

## **ГРУППИРОВКА НАНОСПУТНИКОВ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА «СОЗВЕЗДИЕ-270»**

С.И. Свертилов<sup>1,2</sup>, В.В. Богомоллов<sup>1,2</sup>, А.В. Богомоллов<sup>1</sup>, В.И. Оседло<sup>1</sup>, В.В. Бенгин<sup>1</sup>,  
И.А. Золотарев<sup>1</sup>, А.Ф. Июдин<sup>1</sup>, В.В. Калегаев<sup>1</sup>, И.В. Яшин<sup>1</sup>, Г.И. Антонюк<sup>1</sup>,  
К.С. Жильченко<sup>1</sup>, А.А. Мути<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет

[sis@coronas.ru](mailto:sis@coronas.ru)

В последние годы в Московском университете реализуется собственная космическая программа, в ходе которой осуществляются мониторинг потоков частиц и квантов в околоземном пространстве и наблюдения электромагнитных транзиентов различной природы. В этом плане следует отметить успешный запуск таких спутников, как «Университетский-Татьяна» [1], «Университетский-Татьяна-2» [1], «Вернов» [2, 3], «Ломоносов» [4]. Следующим шагом в этом направлении будет новый проект Московского университета «Созвездие-270». В ходе реализации этого проекта планируется создать систему космических аппаратов, позволяющую в режиме, близком к реальному времени, определять уровни радиационных нагрузок, создаваемых ионизирующей радиацией не только в районе орбит самих космических аппаратов (КА), но и определять радиационную обстановку в значительной части радиационных поясов, вплоть до орбит глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) или геостационарной (ГСО). Отдельной задачей является исследование всплесков в различных диапазонах электромагнитного спектра астрофизического и атмосферного происхождения.

Главное отличие данного проекта от существующей сегодня отечественной группировки метеорологических и геофизических КА («Метеор», «Электро», «Арктика»), одной из целей которой является контроль радиационной обстановки в околоземном пространстве, является определение радиационных нагрузок и оповещение об опасных ситуациях в режиме времени, близком к реальному. Это подразумевает регистрацию изменений потоков энергичных частиц с характерными временами, типичными для геомагнитных возмущений – от десятков минут и часов до нескольких суток или даже недель. Как показывают наблюдения, на подобных временных масштабах во время главной фазы магнитной бури или суббури может меняться радиационная обстановка в районе внешней кромки радиационных поясов Земли, что соответствует орбитам ГНСС и ГСО. При этом могут значительно измениться дозы радиации, вероятность внутренней и внешней электризации спутника и т.п. (см., например, [5]). Следует отметить, что вариации потоков радиации будут различными на более низких и более высоких орбитах. Так, например, на более низких орбитах изменения радиационных условий происходят более медленно и с запаздыванием относительно начала геомагнитного возмущения, чем на более высоких. Именно эта задача - определение радиационных нагрузок на разных орбитах КА на временных интервалах, сопоставимых с характерными временами изменений потоков радиации в околоземном пространстве и является центральной для данного проекта, и в этом его отличие от существующих и планируемых космических систем, позволяющих, по существу, идентифицировать только ло-

кальные изменения радиационных нагрузок и не имеющих возможности оценить по этим данным уровни радиации на других КА, на которых не установлены приборы радиационного контроля.

Предполагается, что в рамках проекта «Созвездие-270» на низкие круговые орбиты (высотой ~500 – 800 км) будет запущено не менее 20 КА формата кубсат, на которых планируется установить различные приборы для регистрации энергичных заряженных частиц, гамма-квантов, а также детекторов-фотометров для изучения УФ свечения атмосферы. В перспективе предполагается расширить тематику экспериментов, которые наряду с космофизическими и геофизическими задачами должны охватить исследования в области астробиологии, межспутниковой связи, контроля движения самолетов и морских перевозок и др. Особенно следует отметить возможности создаваемой мульти-спутниковой группировки в плане обеспечения различных проектов по освоению Арктического региона.

Помимо развертывания орбитальной группировки проект «Созвездие-270» предполагает создание сети приемных станций, распределенных по меридианам. На первом этапе реализации проекта предполагается развернуть не менее 5 наземных приемных пункта с использованием антенн, работающих в УКВ, S и X диапазонах. Таким образом, будет создана единая система КА и наземных приемных станций, которые должны быть установлены в регионах от Калининградской области до Камчатки таким образом, чтобы обеспечить управление КА, а также регулярный прием данных со спутников группировки, находящихся в разных точках околоземного пространства, что позволит существенно увеличить объем передаваемой информации (см. рис. 1).

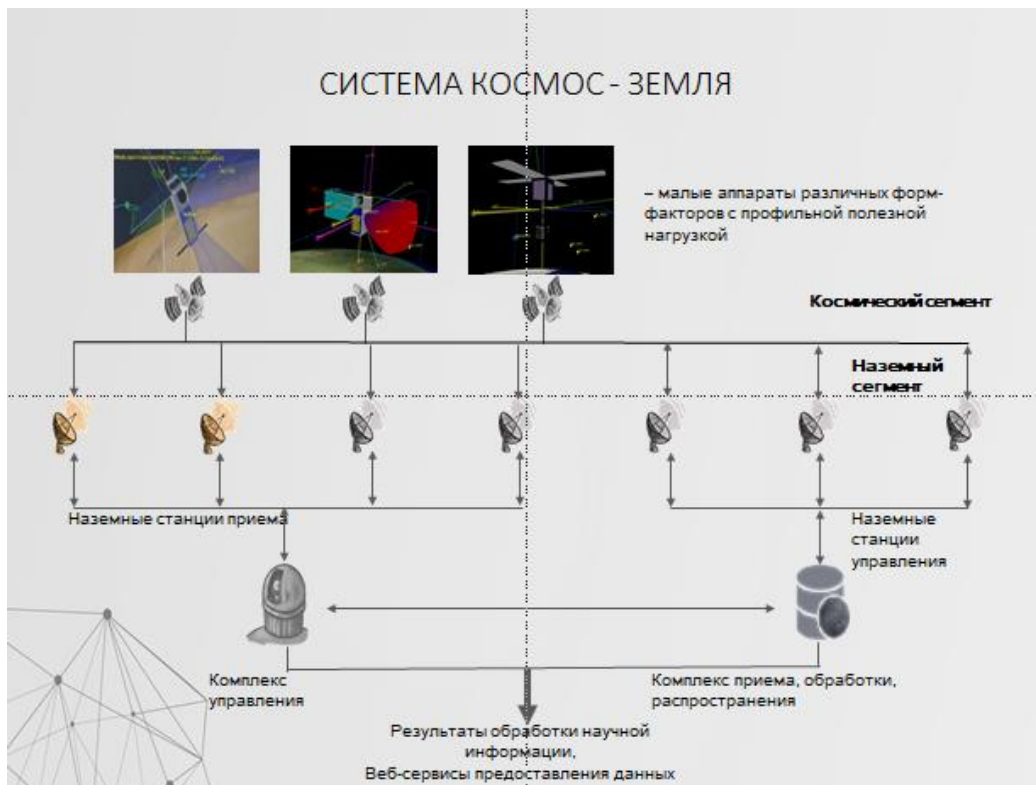


Рисунок 1. Система орбитальных и наземных средств, обеспечивающих управление и прием данных с КА мульти-спутниковой группировки

Важнейшей задачей проекта является образовательная составляющая [6, 7]. Образовательный компонент проекта направлен на вовлечение школьников и студентов в космические исследования. В рамках этой работы планируется существенно увеличить число наземных приемных

пунктов, которые могут устанавливаться в школах и других образовательных учреждениях. Предполагается участие школьников и студентов в подготовке и проведении космических экспериментов, приеме и обработке научной и телеметрической информации, получаемой с помощью антенн, устанавливаемых непосредственно на территории школ, участвующих в проекте. Таким образом, школьники будут привлечены к созданию электронных узлов приборов, в частности, к проведению их наземной экспериментальной отработки, к получению и систематизации калибровочных данных. Школьники должны будут участвовать в пополнении баз данных, используемых для прогноза космической погоды, обработке и анализе данных, получаемых в ходе реализации космического эксперимента.

Первый опыт мониторинга космической радиации с помощью измерений на спутнике формата кубсат был получен как раз в ходе реализации образовательного проекта «СириусСат», в ходе которого 15 августа 2018 г. космонавтами с Международной космической станции были запущены два кубсата формата 1U («СириусСат-1» и «СириусСат-2»), которые успешно проработали на орбите более 2-х лет. В создании полезной нагрузки этих спутников непосредственное участие принимали школьники в ходе проектной смены в образовательном центре «Сириус». Развертывание мульти-спутниковой группировки было начато 5 июля 2019 г., когда с космодрома Восточный были успешно запущены 3 КА формата кубсат 3U. Выполнение космической программы МГУ было продолжено успешным запуском 28 сентября 2020 г. трех КА (2 формата кубсат 6U, один формата кубсат 1.5U), 9 августа 2022 г. было запущено еще три спутника формата кубсат 3U. На всех этих спутниках установлены прибор, разработанные в НИИЯФ МГУ для мониторинга космической радиации и наблюдений транзиентных явлений в атмосфере Земли [8]. Таким образом, на сегодняшний день осуществлен запуск 11 КА типа кубсат, из них 5 аппаратов функционируют на околоземной орбите.

В ходе экспериментов на этих КА получена информация о динамике потоков электронов суб-релятивистских энергий, в том числе о природе кратковременных (с характерными временами порядка 1 мс) вариаций потоков, обусловленных высыпаниями, что имеет большое значение для понимания механизмов ускорения и потерь захваченных и квази-захваченных электронов. Были зарегистрированы вспышки УФ излучения из атмосферы Земли, а также кандидаты в астрофизические гамма-всплески. Таким образом, начата реализация уникальной мульти-спутниковой группировки, позволяющей проводить одновременные измерения потоков частиц и квантов, а также транзиентных атмосферных явлений с помощью однотипной аппаратуры в разных точках околоземного пространства. Результаты летной эксплуатации наноспутников формата кубсат показали, что группировка малых КА представляет собой эффективную систему, позволяющую получить текущую картину и прогнозную оценку радиационных условий в значительной области околоземного пространства.

### **Список литературы:**

1. Исследование космической среды на микроспутниках «Университетский-Татьяна» и «Университетский-Татьяна-2» / В.А. Садовничий, М.И. Панасюк, И.В. Яшин [и др.] // *Астрономический вестник*. 2011. Т. 45, № 1. С. 5–31.
2. Эксперимент на спутнике «Вернов»: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере Земли. Ч.1. Описание эксперимента / М.И. Панасюк, С.И. Свертилов, В.В. Богомолов [и др.] // *Космические исследования*. 2016. Т. 54, № 4. С. 277–285. DOI: 10.7868/S0023420616050071.

3. Эксперимент на спутнике «Вернов»: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере Земли. Ч.II. Первые результаты / М.И. Панасюк, С.И. Свертилов, В.В. Богомолов [и др.] // Космические исследования. 2016. Т. 54, № 5. С. 369–376. DOI: 10.7868/S0023420616050071.
4. Космические эксперименты на борту спутника МГУ «Ломоносов» / В.А. Садовничий, А.М. Амелюшкин, В. Ангелопулос [и др.] // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 6. С. 470–477.
5. Radiation environment at the end of active functioning of “Vernov” satellite / M.I. Panasyuk, V.V. Kalegaev, I.N. Myagkova [et al.] // Cosmic Research. 2017. V. 55, № 6. P. 464–468.
6. Учебно-образовательный проект «Монитор» на основе группировки кубсатов / В.И. Оседло, Г.И. Антонюк, В.В. Бенгин [и др.] // Четвертый Российский симпозиум по наноспутникам с международным участием RusNanoSat-2021 (28-30 июня 2021, Самара). Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. Россия, 2021.  
URL: <http://volgaspace.org/rusnanosat/> (дата обращения: 15.06.2023).
7. Научно-образовательный проект «Монитор» на основе спутников в стандарте кубсат / В.В. Богомолов, Г.И. Антонюк, В.В. Бенгин [и др.] // Сборник тезисов докладов Первой международной конференции по космическому образованию «Дорога в космос» (5-8 октября 2021, Москва). ФГБУН ИКИ РАН, 2021. С. 53-54.  
URL: <https://roadtospace.cosmos.ru/docs/2021/RoadToSpace-AbstractBook-2021-v2.pdf> (дата обращения: 16.06.2023).
8. Первый опыт мониторинга космической радиации в мультиспутниковом эксперименте Московского университета в рамках проекта «Универсат-СОКРАТ» / В.В. Богомолов, А.В. Богомолов, Ю.Н. Дементьев [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. 2020. Т.74, №6. С.135–141. DOI: 10.3103/S0027134920060089