing and scientific and technical potential what it was in the USSR? It is a main point in the field of space researches. The decision of this problem at available resources does not allow to remove this problem in a short space of time rather. Modern spacecrafts have weight from hundreds kilograms to several tons. Cost of everyone makes ten and hundred millions dollars. Absence of sufficient financing brakes researches. The problem decision – creation of inexpensive small-size spacecraft, such as micro-spacecraft and nano-spacecraft, with weight no more than tens kilograms which is within powers of one or group of institutes on the basis of their own resources. Working out of such micro spacecraft and spacecraft will allow to carry out break in the given branch and to restore appreciably level of researches. Creation of a network of such spacecraft in an orbit will allow to carry out global monitoring of the Earth and planets of solar system. In the presented work the results reached by laboratory «Small devices for research of planets of solar system» institute of space researches in the given direction are resulted. In the work the development of architecture of small spacecrafts, devices, and software that can be used for creation of micro- and nano-spacecraft are presented. These are the devices providing functions of management, provision of energy, navigation and orientation of a spacecraft and their software.

**Keywords:** Small spacecrafts – a new view.