

## ГРУППИРОВКА МАЛЫХ СПУТНИКОВ «УНИВЕРСАТ-СОКРАТ» ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ КОСМИЧЕСКИХ УГРОЗ

© 2019

- В. А. Садовничий** доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, ректор; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [mmmf@mech.math.msu.su](mailto:mmmf@mech.math.msu.su)
- М. И. Панасюк** доктор физико-математических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [panasyuk@sinp.msu.ru](mailto:panasyuk@sinp.msu.ru)
- В. М. Липунов** доктор физико-математических наук, профессор, профессор физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [lipunov2007@gmail.com](mailto:lipunov2007@gmail.com)
- А. А. Белов** кандидат технических наук, младший научный сотрудник физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [aabcad@gmail.com](mailto:aabcad@gmail.com)
- В. В. Богомолов** кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [bogovit@rambler.ru](mailto:bogovit@rambler.ru)
- Г. К. Гарипов** старший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [ggkmsu@yandex.ru](mailto:ggkmsu@yandex.ru)
- Е. С. Горбовской** кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [gorbovskoy@sai.msu.ru](mailto:gorbovskoy@sai.msu.ru)
- А. Ф. Июдин** доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [aiyudin@srd.sinp.msu.ru](mailto:aiyudin@srd.sinp.msu.ru)
- В. В. Калегаяев** доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [klg@decl.sinp.msu.ru](mailto:klg@decl.sinp.msu.ru)
- П. А. Климов** кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [pavel.klimov@gmail.com](mailto:pavel.klimov@gmail.com)
- В. Г. Корнилов** доктор физико-математических наук, доцент, доцент физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [victor@sai.msu.ru](mailto:victor@sai.msu.ru)
- С. К. Мить** программист Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [msergey1996@mail.ru](mailto:msergey1996@mail.ru)
- В. И. Оседло** кандидат физико-математических наук, заместитель директора Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [osedlo@mail.ru](mailto:osedlo@mail.ru)
- В. Л. Петров** младший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [vas@srd.sinp.msu.ru](mailto:vas@srd.sinp.msu.ru)

- М. В. Подзолко** кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [spacerad@mail.ru](mailto:spacerad@mail.ru)
- Е. П. Попова** кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник; Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук; [popovaelp@mail.ru](mailto:popovaelp@mail.ru)
- И. А. Рубинштейн** кандидат технических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [iarubinst@mail.ru](mailto:iarubinst@mail.ru)
- С. И. Свертилов** доктор физико-математических наук, доцент, профессор физического факультета; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru)
- В. И. Тулулов** кандидат физико-математических наук; ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [ikt0840@mail.ru](mailto:ikt0840@mail.ru)
- А. С. Чепурнов** кандидат физико-математических наук; старший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [chas@marathon.ru](mailto:chas@marathon.ru)
- И. В. Яшин** кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; [iv\\_n@bk.ru](mailto:iv_n@bk.ru)

Естественная и «техногенная» космические среды создают серьёзные риски для осуществления роботизированных и с участием человека космических миссий. Основными природными и техногенными факторами риска, ограничивающими или представляющими опасность для осуществления автоматических и пилотируемых космических миссий в околоземном пространстве, являются космическая радиация и космический мусор. В верхних слоях атмосферы для суборбитальных полётов летательных аппаратов факторами риска являются также природные транзиентные электромагнитные явления, связанные со значительным высвобождением энергии. В предлагаемом проекте «Универсат-СОКРАТ» планируется создать систему космических аппаратов, позволяющую в режиме, близком к реальному времени, определять радиационную обстановку в значительной части области захваченной радиации, вплоть до орбит глобальных навигационных спутниковых систем или геостационарной. Планируется также создание космического сегмента мониторинга космического мусора и электромагнитных транзиентов в верхней атмосфере. Мониторинг «космического мусора» позволит осуществить «всепогодное» и глобальное слежение за околоземными объектами и тем самым повысить оперативность анализа информации и принятия необходимых решений. В некоторых случаях он позволит повысить точность определения координат объектов для последующей их каталогизации. Успешная реализация проекта позволит впервые в мире создать космическую систему мониторинга и предотвращения космических угроз как для осуществляемых, так и для планируемых космических миссий.

*Малые спутники; группировка; космическая радиация; космический мусор; астероиды; метеориты; электромагнитные транзиенты.*

---

**Цитирование:** Садовничий В.А., Панасюк М.И., Липунов В.М., Белов А.А., Богомолов В.В., Гарипов Г.К., Горбовской Е.С., Июдин А.Ф., Калегаев В.В., Климов П.А., Корнилов В.Г., Мить С.К., Оседло В.И., Петров В.Л., Подзолко М.В., Попова Е.П., Рубинштейн И.А., Свертилов С.И., Тулулов В.И., Чепурнов А.С., Яшин И.В. Группировка малых спутников «Универсат-СОКРАТ» для мониторинга техногенных и природных космических угроз // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 94-108. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-94-108

## **Введение**

Естественная и «техногенная» космические среды создают серьёзные риски для осуществления космических миссий как роботизированных, так и с участием человека. Риск определяется спецификой планируемых миссий – их продолжительностью, локализацией в космическом пространстве и параметрами орбит.

Основными природными и техногенными факторами риска, ограничивающими или представляющими опасность для осуществления автоматических и пилотируемых космических миссий в околоземном пространстве, являются космическая радиация и космический мусор. В верхних слоях атмосферы для суборбитальных полётов летательных аппаратов факторами риска являются также природные транзиентные электромагнитные явления, связанные со значительным высвобождением энергии. Разработка методов мониторинга этих явлений и их тестирование с помощью специализированной аппаратуры было успешно осуществлено специалистами МГУ в ходе лётных испытаний космических аппаратов (КА) «Ломоносов» [1], «Вернов» [2; 3], «Татьяна-1» и «Татьяна-2» [4]. В предлагаемом проекте «Универсат-СОКРАТ»<sup>\*</sup> предлагается сделать следующий шаг в этом направлении.

Планируется создать систему космических аппаратов, позволяющую в режиме, близком к реальному времени, определять уровни радиационных нагрузок, создаваемых ионизирующей радиацией – частицами радиационных поясов Земли и солнечными энергичными частицами, вторгающимися внутрь магнитосферы, – не только в районе орбит самих КА, но и в значительной части области захваченной радиации, вплоть до орбит глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) или геостационарной (ГСО).

Планируется также создание космического сегмента мониторинга космического мусора, который, в отличие от наземных средств мониторинга, позволит не только осуществить всепогодное и глобальное слежение за околоземными объектами и тем самым повысить оперативность анализа информации и принятия необходимых решений, а в некоторых случаях и повысить точность определения координат объектов для последующей их каталогизации.

Должна быть реализована система мониторинга электромагнитных транзиентов в верхней атмосфере на нескольких КА, что позволит выявить локальные области наиболее интенсивной их генерации на шкале времени более короткой, чем это позволяет их мониторинг на отдельном КА, и повысить достоверность их прогноза при планировании суборбитальных полётов. Приборы, предназначенные для регистрации электромагнитных транзиентов в гамма-диапазоне, могут одновременно быть использованы и для мониторинга радиоактивного космического мусора – остатков КА с ядерными установками или радиоактивными источниками на их борту. Эта цель также включена в программу мониторинга потенциально опасных объектов проекта «Универсат-СОКРАТ».

Успешная реализация проекта позволит впервые в мире создать космическую систему мониторинга и предотвращения космических угроз как для осуществляемых, так и для планируемых космических миссий.

---

<sup>\*</sup> Английская аббревиатура «Universat» – University Satellites). Русская аббревиатура «СОКРАТ» – система оповещения космической радиационной, астероидной и техногенной опасности.

## Потенциально опасные факторы в околоземном космическом пространстве

Специфика природных условий в космическом пространстве (многообразии физических параметров радиационных полей, особенности баллистических траекторий природных космических объектов), а также последствия космической деятельности человека в космосе (загрязнение космического пространства техногенным мусором) создают, как правило, реальные трудности для моделирования обстановки и расчётов рисков. Ниже даны характеристики потенциально опасных факторов в околоземном космическом пространстве.

**Ионизирующая радиация.** Одна из основных задач создаваемой спутниковой системы – оперативный (близкий к «реальному времени») мониторинг околоземной радиации, представляющей опасность для бортовых систем спутников и экипажей пилотируемых кораблей. Главным образом, это потоки энергичных электронов и протонов радиационных поясов Земли, а также энергичных частиц солнечных космических лучей.

Необходимость такого мониторинга обусловлена тем фактом, что эти потоки даже в геомагнитно-спокойных условиях испытывают очень значительные средне- и долгосрочные вариации, которые не могут быть описаны существующими квазистатистическими моделями радиационных поясов Земли. С другой стороны, существующие спутниковые измерения проводятся только для ограниченного числа орбит и диапазона питч-углов (углов между вектором скорости частицы и магнитной силовой линией) и не могут дать глобальную картину пространственно-временных вариаций радиации в околоземном космическом пространстве.

Основными целями радиационного мониторинга и оперативного прогноза радиационного окружения Земли являются:

- оперативная оценка радиационных условий в околоземном космическом пространстве (ОКП) для оценки радиационных рисков выполнения космических миссий и выработки алертных сигналов для принятия решений по управлению ими;
- верификация современных расчётных моделей полей радиации околоземного космического пространства.

**Космический мусор, астероиды и крупные метеориты.** По состоянию на 31 августа 2015 г. общее количество находящихся в космическом пространстве и каталогизированных в базах данных «систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве» космических объектов техногенного происхождения составило 17 250. Из них 1 362 космических объекта – это действующие космические аппараты, а остальные 15 888 космических объектов – космический мусор [5]. При экстраполяции существующих темпов засорения низких околоземных орбит (НОО), даже с учётом различных мероприятий по его уменьшению, в среднесрочной перспективе может возникнуть «каскадный эффект» возрастания обломков в результате взаимного столкновения объектов и частиц космического мусора, который может в долгосрочной перспективе привести к катастрофическому росту количества объектов космического мусора на НОО и, как следствие, к практической невозможности дальнейшего освоения космоса. Такая критическая ситуация уже близка на ГСО.

Также актуальна проблема астероидной опасности. Небесное тело считается потенциально опасным, если оно пересекает орбиту Земли на расстоянии  $< 0,05$  а. е. ( $\approx 19,5$  расстояний от Земли до Луны) и его диаметр превышает 100–150 м. Объекты размером в несколько сот метров могут вызвать беспрецедентные разрушения на суше, либо огромное цунами в случае падения в океан. События таких масштабов происходят примерно раз в 10 000 лет. Однако объекты меньшего диаметра (менее 100 метров) появляются вблизи Земли гораздо чаще. При попадании в густонаселённые зоны такие

объекты могут привести к катастрофическим последствиям. На основе информации, полученной с космического телескопа WISE, специалисты оценивают наличие  $4700 \pm 1500$  потенциально опасных объектов с диаметром  $>100$  метров [6]. В целом в каталоги внесены  $\approx 20,5$  тыс. объектов, достигающих до 100 м в поперечнике.

**Электромагнитные транзиенты.** Ещё одной задачей проекта будет мониторинг и изучение электромагнитных транзиентных явлений в верхней атмосфере, которые наблюдаются в разных диапазонах длин волн – от радиодиапазона до гамма-диапазона. Эти явления связаны с электрическими разрядами, происходящими на высотах в десятки километров в верхней атмосфере, и имеют глобальный характер. Выделяемая в них энергия достаточно велика, чтобы оказать существенное воздействие на радиокommunikации, модифицировать физические параметры мезосферы, а также оказать непосредственное влияние на бортовые системы стратосферных суборбитальных летательных аппаратов.

### **Концепция космической системы на основе группировки малых спутников для мониторинга космических угроз**

В рамках проекта «Универсат-СОКРАТ» несколько малых космических аппаратов, оснащённых несколькими разнонаправленными спектрометрами энергичных протонов и электронов, должны быть выведены на специально подобранные орбиты и осуществлять измерения, которые позволят рассчитывать текущее распределение потоков частиц в большом объёме радиационных поясов до орбит ГНСС или ГСО и, как следствие, рассчитать текущие уровни радиационных нагрузок для большого диапазона эксплуатируемых орбит КА.

Важным дополнением к системе космического мониторинга станет разработанная в МГУ полностью автоматизированная наземная система оперативного анализа спутниковых данных, предназначенная для оценки и прогнозирования радиационных условий в ОКП в режиме реального времени.

Что касается мониторинга потенциально опасных объектов, то реализация предлагаемого проекта позволит создать первую отечественную систему космического базирования, предназначенную в первую очередь для оперативного обнаружения некаталогизированных объектов. По сравнению с существующими в мире системами такого типа – NORAD, миниспутниками Sapphire и NEOSat, будет обеспечено обнаружение неизвестных объектов в режиме реального времени. Предлагаемый космический сегмент – не альтернатива наземному, но существенно комплементарен к нему. Сочетание наземных средств наблюдений (система МГУ «МАСТЕР») с космическим («Универсат-СОКРАТ») позволит с помощью роботизированных телескопов с широким полем зрения существенно повысить эффективность мониторинга космического мусора в околоземном пространстве.

Для реализации указанных наблюдений предполагается в минимальном варианте использовать группировку из трёх космических аппаратов [7]. Взаимное расположение орбит представлено на рис. 1.

Основные задачи КА №1 – это мониторинг опасных объектов и явлений, изучение электромагнитных транзиентных явлений. Также на этом аппарате должны осуществляться измерения потоков космической радиации (электронов и протонов) в рамках системы радиационного мониторинга [8].

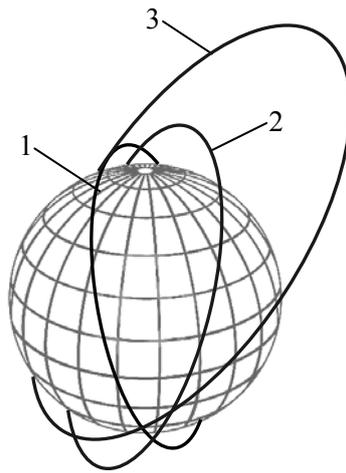


Рис. 1. Взаимное расположение орбит группировки малых КА

Параметры орбиты КА №1 (орбита «1» на рис. 1) определяются поставленными выше задачами, поэтому он должен размещаться на низкой солнечно-синхронной орбите высотой 500–650 км. Такая орбита обеспечивает наблюдение разных областей верхней атмосферы и околоземного пространства – от экваториальных до полярных, а также создаёт благоприятные фоновые условия для измерений всплесковых явлений в гамма-диапазоне. Кроме того, на этом спутнике должны размещаться наиболее массивные приборы целевой аппаратуры. Поэтому необходимая масса полезной нагрузки КА №1 составляет не менее 130 кг, что также обуславливает требование низкой круговой орбиты.

На КА №1 должны быть установлены следующие приборы: комплекс приборов для оптического мониторинга опасных объектов, комплекс научной аппаратуры для изучения транзиентных атмосферных явлений (ТАЯ) в оптическом диапазоне, комплекс научной аппаратуры для мониторинга в гамма-диапазоне, аппаратура для мониторинга космической радиации, а также блок сбора информации (БСИ).

По основным задачам и составу целевой аппаратуры КА №2 и №3 идентичны. Основной задачей этих аппаратов является обеспечение радиационного мониторинга с целью построения трёхмерной картины текущего распределения потоков протонов и электронов в значительной области радиационных поясов Земли.

Для построения текущей трёхмерной картины потоков выбран подход, предусматривающий охват большого диапазона  $L$ -оболочек (от  $L=1,2$  до  $\approx 5 \div 7$ ), и для каждой из них – измерения всенаправленных потоков частиц в разных точках  $L$ -оболочки на разных высотах, а затем расчёт высотного хода потоков для всей  $L$ -оболочки путём интерполяции и экстраполяции данных измерений с использованием известных теоретических и эмпирических закономерностей.

При этом выбор орбиты должен учитывать характерную форму высотного хода потоков частиц радиационных поясов.

В качестве орбиты КА для радиационного мониторинга выбрана эллиптическая орбита с высотами перигея и апогея  $\approx 600$  и 8000 км, наклонением  $63,4^\circ$  и начальным аргументом перигея  $\approx 310^\circ$  (орбита «3» на рис. 1). Орбита пересекает характерные области высотного хода потоков. При этом на каждом витке КА несколько раз пересечёт каждую  $L$ -оболочку на разных высотах.

Как следствие, для  $L=1,2$  высот  $\leq 8000$  км текущий высотный ход потоков может строиться путём интерполяции измерений. Для высот  $>8000$  км будет осуществ-

ляться экстраполяция высотного хода – это возможно сделать, поскольку потоки в этой области меняются слабо, по степенному закону.

Рассматривается также вариант, при котором один из КА №2 или №3 вместо эллиптической орбиты будет выведен на круговую орбиту высотой  $\approx 1500$  км или на эллиптическую орбиту высотой 800–2000 км и наклоном  $\approx 80^\circ$  (орбита «2» на рис. 1). Для такой орбиты существует больше возможностей попутного запуска.

На каждом из КА №2 и КА №3 должна быть установлена аппаратура для мониторинга космической радиации и блок электроники, осуществляющий связь с бортовыми системами спутника. На КА №2 и КА №3 могут решаться вспомогательные задачи по оптическим наблюдениям и регистрации электромагнитных транзиентов. Поэтому на них может быть установлен компактный гамма-спектрометр, оптическая камера широкого поля зрения, детектор УФ-излучения (ДУФ). Оптические камеры на КА №2 и КА №3 предназначены для мониторинга ближнего и дальнего (до нескольких миллионов километров) пространства с целью поиска неотожествлённых объектов искусственного и естественного происхождения.

### Состав и характеристики целевой аппаратуры

**Аппаратура для мониторинга космической радиации.** Аппаратура должна включать спектрометр протонов в диапазоне энергий от 2 до  $> 160$  МэВ и электронов в диапазоне энергий 0,15–10 МэВ (СПЭ). Его основным элементом является сборка типа «телескоп», включающая несколько полупроводниковых детекторов различной толщины и сцинтилляционный детектор, расположенные соосно один под другим (рис. 2). Для измерения пичч-углового распределения потоков и всенаправленных потоков частиц будет использоваться несколько телескопов с разной пространственной ориентацией. Один из вариантов компоновки прибора показан на рис. 2. Рассматривается также компоновка, при которой оси четырёх телескопов должны лежать в плоскости магнитного меридиана (в случае орбиты спутника, близкой к полярной, это означает, что они должны лежать практически в плоскости орбиты), а ось ещё одного телескопа должна лежать перпендикулярно плоскости магнитного меридиана. В составе аппаратуры также должен использоваться трёхкомпонентный магнитометр.

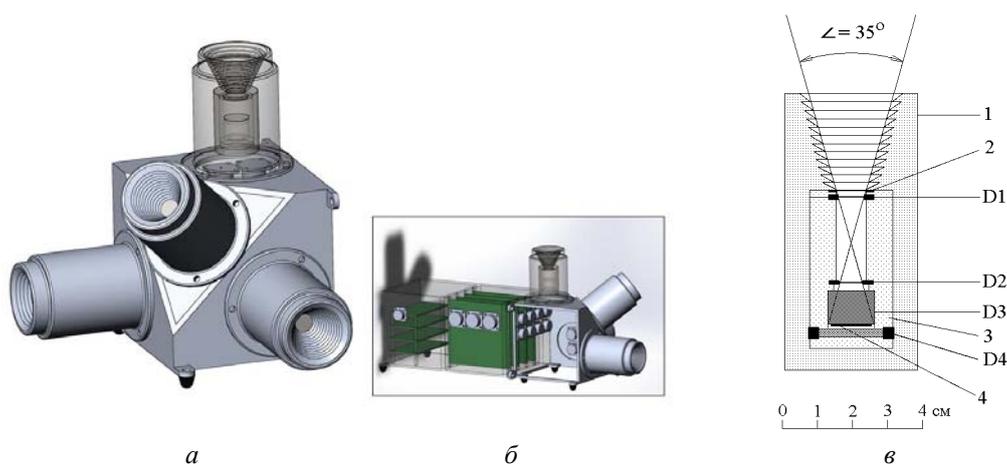


Рис. 2. Спектрометр протонов и электронов:

- a* – детекторный блок с разнонаправленными телескопами; *б* – общий вид прибора;
- в* – структурная схема телескопа: 1 – корпус; 2 – фольга толщиной, эквивалентной  $\approx 10$  мкм Si;
- 3 – оргстекло или другой изолятор; D1, D2, D4 – полупроводниковые (Si) детекторы;
- D3 – сцинтилляционный (CsI(Tl)) детектор; 4 – фотодиод

**Комплекс приборов для оптического мониторинга опасных объектов.** Комплекс должен состоять из двух широкопольных оптических камер (мини-телескопов) и сканирующего телескопа с диаметром входного окна 120 – 250 мм и рабочим полем зрения до 100 квадратных градусов. Камеры широкого поля зрения успешно прошли лётно-конструкторские испытания в составе спутника «Ломоносов» [9]. Параметры широкопольных камер: поле зрения  $\sim 20 \times 40^\circ$ , ПЗС матрица  $24 \times 36$  мм на 12 мегапикселей. Данные с каждой камеры анализируются процессором, осуществляющим как подробную запись видеоряда (до 5 кадров в секунду) по триггеру от гамма-детектора (гамма-всплески), так и выборку видеофрагментов, относящихся к космическим аппаратам, космическому мусору, астероидам и другим объектам. Для успешной реализации наблюдений необходимы средства стабилизации ориентации на время экспозиции (до 3 угловых минут) с точностью не хуже  $5''$  относительно неподвижных звёзд и знание ориентации телескопа на момент начала экспозиции не хуже  $60'$ . Параметры упомянутых оптических приборов и особенности наблюдений космического мусора на различных орбитах будут уточняться в ходе дальнейших исследований по проекту.

Группировка КА «Универсат-СОКРАТ» должна осуществлять мониторинг в режиме, близком к реальному времени. Для передачи алертов в случае регистрации гамма-всплеска или потенциально опасного объекта предполагается использовать дополнительную систему связи (прорабатываются варианты использования как спутниковых систем связи, так и развёртывание системы наземного оперативного приёма информации). Оперативная передача информации о регистрируемых гамма-всплесках в мировую сеть координат гамма-всплесков Gamma Coordinate Network (GCN) через модем системы «Globalstar» была успешно отработана на спутнике «Ломоносов».

Главное свойство представленной системы – наличие программного обеспечения обработки широкопольных изображений на борту, позволяющего в режиме реального времени (менее минуты после считывания с ПЗС-сенсора) идентифицировать все объекты на кадре с полным отождествлением (фотометрия, астрометрия), сравнением со всеми известными каталогами, сравнением с историей координат в базе МАСТЕР и выделением всех новых движущихся и стационарных объектов (транзиентов). Идентификация МАСТЕРа включает в себя определение параметров движения для движущихся объектов [10; 11].

**Комплекс научной аппаратуры для изучения ТАЯ в УФ и оптическом диапазонах.** Комплекс должен включать пространственно-чувствительный спектрометр – малый линзовый телескоп (МЛТ) с высоким временным разрешением для измерения спектра оптического излучения ТАЯ и молний и детектор УФ и ИК излучения (ДУФИК) – аналог детекторов на спутниках «Татьяна-2» и «Вернов» (для сравнения данных нового космического эксперимента с данными предыдущих), дополненный каналами измерений в дальнем УФ-диапазоне. Измерение спектра необходимо для определения типа и высоты генерации ТАЯ, а также для выделения молниевых разрядов по характерной линии 777 нм и по отсутствию сигнала в области линии поглощения кислорода 762 нм. Оси приборов МЛТ и ДУФИК должны быть ориентированы в надиры с углами незатенения  $\pm 90^\circ$  относительно визирных осей детекторов. Прибор МЛТ должен состоять из линзового широкопольного объектива и позиционно-чувствительного детектора в виде мультианодного ФЭУ, а также набора фотоумножителей для измерения длинных временных рядов сигналов ТАЯ с чувствительностью  $\sim 50$  фот/см<sup>2</sup>мкс и временным разрешением одна мкс. В конструкции прибора предусмотрено до 16 спектральных каналов.

Прибор ДУФИК должен состоять из трёх фотоумножителей, входные окна которых закрыты светофильтрами, обеспечивающих работу в разных спектральных диапазонах: инфракрасном (600–800 нм), ближнем УФ (240–400 нм), солнечно-слепом (100–

300 нм). В его состав должен входить оптический детектор на основе микроканальной пластины, обеспечивающий регистрацию излучения в диапазоне от дальнего УФ до мягкого рентгеновского.

**Комплекс научной аппаратуры для мониторинга в гамма-диапазоне.** Комплекс должен включать три широконаправленных сцинтилляционных детектора гамма-излучения типа БДРГ [12] для контроля верхней атмосферы и обзора неба в диапазоне 10–3000 кэВ и трековый гамма-спектрометр высокого разрешения и чувствительности. Детекторный узел каждого блока БДРГ выполнен в виде сборки тонкого (0,3 см) сцинтиллятора NaI(Tl) и сцинтиллятора CsI(Tl) большей толщины (1,7 см) цилиндрической формы. Оба сцинтилляционных кристалла имеют одинаковый диаметр 13 см и просматриваются одним фотоумножителем – так называемым «фосвич». Оси трёх гамма-детекторов типа БДРГ должны быть перпендикулярны друг другу и направлены вдоль взаимно перпендикулярных рёбер куба, образуя собственную Декартову систему координат. При этом главная диагональ куба должна быть ориентирована в нади́р.

Трековый гамма-спектрометр высокого разрешения и чувствительности представляет собой комбинацию позиционно-чувствительного детектора с кодирующей маской. В состав прибора также входит годоскопический узел на основе сцинтилляционных волокон. Ось прибора должна быть направлена вдоль оси «нади́р-зенит», при этом со стороны кодирующей маски прибор должен быть ориентирован в зенит, а со стороны годоскопического узла – в нади́р. Эффективная площадь гамма-спектрометра ~ 250 см<sup>2</sup>, диапазон энергий 50 – 5000 кэВ (в режиме кодирования 50 – 1000 кэВ), угловое разрешение ~ 2°, поле зрения полного кодирования ± 25°. Гамма-телескоп даёт возможность проводить проверку появления точечного источника и, таким образом, отделять гамма-всплески различной природы от высыпаний частиц. Аппаратура включает блок анализа данных, содержащий узлы цифровой электроники, позволяющие вести запись показаний с высоким временным разрешением (до 10 мкс), проводить оперативный анализ изображений с телескопа с кодирующей маской, вырабатывать триггер гамма-всплеска. Трековый гамма-спектрометр может использоваться для идентификации делящихся материалов на борту космических аппаратов и контроля «радиоактивного мусора».

**Блок сбора информации.** В составе аппаратуры на КА №1 должен быть предусмотрен блок сбора информации, осуществляющий сбор научной и телеметрической информации с отдельных приборов и передачу её в бортовое запоминающее устройство (ЗУ), подачу на приборы питания и команд, поступающих от бортовых систем спутника.

При основном рабочем режиме работы аппаратуры все приборы включены и работают непрерывно. Переключение приборов между режимами работы осуществляется по командам с Земли или внутренним циклограммам БСИ. Для оптимизации управления энергопотреблением аппаратуры должен быть предусмотрен формат информационного обмена между БСИ и служебной платформой, включающий информирование об изменении параметров работы системы энергоснабжения КА и переключение научной аппаратуры в последовательные режимы энергосбережения (изменения режимов работы приборов или их частичного отключения).

В ходе осуществления космического эксперимента предполагается создание наземного комплекса, предназначенного для решения задач управления КА, а также приёма и обработки целевой научной информации. Он будет создан на базе наземного научного комплекса (ННК) КА «Ломоносов», который предназначен для планирования целевого применения комплекса научной аппаратуры приёма, обработки, архивации и распространения информации с КА. Созданный ННК представляет собой задел, который будет использован при реализации нового проекта МГУ «Универсат-СОКРАТ»,

что существенно уменьшит расходы на реализацию проекта. Это позволит избежать затрат, связанных с разработкой основных видов обеспечения полёта КА: командно-программного, информационно-телеметрического и навигационно-баллистического обеспечения.

Наряду с системой приёма и обработки космической научной телеметрии в МГУ создана система оперативного анализа и прогнозирования радиационных условий в ОКП, основанная на автоматизированном анализе данных космического мониторинга с использованием операционных моделей внешних воздействующих факторов космической среды [13]. Их использование позволит повысить эффективность создаваемой космической системы «Универсат-СОКРАТ».

### Заключение

Несмотря на разнообразность поставленных перед проектом «Универсат-СОКРАТ» целей по мониторингу потенциально опасных объектов в космосе, их объединение в рамках единой космической системы представляется экономически выгодным по сравнению с проектами, направленными на реализацию мониторинга только одного из опасных космических факторов. Действительно, в данном проекте основная доля массы полезной нагрузки, информационного потока и финансовых затрат приходится на оптические роботизированные системы наблюдений. Остальные предлагаемые приборы мониторинга составляют меньшую долю от общей массы полезной нагрузки, информационного потока и финансовых затрат. Кроме того, следует принять во внимание, что бортовой вычислительный комплекс, предназначенный для бортовой обработки информации, технически и экономически оптимально создавать для комплекса приборов на одной платформе КА, чем на разных КА для выбранных «однаправленных» целевых приборов. Именно поэтому представляется целесообразным объединение отдельных экспериментов в единую систему с целью реализации бюджетного проекта, реализуемого на базе малых КА с общей массой, не превышающей 150 кг. Помимо этого реализация такой схемы проекта позволяет снизить затраты на наземный сегмент управления и приёма информации по сравнению с «распределёнными» проектами, выполняющими задачи мониторинга только одного из опасных космических факторов.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России по результатам исследований в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор №RFMEFI60717X0175).

### Библиографический список

1. Садовничий В.А., Амелюшкин А.М., Ангелопулос В., Бенгин В.В., Богомолов В.В., Гарипов Г.К., Горбовской Е.С., Гроссан Б., Климов П.А., Хренов Б.А., Джик Ли, Липунов В.М., Джи Ву На, Панасюк М.И., Ил Пак, Петров В.Л., Рассел К., Свертилов С.И., Сигаева Е.А., Смут Д.Ф., Шприц Ю.З., Веденькин Н.Н., Яшин И.В. Космические эксперименты на борту спутника МГУ «Ломоносов» // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 6. С. 470-477. DOI: 10.7868/S002342061306006X

2. Панасюк М.И., Свертилов С.И., Богомолов В.В., Гарипов Г.К., Барина В.О., Богомолов А.В., Веденькин Н.Н., Голованов И.А., Июдин А.Ф., Калегав В.В., Климов П.А., Ковтюх А.С., Кузнецова Е.А., Морозенко В.С., Морозов О.В., Мягкова И.Н., Петров В.Л., Прохоров А.В., Рожков Г.В., Сигаева Е.А., Хренов Б.А., Яшин И.В., Климов С.И., Вавилов Д.И., Грушин В.А., Гречко Т.В., Хартов В.В., Кудряшов В.А., Борт-

ников С.В., Мжельский П.В., Папков А.П., Краснопеев С.В., Круг В.В., Корепанов В.Е., Беляев С., Демидов А., Ференц Ч., Боднар Л., Сегеди П., Роткель Х., Моравский М., Пак Ил, Джеон Джин-А, Ким Джи-Ин, Ли Джик Эксперимент на спутнике «Вернов»: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере Земли. Ч. I. Описание эксперимента // *Космические исследования*. 2016. Т. 54, № 4. С. 277-285. DOI: 10.7868/S002342061604004X

3. Панасюк М.И., Свертилов С.И., Богомолов В.В., Гарипов Г.К., Баринаова В.О., Богомолов А.В., Веденькин Н.Н., Голованов И.А., Июдин А.Ф., Калегаев В.В., Климов П.А., Ковтюх А.С., Кузнецова Е.А., Морозенко В.С., Морозов О.В., Мягкова И.Н., Петров В.Л., Прохоров А.В., Рожков Г.В., Сигаева Е.А., Хренов Б.А., Яшин И.В., Климов С.И., Вавилов Д.И., Грушин В.А., Гречко Т.В., Хартов В.В., Кудряшов В.А., Бортников С.В., Мжельский П.В., Папков А.П., Краснопеев С.В., Круг В.В., Корепанов В.Е., Беляев С., Демидов А., Ференц Ч., Боднар Л., Сегеди П., Роткель Х., Моравский М., Пак Ил, Джеон Джин-А, Ким Джи-Ин, Ли Джик Эксперимент на спутнике «Вернов»: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере Земли. Ч. II. Первые результаты // *Космические исследования*. 2016. Т. 54, № 5. С. 369-376. DOI: 10.7868/S0023420616050071

4. Садовничий В.А., Панасюк М.И., Яшин И.В., Баринаова В.О., Веденькин Н.Н., Власова Н.А., Гарипов Г.К., Григорян О.Р., Иванова Т.А., Калегаев В.В., Климов П.А., Ковтюх А.С., Красоткин С.А., Кузнецов Н.В., Кузнецов С.Н., Муравьева Е.А., Мягкова И.Н., Ныммик Р.А., Павлов Н.Н., Парунакян Д.А., Петров А.Н., Петров В.Л., Подзолко М.В., Радченко В.В., Рейзман С.Я., Рубинштейн И.А., Рязанцева М.О., Сигаева Е.А., Сосновец Э.Н., Старостин Л.И., Тулупов В.И., Хренов Б.А., Шахпаронов В.М., Широков А.В., Бобровников С.Ю., Александров В.В., Лемак С.С., Морозенко В.С., Журавлев В.М., Мареев Е.А., Блинов В.Н., Иванов Н.Н., Кожевников В.А., Макриденко Л.А., Краснопеев В.М., Папков А.П., Ли Дж., Пак И., Коцоми Х., Мартинес О., Понсе Э., Салазар У. Исследование космической среды на микроспутниках «Университетский-Татьяна» и «Университетский-Татьяна-2» // *Астрономический вестник*. 2011. Т. 45, № 1. С. 5-31.

5. Harris A.W., D'Abramo G. The population of near-Earth asteroids // *Icarus*. 2015. V. 257. P. 302-312. DOI: 10.1016/j.icarus.2015.05.004

6. Mainzer A., Bauer J., Grav T., Masiero J., Cutri R.M., Wright E., Nugent C.R., Stevenson R., Clyne E., Cukrov G., Masci F. The population of tiny near-Earth objects observed by NEOWISE // *The Astrophysical Journal*. 2014. V. 784, Iss. 2. DOI: 10.1088/0004-637x/784/2/110

7. Панасюк М.И., Подзолко М.В., Ковтюх А.С., Брильков И.А., Власова Н.А., Калегаев В.В., Оседло В.И., Тулупов В.И., Яшин И.В. Оперативный радиационный мониторинг в околоземном космическом пространстве на базе многоярусной группировки малых космических аппаратов // *Космические исследования*. 2015. Т. 53, № 6. С. 461-468. DOI: 10.7868/S0023420615060047

8. Панасюк М.И., Подзолко М.В., Ковтюх А.С., Брильков И.А., Власова Н.А., Калегаев В.В., Оседло В.И., Тулупов В.И., Яшин И.В. Оптимизация измерений потоков частиц радиационных поясов Земли // *Космические исследования*. 2017. Т. 55, № 2. С. 85-93. DOI: 10.7868/S002342061606008X

9. Lipunov V.M., Gorbovskoy E.S., Kornilov V.G., Panasyuk M.I., Amelushkin A.M., Petrov V.L., Yashin I.V., Svertilov S.I., Vedenkin N.N. SHOK – The first Russian wide-field optical camera in space // *Space Science Reviews*. 2018. V. 214, Iss. 1. DOI: 10.1007/s11214-017-0441-x

10. Lipunov V., Kornilov V., Gorbovskoy E., Shatskij N., Kuvshinov D., Tyurina N., Belinski A., Krylov A., Balanutsa P., Chazov V., Kuznetsov A., Kortunov P., Sankovich A.,

Tlatov A., Parkhomenko A., Krushinsky V., Zalozhnyh I., Popov A., Kopytova T., Ivanov K., Yazev S., Yurkov V. Master robotic net // *Advances in Astronomy*. 2010. V. 2010. DOI: 10.1155/2010/349171

11. Kornilov V., Lipunov V., Gorbovskey E., Belinski A.A., Kuvshinov D.A., Tyurina N.V., Shatsky N.I., Sankovich A.V., Krylov A.V., Balanutsa P.V., Chazov V.V., Kuznetsov A.S., Zimnuhov D.S., Senik V.A., Tlatov A.G., Parkhomenko A.V., Dormidontov D.V., Krushinsky V.V., Zalozhnyh I.S., Popov A.A., Yazev S.A., Budnev N.M., Ivanov K.I., Konstantinov E.N., Gress O.A., Chvalaev O.V., Yurkov V.V., Sergienko Y.P., Kudelina I.P. Robotic optical telescopes global network MASTER II. Equipment, structure, algorithms // *Experimental Astronomy*. 2012. V. 33, Iss. 1. P. 173-196. DOI: 10.1007/s10686-011-9280-z

12. Амелюшкин А.М., Галкин В.И., Гончаров Б.В., Горбовской Е.С., Корнилов В.Г., Липунов В.М., Панасюк М.И., Петров В.Л., Смут Д.Ф., Свертилов С.И., Веденькин Н.Н., Яшин И.В. Приборы БДРГ И ШОК для исследования собственного излучения гамма-всплесков на борту космического аппарата «Ломоносов» // *Космические исследования*. 2013. Т. 51, № 6. С. 478-483 DOI: 10.7868/S0023420613060010

13. Калегаев В.В., Бобровников С.Ю., Кузнецов Н.В., Мягкова И.Н., Шугай Ю.С. Центр оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ // *Материалы специальной секции «Практические аспекты науки космической погоды» 11-й ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе»*. Серия «Прикладные аспекты космической погоды». М.: ИКИ РАН, 2016. С. 146-159.

## MULTI-SATELLITE UNIVERSAT-SOCRAT MISSION FOR MONITORING TECHNOGENIC AND NATURAL HAZARDS

© 2019

- V. A. Sadovnichiy** Doctor of Science (Phys. & Math.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Rector of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation; [mmmf@mech.math.msu.su](mailto:mmmf@mech.math.msu.su)
- M. I. Panasyuk** Doctor of Science (Phys. & Math.), Professor, Director of Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [panasyuk@sinp.msu.ru](mailto:panasyuk@sinp.msu.ru)
- V. M. Lipunov** Doctor of Science (Phys. & Math.), Professor, Professor of the Physics Department, Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [lipunov2007@gmail.com](mailto:lipunov2007@gmail.com)
- A. A. Belov** Candidate of Science (Engineering), Junior Researcher, Physics Department; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [aabcd@gmail.com](mailto:aabcd@gmail.com)
- V. V. Bogomolov** Candidate of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Physics Department, Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [bogovit@rambler.ru](mailto:bogovit@rambler.ru)
- G. K. Garipov** Senior Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [ggkmsu@yandex.ru](mailto:ggkmsu@yandex.ru)
- E. S. Gorbovskey** Candidate of Science (Phys. & Math.), Senior Researcher, Sternberg Astronomical Institute; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [gorbovskey@sai.msu.ru](mailto:gorbovskey@sai.msu.ru)
- A. F. Iyudin** Doctor of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Head of Laboratory, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [aiyudin@srd.sinp.msu.ru](mailto:aiyudin@srd.sinp.msu.ru)
- V. V. Kalegaev** Doctor of Science (Phys. & Math.), Head of Laboratory, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [klg@dec1.sinp.msu.ru](mailto:klg@dec1.sinp.msu.ru)

- P. A. Klimov** Candidate of Science (Phys. & Math.), Head of Laboratory, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [pavel.klimov@gmail.com](mailto:pavel.klimov@gmail.com)
- V. G. Kornilov** Doctor of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Associate Professor of the Physics Department; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [victor@sai.msu.ru](mailto:victor@sai.msu.ru)
- S. K. Mit** Software Developer, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [msergey1996@mail.ru](mailto:msergey1996@mail.ru)
- V. I. Osedlo** Candidate of Science (Phys. & Math.), Deputy Director of Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [osedlo@mail.ru](mailto:osedlo@mail.ru)
- V. L. Petrov** Junior Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [vas@srd.sinp.msu.ru](mailto:vas@srd.sinp.msu.ru)
- M. V. Podzolkko** Candidate of Science (Phys. & Math.), Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [spacerad@mail.ru](mailto:spacerad@mail.ru)
- E. P. Popova** Candidate of Science (Phys. & Math.), Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; [popovaelp@mail.ru](mailto:popovaelp@mail.ru)
- I. A. Rubinshtein** Candidate of Science (Engineering), Leading Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [iarubinst@mail.ru](mailto:iarubinst@mail.ru)
- S. I. Svertilov** Doctor of Science (Phys. & Math.), Associate Professor, Professor of the Physics Department, Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru)
- V. I. Tulupov** Candidate of Science (Phys. & Math.), Senior Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [ikt0840@mail.ru](mailto:ikt0840@mail.ru)
- A. S. Chepurnov** Candidate of Science (Phys. & Math.), Senior Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russian Federation; [chas@marathon.ru](mailto:chas@marathon.ru),
- I. V. Yashin** Candidate of Science (Phys. & Math.), Leading Researcher, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics; Lomonosov Moscow State University Moscow, Russian Federation; [iv\\_n@bk.ru](mailto:iv_n@bk.ru)

The natural and “man-made” space environment generates serious risks for the implementation of space missions, both automatic and human. The main natural and technogenic risk factors that limit or pose a threat to the implementation of space-based automatic and manned space missions in the near-Earth space are cosmic radiation and space debris. In the upper layers of the atmosphere, natural transient electromagnetic phenomena associated with significant energy release are also risk factors for suborbital flights. It is planned to create a system of spacecraft in the proposed “Universat-SOCRAT” project that makes it possible, in a mode close to real-time, to determine the radiation conditions in a significant part of the area of trapped radiation, up to the orbits of global navigation satellite systems or the geostationary orbit. It is also planned to create a space segment of monitoring space debris and electromagnetic transients in the upper atmosphere. Monitoring of space debris will allow all-weather and global tracking of near-Earth objects and, thereby, increase the efficiency of analyzing data and making necessary decisions. In some cases it will improve the accuracy of determining the coordinates of objects for their subsequent cataloging. Successful realization of the project will make it possible to create a space system for monitoring and preventing space hazards for both ongoing and planned space missions for the first time in the world.

*Radiation environment; asteroids; meteorites; space debris; electromagnetic transients.*

---

**Citation:** Sadovnichiy V.A., Panasyuk M.I., Lipunov V.M., Belov A.A., Bogomolov V.V., Garipov G.K., Gorbovskoi E.S., Iyudin A.F., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Kornilov V.G., Mit S.K., Osedlo V.I., Petrov V.L., Podzolkko M.V., Popova E.P., Rubinshtein I.A., Svertilov S.I., Tulupov V.I., Chepurnov A.S., Yashin I.V. Multi-satellite Universat-SOCRAT mission for monitoring technogenic and natural hazards. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. V. 18, no. 1. P. 94-108. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-94-108

## References

1. Sadovnichiy V.A., Amelyushkin A.M., Angelopoulos V., Bengin V.V., Bogomolov V.V., Garipov G.K., Gorbovskoy E.S., Grossan B., Klimov P.A., Khrenov B.A., Lee J., Lipunov V.M., Na G.W., Panasyuk M.I., Park I.H., Petrov V.L., Russell C.T., Svertilov S.I., Sigaeva E.A., Smoot G.F., Shprits Y., Vedenkin N.N., Yashin I.V. Space experiments aboard the Lomonosov MSU satellite. *Cosmic Research*. 2013. V. 51, Iss. 6. P. 427-433. DOI: 10.1134/S0010952513060063
2. Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Garipov G.K., Barinova V.O., Bogomolov A.V., Veden'kin N.N., Golovanov I.A., Iyudin A.F., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Kuznetsova E.A., Morozenko V.S., Morozov O.V., Myagkova I.N., Petrov V.L., Prokhorov A.V., Rozhkov G.V., Sigaeva E.A., Khrenov B.A., Yashin I.V., Klimov S.I., Vavilov D.I., Grushin V.A., Grechko T.V., Khartov V.V., Kudryashov V.A., Bortnikov S.V., Mzhel'skiy P.V., Papkov A.P., Krasnopeev S.V., Krug V.V., Korepanov V.E., Belyaev S., Demidov A., Ferenz C., Bodnar L., Szegedi P., Rotkel H., Moravskiy M., Park I., Jeon J.-A., Kim J.-I., Lee J. Experiment on the Vernov satellite: Transient energetic processes in the Earth's atmosphere and magnetosphere. Part I: Description of the experiment. *Cosmic Research*. 2016. V. 54, Iss. 4. P. 261-269. DOI: 10.1134/S0010952516040043
3. Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Garipov G.K., Barinova V.O., Bogomolov A.V., Veden'kin N.N., Golovanov I.A., Iyudin A.F., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Kuznetsova E.A., Morozenko V.S., Morozov O.V., Myagkova I.N., Petrov V.L., Prokhorov A.V., Rozhkov G.V., Sigaeva E.A., Khrenov B.A., Yashin I.V., Klimov S.I., Vavilov D.I., Grushin V.A., Grechko T.V., Khartov V.V., Kudryashov V.A., Bortnikov S.V., Mzhel'skiy P.V., Papkov A.P., Krasnopeev S.V., Krug V.V., Korepanov V.E., Belyaev S., Demidov A., Ferenz C., Bodnar L., Szegedi P., Rotkel H., Moravskiy M., Park I., Jeon J.-A., Kim J.-I., Lee J. Experiment on the Vernov satellite: Transient energetic processes in the Earth's atmosphere and magnetosphere. Part II. First results. *Cosmic Research*. 2016. V. 54, Iss 5. P. 343-350. DOI: 10.1134/S0010952516050051
4. Sadovnichiy V.A., Panasyuk M.I., Yashin I.V., Barinova V.O., Veden'kin N.N., Vlasova N.A., Garipov G.K., Grigoryan O.R., Ivanova T.A., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Krasotkin S.A., Kuznetsov N.V., Kuznetsov S.N., Murav'eva E.A., Myagkova I.N., Nymmik R.A., Pavlov N.N., Parunakyan D.A., Petrov A.N., Petrov V.L., Podzolkov M.V., Radchenko V.V., Reizman S.Y., Rubinshtein I.A., Ryazantseva M.O., Sigaeva E.A., Sosnovets E.N., Starostin L.I., Tulupov V.I., Khrenov B.A., Shakhparonov V.M., Shirokov A.V., Bobrovnikov S.Y., Aleksandrov V.V., Lemak S.S., Morozenko V.S., Zhuravlev V.M., Mareev E.A., Blinov V.N., Ivanov N.N., Kozhevnikov V.A., Makridenko L.A., Krasnopeev V.M., Papkov A.P., Lee J., Park I., Cotzomi J., Martinez O., Ponce E., Salazar H. Investigations of the space environment aboard the Universitetsky-Tat'yana and Universitetsky-Tat'yana-2 microsatellites. *Solar System Research*. 2011. V. 45, Iss. 1. P. 3-29. DOI: 10.1134/S0038094611010096
5. Harris A.W., D'Abramo G. The population of near-Earth asteroids. *Icarus*. 2015. V. 257. P. 302-312. DOI: 10.1016/j.icarus.2015.05.004
6. Mainzer A., Bauer J., Grav T., Masiero J., Cutri R.M., Wright E., Nugent C.R., Stevenson R., Clyne E., Cukrov G., Masci F. The population of tiny near-Earth objects observed by NEOWISE. *The Astrophysical Journal*. 2014. V. 784, Iss. 2. DOI: 10.1088/0004-637x/784/2/110
7. Panasyuk M.I., Podzolkov M.V., Kovtyukh A.S., Bril'kov I.A., Vlasova N.A., Kalegaev V.V., Osedlo V.I., Tulupov V.I., Yashin I.V. Operational radiation monitoring in near-Earth space based on the system of multiple small satellites. *Cosmic Research*. 2015. V. 54, Iss. 6. P. 423-429. DOI: 10.1134/S0010952515060039

8. Panasyuk M.I., Podzolko M.V., Kovtyukh A.S., Bril'kov I.A., Vlasova N.A., Kalegaev V.V., Osedlo V.I., Tulupov V.I., Yashin I.V. Optimization of measurements of the Earth's radiation belt particle fluxes. *Cosmic Research*. 2017. V. 55, Iss 2. P. 79-87. DOI: 10.1134/S0010952516060071

9. Lipunov V.M., Gorbovskoy E.S., Kornilov V.G., Panasyuk M.I., Amelushkin A.M., Petrov V.L., Yashin I.V., Svertilov S.I., Vedenkin N.N. SHOK – The first Russian wide-field optical camera in space. *Space Science Reviews*. 2018. V. 214, Iss. 1. DOI: 10.1007/s11214-017-0441-x

10. Lipunov V., Kornilov V., Gorbovskoy E., Shatskiy N., Kuvshinov D., Tyurina, N., Belinski A., Krylov A., Balanutsa P., Chazov V., Kuznetsov A., Kortunov P., Sankovich A., Tlatov A., Parkhomenko A., Krushinsky V., Zalozhnyh I., Popov A., Kopytova T., Ivanov K., Yazev S., Yurkov V. Master robotic net. *Advances in Astronomy*. 2010. V. 2010. DOI: 10.1155/2010/349171

11. Kornilov V., Lipunov V., Gorbovskoy E., Belinski A.A., Kuvshinov D.A., Tyurina N.V., Shatskiy N.I., Sankovich A.V., Krylov A.V., Balanutsa P.V., Chazov V.V., Kuznetsov A.S., Zimnuhov D.S., Senik V.A., Tlatov A.G., Parkhomenko A.V., Dormidontov D.V., Krushinsky V.V., Zalozhnyh I.S., Popov A.A., Yazev S.A., Budnev N.M., Ivanov K.I., Konstantinov E.N., Gress O.A., Chvalaev O.V., Yurkov V.V., Sergienko Y.P., Kudelina I.P. Robotic optical telescopes global network MASTER II. Equipment, structure, algorithms. *Experimental Astronomy*. 2012. V. 33, Iss. 1. P. 173-196. DOI: 10.1007/s10686-011-9280-z

12. Amelyushkin A.M., Galkin V.I., Goncharov B.V., Gorbovskoy E.S., Kornilov V.G., Lipunov V.M., Panasyuk M.I., Petrov V.L., Smoot G.F., Svertilov S.I., Vedenkin N.N., Yashin I.V. The BDRG and SHOK instruments for studying gamma-ray burst prompt emission onboard the Lomonosov spacecraft. *Cosmic Research*. 2013. V. 51, Iss. 6. P. 434-438. DOI: 10.1134/S0010952513060014

13. Kalegaev V.V., Bobrovnikov S.Yu., Kuznetsov N.V., Myagkova I.N., Sugay Yu.S. Space monitoring data center of SINP MSU. *Materialy spetsial'noy sekcii «Prakticheskie aspekty nauki kosmicheskoy pogody» 11-y ezhegodnoy konferentsii «Fizika plazmy v Solnechnoy sisteme»*. Seriya «Prikladnye aspekty kosmicheskoy pogody». Moscow: IKI RAN Publ., 2016. P. 146-159. (In Russ.)