

УДК 550.380:520.6.05

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

© 2025 г. А. А. Брагина*, В. Т. Минлигареев, С. Д. Богодяж

Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова (ФГБУ “ИПГ”), Москва, Россия

*e-mail: anastasia.a.bragina@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.10.2023 г.

После доработки 21.02.2024 г.

Принята к публикации 22.02.2024 г.

В работе рассматриваются предпосылки к созданию спутниковых систем малых космических аппаратов (МКА) типа кубсат гелиогеофизического назначения. Описаны история появления и особенности такого типа платформ, приведены примеры их реализации. Рассмотрены также отечественные спутниковые группировки МКА, разработанные по программам “Универсат” и “Space-Pi”. Отмечены МКА с магнитометрической измерительной аппаратурой на борту. По результатам анализа определены основные актуальные направления для развития бортовой гелиогеофизической и, в частности, магнитометрической аппаратуры. Также выявлены проблемы в системе реализации получаемых данных. В качестве примеров современных разработок в сфере спутниковых гелиогеофизических наблюдений описана деятельность ФГБУ “ИПГ” в качестве тематического заказчика, эксперта и изготовителя аппаратуры. Описаны возможности анализа данных с уже эксплуатируемых приборов, также заявлены перспективы дальнейших разработок.

DOI: 10.31857/S0023420625010091, EDN: HDZTZJ

1. ВВЕДЕНИЕ

В 1999 г. в Калифорнийском политехническом государственном университете совместно с Лабораторией разработки космических систем Стэнфордского университета был сформирован стандарт микроспутников типа кубсат. Такие спутники представляют собой различные комбинации кубов (1 куб – 1U) размерами $10 \times 10 \times 10$ см. Внутри корпуса располагается различная служебная и научная аппаратура. Такой стандарт был принят множеством организаций по всему миру.

Целью создания малых космических аппаратов (МКА) типа кубсат являлось облегчение доступа к изучению космического пространства для студентов университетов. Сейчас же разработчиками могут стать не только образовательные учреждения, но и частные компании, и государственные предприятия. Как, например, один из крупнейших производителей авиационной, космической и военной техники “The Boeing Company”. Его дочернее предприятие – компания “Millennium Space Systems” провела эксперимент, демонстрирующий технологию, которая позволит быстро

сводить с орбиты завершившие свою миссию спутники. В эксперименте участвовали два МКА типа кубсат формата 6U.

История развития микроспутников в России началась сравнительно недавно. Предпосылкой к началу создания кубсатов стал первый успешный запуск в 2012 г. российского МКА – “Чибис-М”. Он был разработан и создан Институте космических исследований РАН совместно с другими отечественными научными и инженерно-технологическими организациями (Спутникс, Инженерно-технологический центр “Сканэкс” и др.). Проект был успешно завершен 16.X.2014. Данные, полученные “Чибис-М”, внесли существенный вклад в изучение процессов, происходящих в атмосфере при электрических разрядах [1, 2].

Начиная с того времени было реализовано внушительное количество научных и технических экспериментов. Из достаточно успешных стоит отметить работу МКА *СириусСат-1*, -2 по анализу быстрой переменности потоков электронов в околоземном пространстве [3, 4]

и эксперименты по радиационному мониторингу в реальном времени в околоземном космическом пространстве [5].

Микроспутники имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с полноразмерными КА. В первую очередь это высокая скорость подготовки и простота исполнения — малый размер значительно упрощает процесс разработки, сборки, тестирования и других этапов создания аппарата. Среди отличительных особенностей также присутствует возможность работы на низких околоземных орбитах, на высотах 300–500 км. Из недостатков отмечается относительно малый срок активного существования (САС) и ограничения по габаритам и массе.

В настоящее время реализуется большое количество отечественных и зарубежных программ по формированию спутниковых группировок МКА. Значительная часть целевой бортовой аппаратуры направлена на решение задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности — задач гелиогеофизики и мониторинга космической погоды. Среди них: наблюдение за околоземным космическим пространством (ОКП), ионосферой, атмосферой и магнитосферой. Одними из наиболее востребованных направлений среди перечисленных являются магнитометрические спутниковые наблюдения [6]. В настоящее время это основной источник информации о магнитном поле Земли (МПЗ). Модели аномального и нормального магнитного поля Земли (WDMAM, EMAG, IGRF) рассчитаны и построены по данным спутниковых съемок.

2. СПУТНИКОВЫЕ МАГНИТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Задачи исследования магнитосферы Земли привлекают внимание ученых различных стран с самого начала космической эпохи. Первый шаг в изучении этой оболочки Земли был сделан командой С. Н. Вернова при помощи космического аппарата (КА) “Спутник-2”. Было выявлено увеличение уровня радиационного фона в северных широтах, из чего впоследствии был сделан вывод о существовании радиационного пояса [7]. Спутниковые измерения МПЗ в мире начались с создания советского искусственного спутника Земли “Спутник-3”, который был оснащен феррозондовым магнитометром [8]. Космический аппарат был запущен в СССР, в 1958 г. Аппаратура для него разрабатывалась в ИЗМИРАН и в НИИЯФ МГУ. Исследования продолжились в 1964 г. на спутнике *Космос-26*. В 1965 г. со спутника

Космос-49 было измерено магнитное поле на большой площади в диапазоне широт $-50^\circ + 50^\circ$ [9].

Позднее, в 1979–1980 гг. был запущен КА *MAGSAT*, разработанный в США, также осуществляющий измерения МПЗ. Далее был 20-летний перерыв в полетах спутниковых магнитометрических систем, который завершился с запуском датского спутника *Ørsted* в 1999 г. (<https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/Orsted>).

В начале XXI в. интерес к планетарным геомагнитным исследованиям возрос. Была реализована программа “Международная декада геопотенциальных исследований”. В рамках этой программы были запущены два аппарата *CHAMP* и *Ørsted-2* [10]. С 2010 г. основным источником информации о геомагнитном поле становятся именно спутниковые наблюдения.

В настоящее время функционируют следующие космические системы (КС) магнитных наблюдений: зарубежные *SWARM* (круговая наклонная орбита) и *GOES* (геостационарная орбита), отечественные “*Арктика-М*” (высокоэллиптическая орбита) и “*Электро-Л*” (геостационарная орбита) и много других [11]. По открытым данным были выделены основные КС с магнитометрической аппаратурой на борту (рис. 1).

В последние годы все более актуальной становится задача миниатюризации магнитометрической аппаратуры для их последующей реализации на микроспутниках типа кубсат. Приборы для МКА должны удовлетворять большему числу требований, соответствовать массовым и габаритным ограничениям и при этом не уступать по техническим характеристикам полноразмерным аналогам. Группировка МКА с магнитометрами на борту даст возможность наблюдения МПЗ на низких круговых орбитах, до высот в 500 км. Это позволит осуществлять мониторинг состояния магнитосферы в ОКП, анализировать и прогнозировать опасные явления космической погоды. Этими задачами занимается один из четырех глобальных Международных центров космической погоды по безопасной авионавигации, расположенный в Институте прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова (ФГБУ “ИПГ”) и являющийся частью Российско-Китайского консорциума космической погоды CRC.



Рис. 1. Схема развития КС с магнитометрической аппаратурой на борту

3. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Развитие группировок МКА в России по большей части происходит в рамках отдельных межведомственных программ. На данный момент такими программами являются “Универсат”, организатором которого выступает Роскосмос, Росгидромет и ведущие ВУЗы страны, и проект “Space-Pi”, организованный Фондом содействия инновациям. Деятельность проектов позволяет реализовывать перспективные инициативы школьников и студентов, предоставляя им необходимые для этого ресурсы. Микроспутники отправляются на орбиту в качестве попутной полезной нагрузки [12].

Проект “Универсат”

“Универсат” – масштабный проект по поддержке и сопровождению разработки и запусков МКА типа кубсат. В сотрудничестве с отечественными образовательными учреждениями госкорпорация “Роскосмос” осуществляет содействие развитию ракетно-космической отрасли. Партнером проекта является Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), а участниками – МГУ им. М. В. Ломоносова, МГТУ им.

Н. Э. Баумана, Амурский Государственный университет (АмГУ), Новосибирский Государственный университет (НГУ) и другие образовательные учреждения, а также ФГБУ “ИПГ” [13–15].

Разработкой конструкции микроспутника, а также созданием специализированной аппаратуры занимаются непосредственно университеты. ФГБУ “ИПГ” обеспечивает экспертную оценку предназначенных для гелиогеофизических измерений приборов. Для должного уровня достоверности и сопоставимости результатов измерений, аппаратуре на МКА необходимо качественное метрологическое обеспечение [16]. Последним этапом является запуск МКА в качестве попутной нагрузки, который осуществляется госкорпорацией “Роскосмос”.

Основные реализуемые направления: мониторинг космической погоды, радиозатменный мониторинг атмосферы и ионосферы Земли (ГНСС-мониторинг), отслеживание воздушных судов. Для задач наблюдений МПЗ миниатюризированная магнитометрическая аппаратура установлена на аппаратах “Ярило № 3” и *SamSat-ION*.

В рамках проекта, по данным на июль 2023 г. было запущено 16 микроспутников типа кубсат. Первый запуск был проведен 05.VII.2019 с космодрома “Восточный”, второй – 28.IX.2020, с космодрома “Плесецк”, и третий – 27.VI.2023 с космодрома “Восточный” (табл. 1).

Таблица 1. Перечень МКА, участвующих в программе “Универсат”

Название МКА	Запуск	Организация	Описание
“Сократ”	05.VII.2019 космодром “Восточный”	НИИЯФ МГУ	— Мониторинг космической погоды на низких околоземных орбитах;
“ВДНХ-80”		НИИЯФ МГУ	— отработка новых технических решений и приборного состава;
“АмурСат”		АмГУ	— телеметрия с данными о радиационной обстановке (концентрация заряженных частиц, профиль МПЗ); — мониторинг космической погоды на низких околоземных орбитах;
“ДЕКАРТ”	28.IX.2020 космодром “Плесецк”	НИИЯФ МГУ	— отработка новых технических решений и приборного состава
“Норби”		НГУ	— отработка систем мониторинга гражданских самолетов;
“Ярило” № 1 и № 2		МГТУ им. Н. Э. Баумана	— мониторинг гелиогеофизических параметров ОКП; — испытание плат;
“Ярило” № 3 и № 4	27.VI.2023 космодром “Восточный”	МГТУ им. Н. Э. Баумана	— летные испытания экспериментальных систем энергоснабжения, радиосвязи, ориентации и стабилизации
“Хорс” № 1 и № 2		МГТУ им. Н. Э. Баумана	— Получение данных о радиации;
“Авион”		ФГБУ “ИПГ”	— отработка систем мониторинга гражданских самолетов;
“Норби-2”		НИИЯФ МГУ	— мониторинг гелиогеофизических параметров ОКП;
“Импульс-1”		МИСиС	— испытание плат;
“SamSat-ION”		СамГУ	— летные испытания экспериментальных систем энергоснабжения, радиосвязи, ориентации и стабилизации
“Сатурн”		КубГУ	— Измерение энергии, отраженной от поверхности Земли;
			— измерение МПЗ;
			— исследования галактических космических лучей (прибор ГАМВЭКИ — разработка ФГБУ “ИПГ”);
			— отработка высокочастотной плазменной двигательной установки;
			— мониторинг космической радиации;
			— наблюдения солнечной короны;
			— проведение испытаний электронной компонентной базы;
			— эксперименты в области мониторинга солнечной активности;
			— отработка элементов спутниковой системы квантовых коммуникаций и классической лазерной связи;
			— исследования параметров верхней ионосферы, состояния плазмы и МПЗ;
			— мониторинг космической погоды в ОКП

ФГБУ “ИПГ” также принимал непосредственное участие в разработке научной аппаратуры для МКА “Хорс” № 1 и № 2. Гелиогеофизическая

аппаратура ГАМВЭКИ на кубсате “Хорс № 2” (состоит из двух блоков — ГАМВЭКИ-ГМ и ГАМВЭКИ-Ч) разработана в институте

и является аналогом полноразмерного прибора для измерения плотности потока электронов и протонов ГАЛС-ВЭ, установленном на таких КА, как “Арктика-М” № 1 и № 2, “Метеор-М” № 2–2, № 2–3, № 2–4 и “Электро-Л” № 3, № 4, а также аналогом спектрометра ГАЛС/1 для КА “Ионосфера” космического комплекса “Ионозонд”.

Попутным запуском с КА “Ионосфера-М” № 1, № 2 ракетой-носителем “Союз-2.1б” и разгонным блоком “Фрегат” 5.XI.2024 с космодрома Восточный (рис. 2) были выведены на орбиту 550 км 53 МКА, в том числе 6 по программе УниверСат (рис. 3). Приборы “ГАМВЭКИ-ГМ” производства ФГБУ “ИПГ” установлены на МКА “Владивосток-1”, “МТУСИ-1”. МКА “Хорс” № 3, № 4, “СамСат-Ионосфера” запущены на орбиту с целевой гелиогеофизической аппаратурой радиозатменного зондирования атмосферы и ионосферы, а также для исследования и мониторинга космической погоды.

Проект Space-Pi

Проект “Space-Pi” также, как и “Универсат”, направлен на поддержку образовательных организаций в области космических исследований. Такие организации-партнеры, как Фонд содействия инновациям, Фонд “Талант и успех”,

Сколковский институт науки и технологий и ГК “Роскосмос” объединяют свои усилия для создания доступной образовательной среды в области изучения космоса и задач проектировки и разработки МКА с вовлечением молодых ученых, студентов и школьников. На данный момент на орбите находится 35 микроспутников, запущенных в рамках проекта (табл. 2).

Часть научной аппаратуры, установленной на микроспутниках “Space-Pi”, направлена на решение задач ДЗЗ и гелиогеофизики. Наблюдения магнитного поля Земли в рамках проекта осуществляются микроспутником *ReshUCube-1*, изготовленном в СибГУ им. М. Ф. Решетнева.

Помимо различных камер, спектрометров, телескопов и датчиков, ведущих наблюдение космической погоды, на борту находится также и служебная аппаратура. Прикладные задачи, решаемые МКА на околоземной орбите, следующие: наблюдение за передвижением морских и воздушных судов, отработка новых технологий связи, контроль за опасными природными явлениями, испытания новых двигательных систем и платформ и т.д. Программа “Space-Pi” дает возможность отработать новые технологические решения в различных направлениях космической деятельности.

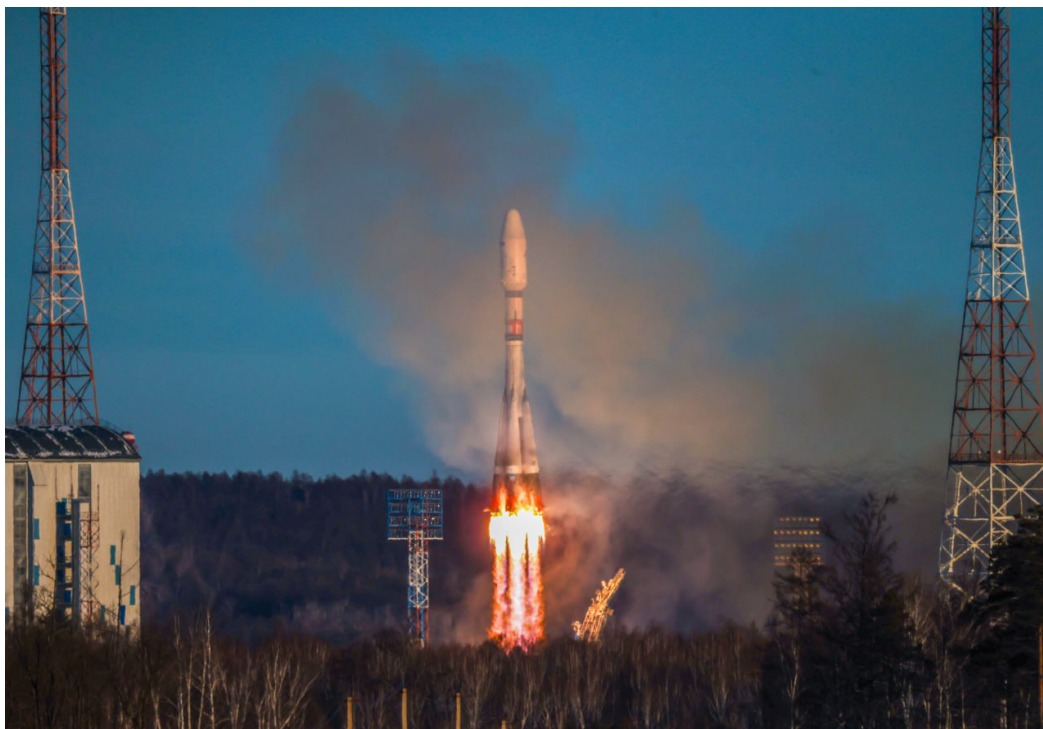


Рис. 2. Запуск 5.XI.2024, космодром Восточный



Рис. 3. МКА программы УниверСат, выведенные на орбиту 5.XI.2024

4. ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

К целевой аппаратуре, предполагаемой к установке на МКА, выдвигаются дополнительные требования по массе, габаритам и энергопотреблению. Физические основы и принцип работы аналогичны полноразмерным приборам, но при этом магнитометр для микроспутника должен быть компактным. Опыт минимизации магнитометрической аппаратуры имеется, как и в отечественных разработках, так и в зарубежных.

В 2023 г. специалистами ФГБУ «ИПГ» была произведена калибровка магнитометра, предполагаемого к установке на борт МКА «Ярило № 3» (рис. 4). Магнитометрический датчик, установленный в прибор — Honeywell HMC100x (табл. 3). Принцип действия датчика не феррозондовый, как на большинстве КА, а магниторезистивный. Такие элементы обладают широким диапазоном рабочих температур, имеют долгий срок службы, а также могут измерять очень слабые магнитные поля (порядка 0.1 нТл). Магнитометрическая система расположена на выносной углепластиковой штанге длиной 2 м (оптимальная длина рассчитана теоретически) для исключения влияния магнитных шумов корпуса.

Конструкция и система разворачивания штанги — разработка студентов и сотрудников МГТУ им. Н. Э. Баумана [17].

В микроспутнике *SamSat-ION*, разработанном студентами Самарского университета им. С. П. Королева используется магнитный датчик MMC5883MA (США). На борту МКА расположено два магнитометра — один внутри корпуса, другой на выносной штанге. Технические характеристики магнитного датчика представлены в табл. 4.

Датчики магнитного поля MAG3110 производства фирмы Olimex (Болгария) используются в проекте *ReshUCube-1* Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева (СибГУ). Технические характеристики магнитного датчика представлены в табл. 5.

Магнитные датчики, составляющие основу прибора, используются в основном зарубежного производства. Поэтому разработка отечественного аналога, схожего по устройству, техническим характеристикам, а также ценовой доступности, является важным и перспективным направлением. Анализируя имеющийся опыт создания магнитометрической спутниковой аппаратуры, можно определить дальнейшие перспективы ее развития. Это улучшение точности,

Таблица 2. Перечень МКА, участвующих в программе “Space-Pi”

Название МКА	Запуск	Организация	Описание
<i>CubeSX-Sirius-HSE</i>	22.III.2021 космодром “Байконур”	НИУ ВШЭ,	— Мониторинг экологического состояния Земли; — отработка нового солнечного датчика повышенной точности
<i>CubeSX-HSE</i>		Образовательный центр “Сириус”	
<i>ОрбиКрафт Зоркий</i>		СПУТНИКС	
<i>Политех Юниверс-1 и 2</i>	09.VIII.2022 космодром “Байконур”	СПбПУ им. Петра Великого	— Изучение уровня ЭМ-излучения на поверхности Земли в различных частотных диапазонах;
<i>ReshUCube-1</i>		СибГУ им. М.Ф. Решетнева	— мониторинг радиационной обстановки на орбите;
<i>Монитор-1</i>		НИИЯФ МГУ	— изучение атмосферы и магнитосферы Земли;
<i>Кузбасс-300</i>		КузГТУ	— регистрация в ОКП радиационно-опасных потоков протонов от солнечных вспышек;
<i>КАИ-1</i>		“НИЛАКТ ДОСААФ”	— задачи ДЗЗ;
<i>Сколтех-Б1 и Б2</i>		КНИТУ-КАИ	— задачи ДЗЗ;
<i>СтратоCam ТК-1</i>	27.VI.2023 космодром “Восточный”	Сколтех	— отработка технологии межспутниковой связи на большой дистанции;
<i>УмКА-1</i>		“Стратонавтика”	— мониторинг космической радиации и гамма-всплесков
<i>Vizard-meteo</i>		Центр научного творчества 29 школы Подольска	— Доставка на околоземную орбиту 6 КА пико-класса;
<i>Нанозонд-1</i>		ООО “НИС”	— съемка объектов глубокого космоса;
<i>Sirius-SINP-3U</i>		ОГУ имени И.С. Тургенева	— мониторинг образования опасных метеорологических явлений в атмосфере;
<i>Политех Юниверс-3</i>		“БГ-Оптикс”	— исследование влияния космической среды на корпус спутника;
<i>Монитор-2, -3 и -4</i>		“Нейро-Мастер”	— исследование электронов, протонов и гамма-излучения;
<i>ReshUCube-2</i>		СПбПУ им. Петра Великого	— создание трехмерной нестационарной модели распределения уровня электромагнитного излучения у Земли;
		НИИЯФ МГУ	— наблюдение космических вспышек в рентгеновском и гамма-излучении;
		СибГУ им. М.Ф. Решетнева	— летные эксперименты с перспективными сетевыми протоколами

разрешающей способности прибора, частоты записи, качества оцифровки, обеспечение качественной передачи данных между КА и наземным сегментом. Также важной является работа над надежностью прибора — сроком

эксплуатации, устойчивостью к температурным, ударным и вибрационным воздействиям.

В настоящее время в ФГБУ “ИПГ” ведутся работы по созданию магнитометрического аппаратного комплекса для низкоорбитальных КА

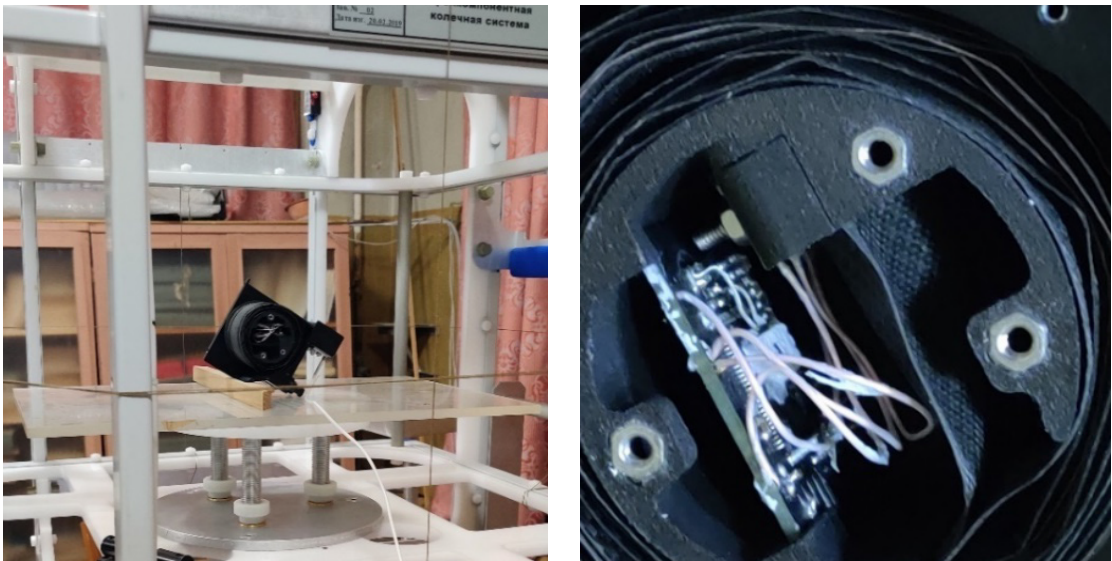


Рис. 4. Магнитометр МГТУ им. Н. Э. Баумана с датчиком Honeywell HMC100x в процессе калибровки

Таблица 3. Технические характеристики магнитного датчика Honeywell HMC100x

Параметр	Значение
Диапазон измерений, нТл	$\pm 200\,000$
Частота измерений, Гц	1
Разрешение, нТл	2.7
Напряжение питания, В	5–12
Размеры, мм	$12.7 \times 7.3 \times 2.5$

Таблица 4. Технические характеристики магнитного датчика MMC5883MA

Параметр	Значение
Диапазон измерений, нТл	$\pm 800\,000$
Шум, нТл	40
Чувствительность, %	± 5
Напряжение питания, В	1.62–3.6

Таблица 5. Технические характеристики магнитного датчика MAG3110

Параметр	Значение
Диапазон измерений, нТл	$\pm 1\,000\,000$
Чувствительность, нТл	100
Шум, нТл	250
Напряжение питания, В	1.95–3.6
Размеры, мм	29×18
Масса, г	25

и МКА типа кубсат, по результатам которых разработаны технические требования для миниатюризированного магнитометра для МКА с учетом ограничений по массе, габаритам и энергопотреблению. В процессе сборки находится макет магнитометра для МКА (измерительный блок с датчиком, блок электроники, корпус). Проведен анализ перспектив создания кластера МКА с магнитометрами на борту, определены решаемые задачи. Разработаны требования к количеству МКА, орбитам и высотам. Рассматривается возможность комплексной работы с наземными магнитовариационными станциями (МВС).

Прибор планируется к использованию в качестве полезной нагрузки на разрабатываемой спутниковой магнитометрической группировке для решения задач мониторинга магнитосферы.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, гелиогеофизические спутниковые наблюдения в настоящее время представляются перспективным и быстро развивающимся направлением. Реализация таких исследований с применением МКА типа кубсат существенно облегчает решение как прикладных, так и научных задач. Такие проекты, как “Универсат” и “Space-Pi” дают возможность своевременно и качественно отрабатывать новые технологии, аппаратные решения и методики спутниковых исследований.

Выстраивание линии связи между образовательными организациями — изготовителями платформ МКА и аппаратуры для них, и предприятиями — тематическими заказчиками, основными потребителями, позволит структурировать систему обмена и использования данных. В настоящее время в ФГБУ “ИПГ” ведется разработка единой базы данных спутниковых магнитометрических наблюдений [18]. Рассматривается получение информации и координация действий по магнитометрической аппаратуре на действующих МКА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленый Л.М., Климов С.И., Ангаров В.Н. и др. Проект микроспутник “Чиби́с-М”. 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.
2. Зеленый Л.М., Гуревич А.В., Климов С.И. и др. Академический микроспутник Чиби́с-м // Космические исследования. 2014. Т. 52. № 2. С. 93–105.
3. Богомолов В.В., Богомолов А.В., Дементьев Ю.Н. и др. Научно-образовательный космический эксперимент на спутниках “СириусCat-1,-2” // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2020. № 6.
4. Прохоров М.И., Богомолов В.В., Богомолов А.В. и др. Анализ быстрых вариаций потоков электронов в области зазора методом нормированного размаха по данным измерений на спутнике СириусCat-1 // Космические исследования. 2022. Т. 60. № 4. С. 271–284.
5. Bogomolov A.V., Bogomolov V.V., Iyudin A.F et al. Space Weather Effects from Observations by Moscow University Cubesat Constellation // Universe. 2022. V. 8. Iss. 282.
6. Копытенко Ю.А., Петрова А.А., Гурьев И.С. и др. Анализ информативности магнитного поля Земли в околоземном космическом пространстве // Космические исследования. 2021. Т. 59. № 3. С. 177–190.
7. Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Логачев Ю.И. и др. Измерение космического излучения на искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 1: Результаты научных исследований, проведенных по программе МГГ при помощи первого и второго искусственных спутников Земли. С. 5–8.
8. Соловьев А.А. Некоторые задачи геомагнетизма, решаемые по данным наземных и спутниковых наблюдений // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 9. С. 1330–1356.
9. Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В. Предварительные сообщения о геомагнитных измерениях на третьем искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. 1958. Вып. 2. С. 50–52.
10. Olsen N., Holme R., Luehr H. A magnetic field model derived from Ørsted, CHAMP and Ørsted-2/SACC observations // Proc. AGU Spring Meeting. Washington, D.C., USA. 2002
11. Брагина А.А., Арутюнян Д.А., Минлигареев В.Т. Обзор космических систем гелиогеофизического назначения с магнитометрической аппаратурой // Гелиогеофизические исследования. 2022. № 34. С. 40–48.
12. Симонов В.Л. Применение разработки наноспутников кубсат (Cubesat) в учебном процессе // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности: Сб. тр. XXI Международная конференция. XIX Международный конкурс научных и научно-методических работ. Москва, Россия. 2022. С. 81–84.
13. Фомин Д.В. “АмГУ-1” (“АмурСат”) — первый спутник АмГУ // Космонавтика: наука и образование: Сб. материалов Всероссийской науч-

- ной конференции. Благовещенск, Россия. 2019. С. 15–18.
14. Садовничий В.А., Панасюк М.И., Липунов В.М. и др. Мониторинг природных и техногенных космических угроз: результаты миссии Ломоносов и проект Универсат-СОКРАТ // Космические исследования. 2019. Т. 57. № 1. С. 46–56.
 15. Рачкин Д.А., Тененбаум С.М., Мельникова В.Г. и др. Разработка МКА типоразмера Cubesat – опыт МГТУ им. Н.Э. Баумана // К.Э. Циолковский и прогресс науки и техники в XXI веке: материалы 56-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга, Россия. 2021. С. 24–27.
 16. Минлигареев В.Т., Заболотнов В.Н., Денисова В.И. и др. Обеспечение единства магнитных измерений на государственной наблюдательной сети // Гелиогеофизические исследования. 2013. № 6. С. 8–19.
 17. Богачев С.А., Головин А.А., Дятков С.Ю. и др. Малоразмерный космический магнитометр для наноспутника “Ярило” № 3. // Космонавтика и ракетостроение. 2023. № 1(130). С. 123–134.
 18. Свидетельство 2023622956. Минутные измерения магнитовариационных обсерваторий сети INTERMAGNET за период с 1991 по 2018 год после обработки. База данных / Вишняков Д.Д., Брагина А.А., Арутюнян Д.А., Шклярук А.Д. (RU); опубл. 28.08.2023.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HELIOGEOPHYSICAL SATELLITE OBSERVATIONS ON SMALL SPACECRAFT

© 2025 A. A. Bragina*, V. T. Minligareev, S. D. Bogodyazh

Institute of Applied Geophysics named after Academician E.K. Fedorov, Moscow, Russia

*e-mail: anastasia.a.bragina@yandex.ru

The paper considers the prerequisites for the creation of satellite systems of small spacecraft of the cubesat type for heliogeophysical purposes. The history of the appearance and features of this type of platform are described, and examples of their implementation are given. The domestic satellite group of the small spacecraft, developed under the programs “Universat” and “Space-Pi”, are also considered. Small spacecraft with magnetometric measuring equipment on board are described. Based on the results of the analysis, the main relevant directions for the development of on-board heliogeophysical and, in particular, magnetometric equipment have been identified. Problems have also been identified in the implementation system of the received data. As examples of modern developments in the field of satellite heliogeophysical observations, the activities of Institute of Applied Geophysics as a thematic customer, expert and manufacturer of equipment are described. The possibilities of analyzing data from already in use devices are described, and prospects for further development are also stated.