

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ПРИПОЛЯРНЫХ УЧАСТКАХ ОРБИТЫ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ**

Р.А. Алешко, А.С. Гордейчик, Д.А. Вяткин, К.В. Шошина, В.В. Березовский, В.В. Крехалев,  
А.В. Пономарев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

[r.aleshko@gmail.com](mailto:r.aleshko@gmail.com)

Неотъемлемым элементом в системе управления малым космическим аппаратом (МКА) являются данные телеметрии, которые обеспечивают контроль состояния его отдельных узлов и параметров движения [1]. Своевременная корректировка программ полета, выполненная на основе проанализированных телеметрических данных, позволяет значительно продлить жизнь МКА на орбите.

На бортовые системы спутников влияют многие факторы космического пространства, включая галактические космические лучи, солнечные космические лучи, радиационные пояса Земли, ионизирующее электромагнитное излучение, геомагнитные бури и суббури. Указанные факторы вызывают деградацию материалов, электризацию поверхности МКА, возникновение объемного заряда внутри МКА, сбои в электронике бортовых систем, нарушение связи с аппаратом.

В период 2023-2025 гг. ожидается максимум очередного, 25-го цикла солнечной активности. Вследствие высокой активности Солнца возрастет эффект разрушительного воздействия гелиогеофизических факторов на космические аппараты, поэтому изучение проблемы безопасности функционирования МКА в текущий момент очень актуально. Особенно это актуально для приполярных регионов планеты, где замыкаются магнитные линии Земли и скапливаются заряженные частицы.

По данным исследований доля сбоев и отказов полноразмерных КА по причине факторов космической погоды (КП) может достигать 60% от общего числа неисправностей. Для МКА на низкой околоземной орбите (НОО) это количество выше по причине уязвимости отдельных систем к воздействию факторов КП (отсутствие возможности установки дополнительной защиты, отсутствие систем дублирования и др.).

Большой объем данных телеметрии, непрерывно поступающий с борта МКА на приемные станции по всему миру, а также информация о КП, оказывающей влияние на параметры систем спутников, требует разработки новых методик и алгоритмов анализа полученных данных, основанных на методах машинного обучения с целью снижения количества сбоев в работе МКА, вызванных негативными факторами КП.

Научная задача, которую ставит перед собой коллектив авторов заключается в увеличении гарантированного срока активного существования МКА на орбите, повышении живучести и устойчивости работы путем разработки системы обеспечения безопасного функционирования космических аппаратов в условиях влияния негативных факторов КП.

Некоторые неисправности, такие как электрические пробой и сбои в каналах связи можно предугадать, измеряя различные параметры непосредственно на борту МКА. Другим подходом

к прогнозированию неисправностей и сбоев на МКА является статистический [2, 3]. Совместный анализ сбоев на спутниках и вариации параметров КП дает возможность установить взаимосвязи между различными состояниями среды, в которой находится аппарат и возникновением на нем нештатных ситуаций. Объединение этих методов делает возможным комплексный анализ состояния группировок спутников, схожих по определенным конструктивным характеристикам, и, при совместном рассмотрении геофизической обстановки [4, 5], параметров на спутнике, его положения в пространстве, даст возможность прогнозировать аномалии на борту конкретного КА [6].

В рамках предварительного поискового исследования был проведен ряд экспериментов с данными спутника SiriusSat-1 в период его активного функционирования на орбите. Результаты проведенного исследования [7] показали, что высокая солнечная активность и связанное с ней повышенное геомагнитное возмущение оказывает значительное влияние на функционирование МКА на НОО. Зафиксирован рост числа аномалий в данных телеметрии МКА при увеличении абсолютного значения индекса геомагнитной активности Dst. Изучено влияние, оказываемое факторами космической погоды (КП), на текущее состояние систем МКА. Показано возрастающая зависимость между параметрами аппарата и изменением геомагнитной активности, усиливающаяся в приполярных областях орбиты.

Ввиду того, что абсолютное большинство МКА транслируют данные телеметрии в режиме прямого вещания, наибольшее значение для продолжения исследований и получения данных телеметрии МКА имеют станции приема космических данных, расположенные на территориях, максимально близких к полюсам.

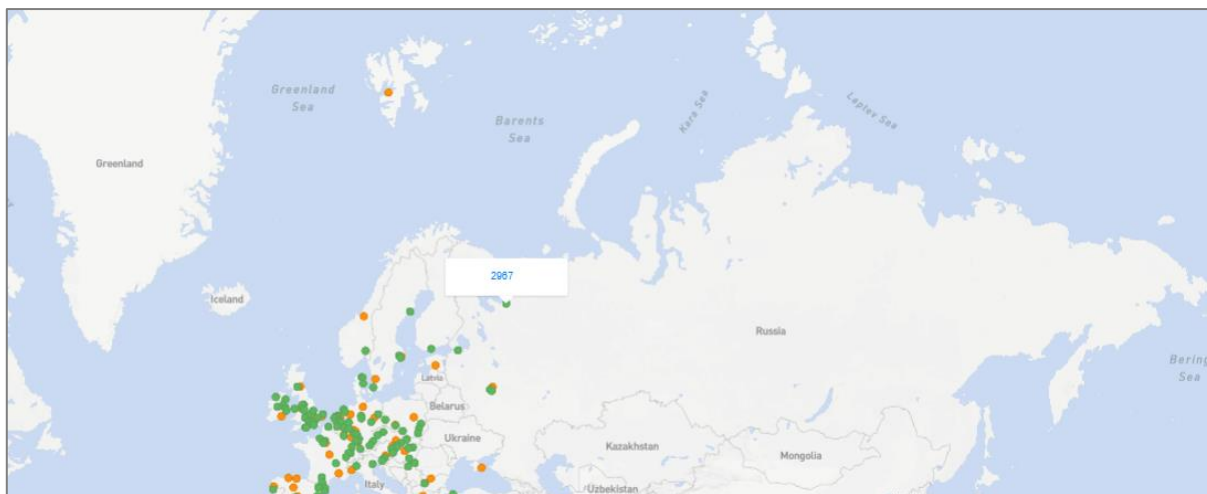


Рисунок 1 – Приемные станции в сети SatNOGS

На текущий момент приемная станция на базе Центра космического мониторинга Арктики (ЦКМА) Северного (Арктического) федерального университета является наиболее северной активно функционирующей станцией в крупнейшей распределенной по всему миру сети приема данных с МКА SatNOGS (Рисунок 1). Помимо антенного комплекса для приема данных в радиоловительском диапазоне 430-440 МГц, центр оснащен станциями приема данных со спутников в X- (8ГГц, модернизируется для приема на частоте 10,5 ГГц) и L-диапазоне (1,7 ГГц).

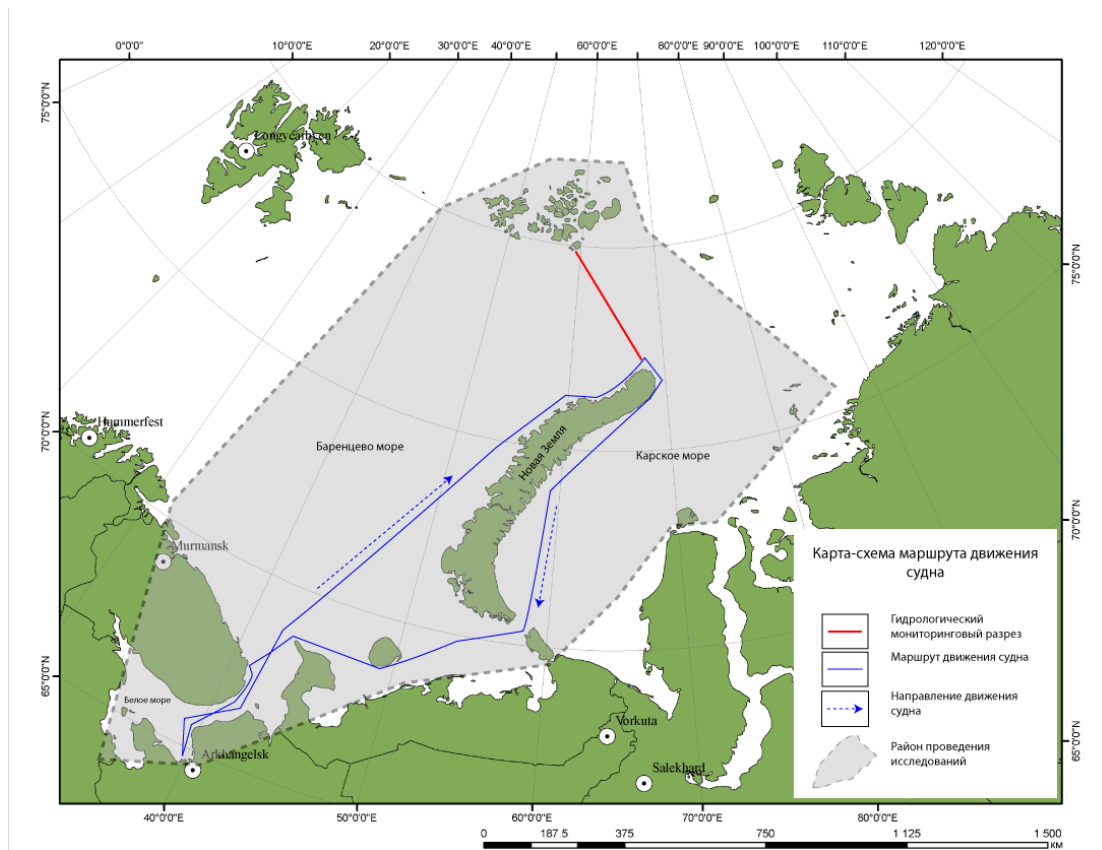


Рисунок 2 – Маршрут экспедиции «Арктический плавучий университет-2023»

Кроме того, с целью сбора данных телеметрии с МКА в приполярных районах, на борту научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов» в период экспедиции «Арктический плавучий университет-2023» будет размещена станция приема данных с малых спутников. Помимо получения данных, в рамках экспедиции будет выполнена оценка перспектив размещения приемных станций в приполярных районах на маршруте следования исследовательского судна (Рисунок 2).

Для целей получения данных о КП и состояния систем МКА в рамках единой системы, Северным (Арктическим) федеральным университетом реализуется проект запуска собственного исследовательского спутника ArcticSat-1.

Главным элементом полезной нагрузки аппарата является детектор космической радиации, способный регистрировать электроны энергией более 300кэВ, а также гамма-излучение [8]. Помимо данных с детектора, будут учитываться информация с наземных станций наблюдения за КП.

По данным исследований [9] даже умеренные ионосферные бури влияют на системы спутниковой связи, работающие в диапазоне частот от 150 до 500 МГц, в том числе на возможности приема сигналов автоматической идентификационной системы (АИС), что, в свою очередь, способно вызывать сложности при организации судоходства в акватории Северного морского пути. Для более детального исследования указанных процессов на борту ArcticSat-1 будет размещен приемник сигналов системы АИС.

Таким образом, для предупреждения негативного влияния факторов КП на системы МКА и средства связи в приполярных участках орбиты, необходимо создание специализированной методики, которая поможет своевременно реагировать на возникновение негативных условий

космической среды и значительно продлить время жизни МКА на орбите. В отсутствие полноценных систем защиты МКА, организационные методы повышения надежности имеют преимущества перед другими в своей простоте и возможности применения к уже функционирующим на орбите аппаратам.

### **Благодарности**

Исследование выполняется при поддержке Российского научного фонда и Правительства Архангельской области, проект 23-11-20026.

### **Список литературы:**

1. Анализ телеметрии с космического аппарата «Юбилейный» / С.В. Беневольский, В.И. Майорова, Д.А. Гришко [и др.] // *Машиностроение и компьютерные технологии*. 2011. № 13. С. 59.
2. Статистическая связь частоты сбоев на геостационарных спутниках с потоками энергичных электронов и протонов / Н.В. Романова, В.А. Пилипенко, Н.В. Ягова [и др.] // *Космические исследования*. 2005. Т. 43, № 3. С. 186-193.
3. Statistical relationships between satellite anomalies at geostationary orbit and high-energy particles / V. Pilipenko, N. Yagova, N. Romanova [et al.] // *Advances in Space Research* 37. 2006. С. 1192-1205.
4. Прогнозирование Dst-индекса, основанное на методах машинного обучения / А.О. Ефимов, И.Н. Мягкова, В.Р. Широкий [и др.] // *Космические исследования*. 2018. Т. 56, № 6. С. 420-428.
5. Camporeale E. The challenge of machine learning in space weather: Nowcasting and forecasting // *Space Weather*. 2019. Т. 17, № 8. С. 1166-1207.
6. Перспективная система геофизического обеспечения управления космическими аппаратами в условиях высокой солнечной активности / С.В. Тасенко, В.А. Чиженков, П.В. Шатов [и др.] // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2012. Т. 128, № 3. С. 234-241.
7. Алешко Р.А., Саечников В.А. Анализ влияния факторов космической погоды на параметры телеметрии малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите // *Материалы Восьмого Белорусского космического конгресса (25-27 октября 2022 г., Минск)*. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2022. С. 145-148.
8. Использование малых космических аппаратов в формате кубсат для обеспечения мониторинга радиационных потоков на орбитах космических аппаратов / В.В. Богомол, Ю.К. Зайко, В.В. Калегаев [и др.] // *Материалы III Всероссийской научно-практической конференции Проблемы создания и применения космических аппаратов и систем средств выведения в интересах решения задач Вооруженных сил Российской Федерации (Санкт-Петербург, 12-13 апреля 2022 г.)*. СПб: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2010. С. 13-20.
9. Murray S. A. The importance of ensemble techniques for operational space weather forecasting // *Space Weather*. 2018. Т. 16, №7. С. 777-783.