

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «УРАГАН» НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

О.Г. Артемьев¹, С.В. Прокопьев¹, Д.М. Аюкаева^{2✉},
М.Ю. Беляев^{2, 3}, О.Н. Волков², И.Ю. Батырев³, Г.М. Тертицкий⁴

¹ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» («НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина»), Россия, 141160, Московская обл., пгт Звездный городок

²ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» («РКК «Энергия»), Россия, 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина, д. 4а

³ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁴ФГБУН «Институт географии РАН» (ИГ РАН), Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4

diana.ayukaeva@rsce.ru

Статья посвящена описанию космического эксперимента «Ураган», реализуемого на Российском сегменте Международной космической станции. Основное внимание уделено научной аппаратуре «Икарус», созданной в рамках международного сотрудничества между Россией и Германией. С помощью данной аппаратуры решаются задачи эксперимента по контролю перемещения птиц и животных на Земле с использованием космических технологий. Представлены технические характеристики научной аппаратуры, особенности ее установки на внешней поверхности МКС космонавтами во время выхода в открытый космос, а также методы обмена данными и способ обработки полученных результатов. Сделан акцент на роль экипажа в реализации эксперимента. Приведены научные результаты, полученные в ходе мечения 23 видов птиц, гнездящихся в России. Впервые получены данные об их миграционных путях и зимовках. Показана высокая точность определения местоположения отслеживаемых объектов. Описаны перспективы развития технологии на новой Российской орбитальной станции, включая создание отечественных тегов и запуск спутника с использованием транспортного грузового корабля «Прогресс».

Ключевые слова: научная аппаратура, космический эксперимент, перемещение и миграции животных, экипаж, грузовой корабль, Российская орбитальная станция

Ссылка для цитирования: Артемьев О.Г., Прокопьев С.В., Аюкаева Д.М., Беляев М.Ю., Волков О.Н., Батырев И.Ю., Тертицкий Г.М. Особенности проведения исследований по наблюдению подвижных объектов в эксперименте «Ураган» на Международной космической станции // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 6. С. 171–186. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-6-171-186

Международная космическая станция (МКС) уже более 26 лет функционирует на орбите — это самый крупный космический проект в истории. Первоначально в США планировалось создание национальной станции, однако в связи с отсутствием корабля для доставки, неимением возможности космонавтов находиться на станции длительное время и возвратиться на землю, проект не был реализован, а роль России в нем поднялась на достаточно высокий уровень.

Для отечественной космонавтики важнейшей задачей стало обеспечение высококачественного решения целевых задач, в первую очередь по

наблюдению и контролю за различными территориями земной поверхности [1–26].

Выполнение этой задачи на МКС осложнялось трудностью построения ориентации станции, требуемой для наведения на наблюдаемые объекты, поскольку исполнительные органы системы управления ориентацией МКС, установленные на американском сегменте, имеют относительно малое значение располагаемого кинетического момента 19 тыс. нмс и могут только поддерживать ориентацию главных осей инерции МКС относительно осей орбитальной системы координат. Положение главных осей МКС отличается от строительных осей на несколько градусов (в зависимости от текущей конфигурации станции), что отразилось на выполняемых на МКС экспериментах.

Цель работы

Цель работы — отработка аппаратуры и методов изучения Земли на Российском сегменте (РС) МКС в космическом эксперименте «Ураган», в рамках которого созданы и внедрены на РС МКС технологии наблюдения и контроля изучаемых объектов с помощью разработанной научной аппаратуры.

Материалы и методы

В силу отмеченной проблемы с ориентацией МКС на первом этапе реализации эксперимента «Ураган» для изучения объектов использовалась аппаратура, ориентируемая экипажем через иллюминатор станции, в частности фотоаппаратура и спектрометры «Фотоспектральная система» («ФСС»), «Видеоспектральная система» («ВСС»), «Система ориентации видеоспектральной аппаратуры» («СОВА»), обеспечивающие наведение на исследуемые объекты в автоматическом режиме. В 2024 г. на борт РС МКС была доставлена аппаратура «Гиперспектрометр», которая позволила получить первые результаты съемок.

С помощью разработанных методов управления ориентацией научной аппаратурой удалось впервые осуществить наблюдения за исследуемыми объектами по оптимальным программам, в том числе с использованием нескольких научных приборов, которые были установлены на подвижных платформах наведения «СОВА».

Среди многочисленных результатов эксперимента можно отметить оперативную съемку и объяснение причин катастрофического наводнения в г. Крымск в 2012 г. Результаты этого исследования получили высокую оценку. Кроме того, можно отметить наблюдения за опасными явлениями на озере Байкал, позволившими спрогнозировать крупное потенциально опасное событие, что дало возможность МЧС своевременно принять необходимые управленческие решения и не допустить наступления негативных последствий.

После развертывания МКС ее строительные оси были ориентированы в орбитальной системе координат с небольшими углами рыскания, тангажа и крена, что позволило использовать научную аппаратуру «Икарус» для мониторинга Земли с большим полем зрения. В 2021 г. такая аппаратура начала работать на РС МКС в рамках КЭ «Ураган» [27–31]. Аппаратура «Икарус» предназначена для контроля подвижных объектов, прежде всего животных и птиц. Для ее создания было несколько предпосылок,

прежде всего, связанных с огромной территорией России.

Пилотируемая орбитальная станция имеет более низкую орбиту, чем спутник, поэтому датчики, устанавливаемые на подвижных объектах, имеют меньшие размеры. При этом можно использовать антенну больших размеров, с раскрывающимися элементами конструкции, которая устанавливается космонавтами и может быть развернута на внешней поверхности станции во время их выхода в открытый космос.

Поскольку животные являются предвестниками опасных ситуаций, по их поведению можно сделать выводы об их предполагаемом наступлении. Так, еще до запуска научной аппаратуры на МКС, в Италии был проведен наземный эксперимент, в рамках которого на домашних животных закрепили датчики и контролировали их поведение перед землетрясениями. Полученные результаты были опубликованы в журнале *Ethology* и широко обсуждались [31], что легло в основу Соглашения о международном сотрудничестве на РС МКС по реализации проекта ICARUS (International Cooperation for Animal Research Using Space — «Международное сотрудничество в области научных исследований животных с использованием космических технологий»), заключенного между учеными и космическими агентствами РФ и Германии [32].

Научная аппаратура «Икарус» — аппаратура для контроля перемещения животных включает в свой состав бортовой и наземный сегмент. Бортовой сегмент состоит из бортового компьютера ОВС-I, антенного блока, специальной мачты, устройства «Якорь-Икарус» и кабельной сети со специализированными интерфейсами. В состав бортового компьютера ОВС-I (рис. 1) входят плата процесса обработки данных, платы основного диапазона передатчика и приемника и пользовательской панели приемника. Прием сигналов от передатчиков осуществляется антеннами бортового оборудования «Икарус». Команды управления передаются телу с помощью передающей антенны, а прием сигналов от передатчика тела осуществляется приемными антеннами научной аппаратуры «Икарус». При разработке конструкции антенн и их размещении на поверхности РС МКС учитывались особенности обеспечения прочности, минимизации затенения полей зрения антенн элементами конструкции МКС в течение всего времени выполнения эксперимента, удобства работы космонавтов при монтаже антенн и т. д. Все антенны конструктивно соединены и образуют антенный блок (рис. 2).

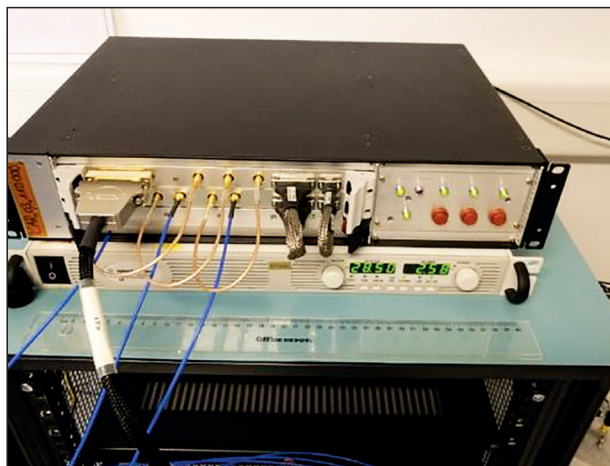


Рис. 1. Борт компьютер ОВС-I
Fig. 1. OBC-I onboard computer

Антенный блок представляет собой единую конструкцию, состоящую из нескольких секций, скрепленных с помощью петель, которые в крайнем положении защелкиваются и придают жесткость конструкции. Одно из основных требований к конструкции антенного блока состояло в том, чтобы он мог трансформироваться в зависимости от решаемых задач. Антенный блок состоит из приемных и передающей антенн. Приемные антенны представляют из себя две боковые принимающие антенные сборки и центральную плату, на которой они крепятся. Каждая боковая сборка содержит четыре принимающих элемента, малошумящие усилители для каждого принимающего элемента, распределительное устройство боковой антенны, линейный фильтр и линейный усилитель. Для центральной части диаграммы используются сигналы с двух боковых сборок, которые объединяются с помощью центрального распределительного устройства. Таким образом, с приемной антенны по трем высокочастотным кабелям сигнал поступает в бортовой компьютер ОВС-I, который служебную и научную информацию передает в бортовые системы РС МКС для передачи ее в Центр управления полетами АО «ЦНИИмаш» (ЦУП).

Наземный сегмент для выполнения исследований с аппаратурой «Икарус» состоит из оборудования, предоставляемого пользователю (датчиков, ручного оборудования и базовой станции), и наземной инфраструктуры для проведения исследований, обработки и хранения получаемых результатов. Основная техническая задача эксперимента с научной аппаратурой «Икарус» — передача небольших пакетов данных между датчиком (тегом) (рис. 3), закрепленным на животном, и приемником на МКС.

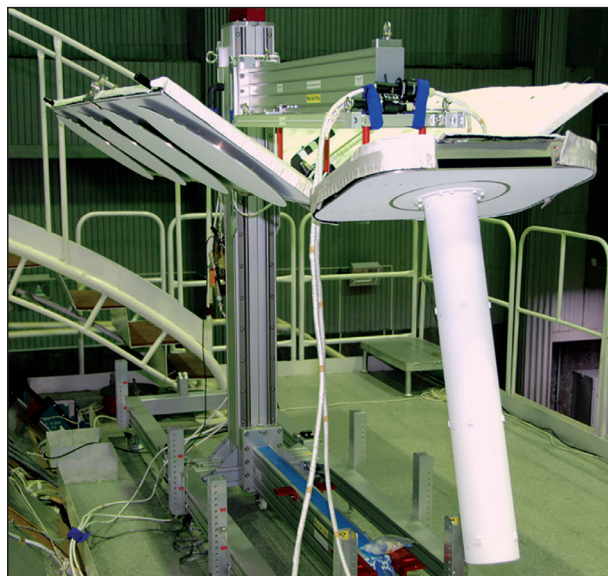


Рис. 2. Антенный блок научной аппаратуры «Икарус» во время комплексных испытаний в РКК «Энергия»
Fig. 2. Ikarus scientific equipment antenna unit during integrated testing at RSC «Energia»



Рис. 3. Тег научной аппаратуры «Икарус»
Fig. 3. Ikarus scientific equipment tag

При этом миниатюрный передатчик должен обеспечивать связь с бортовым оборудованием «Икарус» на расстоянии до 600 км для измерения через определенные промежутки времени своего абсолютного положения и получения измеряемых значений температуры и ускорения, дающих представление о поведении животного. На контролируемый объект (животное) устанавливается тег массой 5 г, который вмещает в себя навигационный модуль, магнитометр, акселерометр, датчики температуры, давления, влажности и др.

Аппаратура создана в достаточно короткие сроки относительно среднего срока изготовления научной аппаратуры. Это результат деятельности участников космического эксперимента и слаженного международного пар-

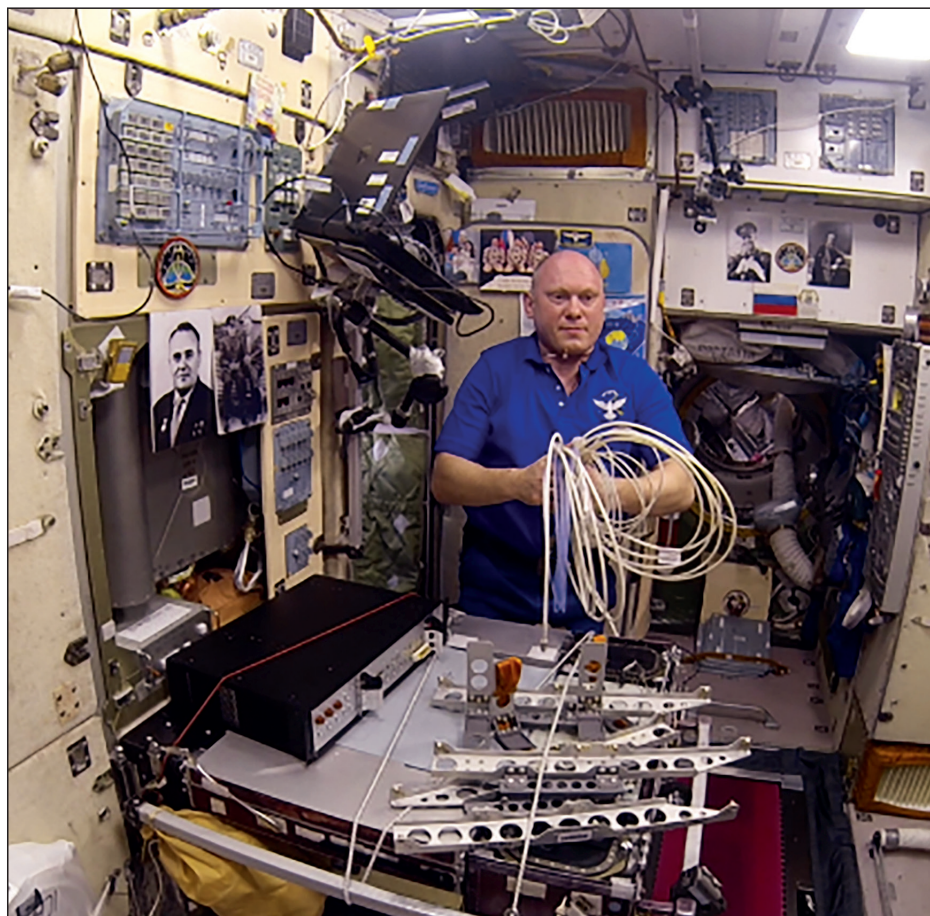


Рис. 4. О.Г. Артемьев готовит оборудование научной аппаратуры «Икарус» для установки внутри служебного модуля Российского сегмента Международной космической станции. В руках космонавт держит кабели для подключения бортового компьютера ОВС-I к бортовым системам. На столе размещен бортовой компьютер ОВС-I и кронштейны для его установки в запанельное пространство

Fig. 4. O.G. Artemyev prepares the Ikarus scientific equipment for installation inside the Service Module of the Russian Segment of the International Space Station. The cosmonaut holds cables for connecting the OBC-I onboard computer to the onboard systems. The OBC-I onboard computer and brackets for its installation in the space behind the panel are located on the table

тнерства. Следует отметить, что интеграция научной аппаратуры в состав станции — сложная задача: прежде всего, необходимо обеспечить возможность наблюдения (наведения) исследуемых объектов в полете. Кроме того, требуется разместить научную аппаратуру внутри и снаружи МКС.

Создана электрическая схема информационно-логического и электрического взаимодействия аппаратуры и информационно-управляющей системы борта РС МКС (рис. 4). Для управления экспериментами с научной аппаратурой «Икарус» разработано специальное программное обеспечение, которое также позволяет проводить оценку полученных данных.

В ходе наземной подготовки к внекорабельной деятельности специалисты РКК «Энергия» смоделировали трассу прокладывания кабельных высокочастотных жгутов, протяженность которой составляет около 15 м. Космонавтам необходимо передвигаться по модулю станции. Для удобства размотки подобных кабелей была разработана универсальная кабельная платформа (УКП), а также предусмотрены поручни и специальные держатели. Для монтажа научной аппаратуры «Икарус» разработанная УКП была доработана устройством дооснащения, позволяющим ее крепить к поручням вовремя внекорабельной деятельности (ВКД). Правильная намотка, укладка и фиксация соединителей в УКП — необходимое условие для успеш-

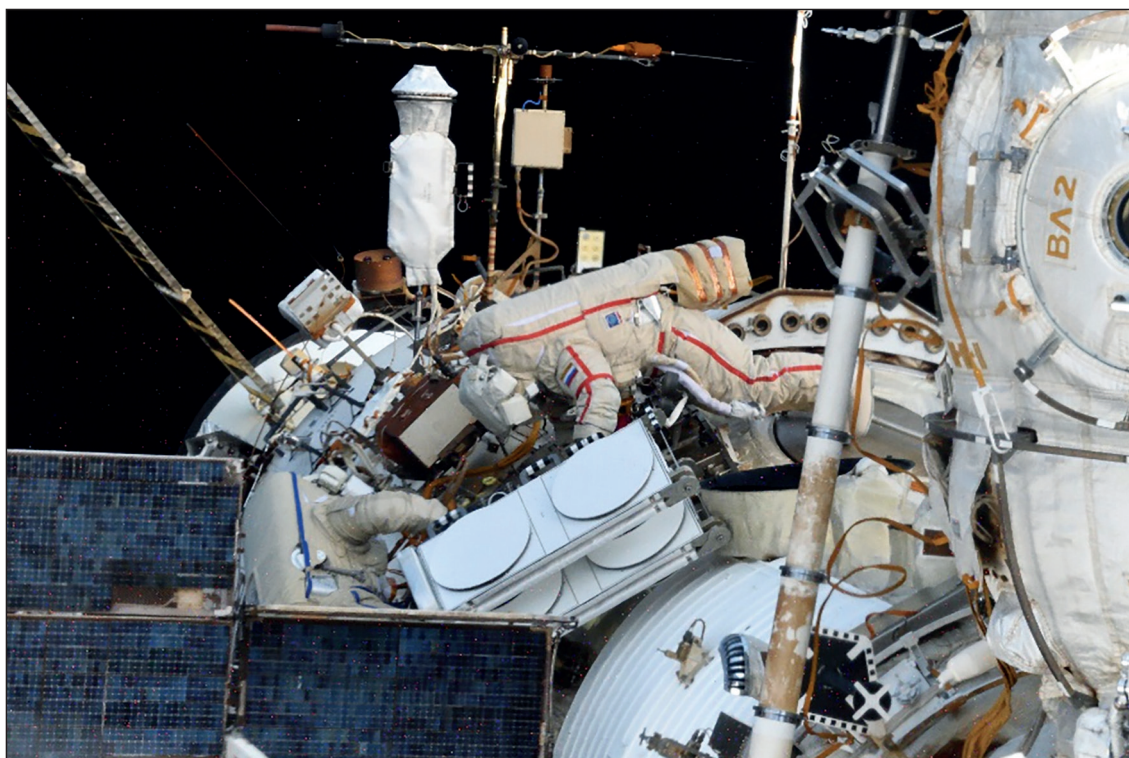


Рис. 5. Космонавты О.Г. Артемьев и С.В. Прокопьев устанавливают антенный блок на внешней поверхности Российского сегмента Международной космической станции

Fig. 5. Cosmonauts O.G. Artemyev and S.V. Prokopyev install the antenna unit on the outer surface of the Russian Segment of the International Space Station

ной укладки кабелей по внешней поверхности станции. Было также изготовлено специальное устройство «Якорь-Икарус», предназначенное для фиксации ботинок скафандра, что высвобождало обе руки космонавту для работы и позволяло принять наклонную рабочую позу, благодаря чему размеры рабочей зоны увеличивались. Всего для интеграции научной аппаратуры «Икарус» в РКК «Энергия» изготовлено 24 позиции различных механических и электрических интерфейсов и устройств.

Перед отправкой на борт научная аппаратура «Икарус» прошла полный цикл наземной подготовки, которая проводилась в России и Германии. Многочисленные испытания, примерки, тренировки экипажа были выполнены за два года. О целях и задачах эксперимента было доложено на встречах космонавтов с учеными.

Аппаратуру «Икарус» отправили на МКС двумя транспортными грузовыми кораблями «Прогресс» в октябре 2017 г. и феврале 2018 г. В августе 2018 г. в ходе семичасового выхода в открытый космос аппаратура успешно смонтирована на внешней поверхности РС МКС (рис. 5).

Антенны на служебном модуле (рис. 6) ориентированы таким образом, что сначала тег

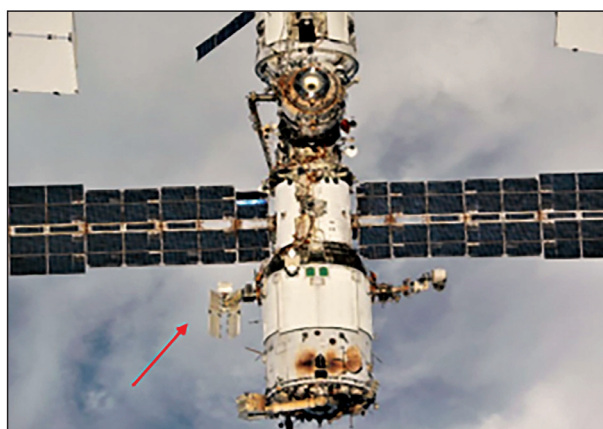


Рис. 6. Антенный блок «Икарус», установленный на внешней поверхности Российского сегмента Международной космической станции

Fig. 6. Ikarus antenna unit installed on the outer surface of the Russian Segment of the International Space Station

попадает в поле зрения передающей антенны научной аппаратуры «Икарус», а затем — приемной. Блок электроники обеспечивает обработку данных для обнаружения и распознавания слабых сигналов от 120 тегов, находящихся в поле зрения приемных антенн.

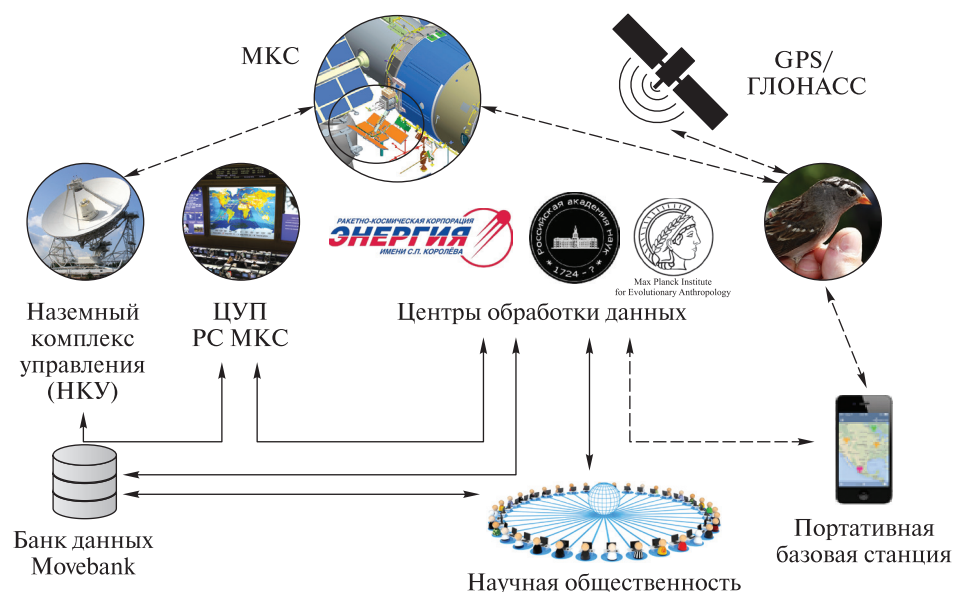


Рис. 7. Схема проведения эксперимента с научной аппаратурой «Икарус»

Fig. 7. Experimental setup diagram for the Ikarus scientific equipment

Полет орбитальной станции происходит по почти круговой орбите с наклоном $51,6^\circ$ на высоте около 400 км от Земли. В течение суток МКС делает ~ 16 оборотов вокруг земного шара. Конструкция антенн научной аппаратуры «Икарус» обеспечивает покрытие около 70 % земной поверхности за 24 ч в диапазоне географических широт $\sim \pm 55,5^\circ$. Полное покрытие земной поверхности в данном диапазоне широт происходит за 3 сут.

Как только тег, закрепленный на теле животного, попадает в поле зрения антенн научной аппаратуры «Икарус», он начинает периодически принимать сигналы по нисходящей линии связи, отправляя на МКС координаты собственного местоположения и данные датчиков, собранные с момента последнего контакта.

Бортовое оборудование «Икарус» сохраняет полученные от передатчика данные до следующего сеанса связи с Землей, а далее передает их с помощью телеметрической системы РС МКС на наземные приемные пункты. После этого через центр управления полетом информация поступает на автоматизированное рабочее место в РКК «Энергия» для последующей обработки и хранения в базе данных. Ученые анализируют полученные данные и при необходимости готовят для передачи на РС МКС команды по перепрограммированию тегов, корректируя параметры конфигурации тегов (рис. 7).

Команды передаются через ЦУП бортовому оборудованию и посылаются на тег при следующем контакте с орбитальной станцией после передачи накопленных данных.

Связь тега с бортовым оборудованием включает в себя следующие режимы работы:

- 1) спящий режим;
- 2) поиск МКС (запланированный запуск);
- 3) поиск МКС (периодический прием сигналов);
- 4) передачу данных.

При достижении ожидаемого временного промежутка для сброса информации тег передает сохраненные координаты своего местоположения и данные датчиков;

- 5) передачу команд;
- 6) уход в спящий режим.

Первое включение и функционирование системы было начато 10 марта 2020 г. Работа проводилась с имитаторами тегов и реальными тэгами. Проведенные тесты подтвердили работоспособность аппаратуры и нормальное функционирование всей системы. После успешных тестов по проверке работоспособности началась реализация эксперимента.

Результаты и обсуждение

С целью реализации научных программ теги были распределены между учеными, которые приступили к мечению птиц и животных [33–37]. На рис. 8 в качестве примера приведены некоторые проекты российских ученых.

Индивидуальное мечение птиц началось в начале XX в. За это время накоплен большой объем данных о зимовках птиц, значительно меньше сведений получено об их миграционных путях, причем преимущественно там, где

Объект исследования/ Название проекта	Фото	Участник	Район исследования
Коростель (<i>Crex crex</i>)/Изучение путей пролета миграционных остановок коростеля на территории России и в Восточной Европе		Зоологический институт РАН	Калининградская обл.
Обыкновенная кукушка (<i>Cuculus canorus</i>), глухая кукушка (<i>Cuculus optatus</i>)/Географические особенности миграционных путей двух видов кукушек в Восточной Сибири			Республика Бурятия
Чеглок (<i>Falco subbuteo</i>), пустельга (<i>Falco tinnunculus</i>) / Изучение трансграничных миграций редких видов соколов Евразии		Ростовский госзаповедник	Оренбургская обл., Наурзумский р-н Казахстана
Серая цапля (<i>Ardea cinerea</i>), Болотный лунь (<i>Circus aeruginosus</i>)/Миграционные связи околородных и водоплавающих птиц Байкальского региона с территорией Юго-Восточной Азии		Иркутский государственный университет	Иркутская обл.
Сапсан (<i>Falco peregrinus</i>)/ Миграции сапсанов первого года жизни из тундровых районов Европейской части РФ и Западной Сибири		Институт экологии растений и животных РАН	Ямало-Ненецкий АО; Ненецкая АО
Зимняк (<i>Buteo lagopus</i>)/Миграции и районы зимовок циркумполярных видов на примере зимняка		Институт экологии растений и животных РАН	Ненецкий АО
Лесной дупель (<i>Gallinago megala</i>) / Миграции птиц через горы и пустыни Центральной и Восточной Азии		Зоологический институт РАН	Республика Бурятия

Рис. 8. Проекты российских ученых по отслеживанию миграций птиц

Fig. 8. Russian scientists' projects to track bird migrations

они совпадают с поселениями людей. Только развитие спутниковой связи позволило использовать для наблюдения за птицами миниатюрные спутниковые передатчики и выяснить передвижение особей на протяжении всего жизненного цикла. До появления этих технологий самый большой пробел в знаниях о миграционных путях птиц касался перелетов через океаны, пустыни, горы и другие труднодоступные для ученых районы. Плохо были изучены места зимовок и пролетные пути отдельных популяций широко распространенных видов. Мечение птиц в рамках космического эксперимента «Ураган» позволило получить новые знания о зимовках и миграционной активности 23 видов птиц, гнездящихся в России [38–41]. Наиболее полные сведения получены для пяти видов лесной зоны: дупеля (*Gallinago media*) в Европейской части РФ, лесного дупеля (*Gallinago megala*) в Прибайкалье, обыкновенной кукушки (*Cuculus canorus*) в Сибири и на Дальнем Востоке, глухой кукушки (*Cuculus optatus*) в этих же регионах и американском бекасовидном веретеннике (*Limnodromus semipalmatus*) на юге Якутии. Все эти виды совершают дальние миграции (от 5 до 14 тыс. км) в экваториальные

районы Африки и Юго-Восточной Азии, пересекая абсолютно непригодные для их жизни районы.

Восемь дупелей, помеченных тегам аппаратуры «Икарус» на севере Подмосковья полетели на зимовку в экваториальные районы Африки, расположенные между экватором и 15° ю. ш. Наиболее сложный и опасный участок миграции выявлен в Северной Африке — ни одна из восьми птиц не двигалась вдоль долины р. Нил, все летели над Сахарой, до зимовки добралось только четверо.

Семь лесных дупелей были помечены тегам на станции кольцевания Байкальского государственного природного биосферного заповедника во время весенней миграции. После гнездового сезона, в августе, птицы полетели к местам зимовки через степи и пустыни Монголии и Северного Китая. Лесные дупели зимовали на Филиппинах, между 17° и 7° с. ш. Протяженность первого этапа непрерывного полета из Иркутской области, Бурятии и северной части Монголии до Китая составила более 1 тыс. км. Второй длительный перелет из Китая до Филиппин проходил над морем и был более протяженным — около 2 тыс. км. Всего птицы

преодолели более 5 тыс. км. Осенняя миграция прослежена для пяти лесных дупелей. Для двух из них получены данные о перемещениях в течение года, один тег проработал больше двух лет. Результаты исследований показали, что пролетные пути и локации зимовки различаются у разных особей одной популяции, но не изменяются на индивидуальном уровне в разные годы. Во время зимовки лесные дупели держатся на ограниченной территории (сотни гектаров), в отличие от родственного обыкновенного дупеля, который перемещается на сотни километров.

Для изучения миграционных путей обыкновенной и глухой кукушек тегами были помечены 46 птиц в пяти точках — от Томской области до Сахалина. Ареал номинативного подвида обыкновенной кукушки (*Cuculus canorus canorus*) занимает почти всю северную часть территории Евразии — от Британских островов до Японии. Глухая кукушка обитает в азиатской части России. Полученные данные показали, что все обыкновенные кукушки летят на зимовку в районы Африки, расположенные южнее экватора. Обыкновенные кукушки, обитающие в восточной части ареала, преодолевают более 15 тыс. км, огибая горные хребты, но пересекая пустыни и морские акватории, поскольку часть пролетного пути (около 3 тыс. км) проходит над Индийским океаном. Глухие кукушки зимуют в Юго-Восточной Азии и Австралии, также совершая длительные полеты над акваториями, в частности Южно-Китайского моря и Тихого океана. Максимальный беспосадочный перелет совершают глухие кукушки с Сахалина. Три птицы, помеченные тегами пролетели над океаном более 4 тыс. км за 5 сут.

Американский бекасовидный веретенник гнездится в степной и лесостепной зонах Азии, однако в 2018 и 2021 гг. были обнаружены изолированные участки ареала в таежной зоне Якутии в пределах сельскохозяйственных ландшафтов. В целях определения миграционных путей и мест зимовки этой популяции тегами было помечено шесть птиц. Для длительной промежуточной остановки они использовали локацию на побережье Желтого моря, а далее направились в разные районы Таиланда, Вьетнама и Индонезии.

Изучение пролетных путей и миграционного поведения с помощью индивидуального мечения птиц тегами аппаратуры «Икарус» показало, что виды, обитающие в период размножения и на зимовках в лесных лесоболотных ландшафтах, не ориентируются на эти ландшафты во время миграций. Их передвижения в это время никак не ограничены местообитаниями, в которых они родились и провели первые месяцы жизни. Птицы совершают перелеты через пустыни и водные объекты такой протяженностью, которая не позволяет визуально ориентироваться на знакомые ландшафты. «Карта» миграции заложена в них на генетическом уровне, а конкретное место зимовки и район размножения запоминаются на индивидуальном.

В 2023–2024 гг. проведена оценка точности определения местоположения контролируемых объектов. На полигоне Курской биосферной станции (КБС) Института географии РАН с использованием мобильной измерительно-диагностической лаборатории (МИДЛ) была установлена средняя точность определения местоположения — 3,98 м. Данные мобильной лаборатории подтвердили эту оценку.

Комплекс аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в рамках космического эксперимента «Ураган» на орбитальной станции дает возможность не только определить изменение путей миграции животных, но и позволяет сделать попытку найти ответ на вопрос: почему животные изменяют пути миграции? Для этой цели используются приборы ДЗЗ, в том числе новый прибор «Гиперспектрометр» в рамках космического эксперимента «Ураган».

Изготавливается научная аппаратура «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» (РИВР) для работы в среднем и дальнем ИК-диапазонах. Это позволяет расширить возможности ДЗЗ. Возможности наведения научной аппаратуры на исследуемые объекты расширяются также при использовании подвижных платформ наведения «СОВА», устанавливаемых экипажем на иллюминаторы станции. Их применение позволяет выполнять наблюдения одновременно несколькими приборами даже в период сна экипажа. При этом наведение на изучаемые объекты осуществляется по оптимальным программам.

Следует отметить, что пилотируемые станции по сравнению с автоматическими космическими аппаратами имеют дополнительные возможности для обеспечения условий наблюдения исследуемых объектов. Полет пилотируемых станций происходит на высотах, не превышающих 400 км, поэтому необходимо периодически выполнять коррекцию орбиты для поддержания полета в заданном диапазоне высот. Можно построить программу выполнения коррекций орбиты орбитальной станции таким образом, чтобы поддерживать высоту и одновременно обеспечивать прохождение станции через максимальное количество исследуемых объектов в нужное для наблюдения время. Это одна из задач оптимизации программы.

Перспективы развития данной технологии связаны с организацией производства отечественных тегов и развертывания на орбите системы, позволяющей контролировать всю территорию России. В этих целях готовится эксперимент для новой Российской орбитальной станции (РОС), предусматривающий установку оборудования на ней и запуск спутников с помощью транспортного грузового корабля «Прогресс». В рамках готовящегося эксперимента предполагается отработка технологии создания научной аппаратуры перед реализацией на автоматическом комплексе. Впервые предлагается создать в России аппаратуру из отечественных материалов и комплектующих, аналогичную научной аппаратуре «Икарус». Установка на РОС позволит проверить работоспособность, отработать технологию проведения эксперимента, устранить недостатки/поломки (при необходимости). В этом процессе будет задействован экипаж. Аппаратура для РОС также, как и «Икарус» реализуется на двух сегментах — бортовом и наземном. Бортовой сегмент включает антенный блок, состоящий из передающей и принимающих антенн (рабочая частота ~400 МГц). Антенный блок обеспечивает выдачу команд управления на включение маячков (тегов) для выдачи данных во время пролета РОС и сбор данных с наземных маячков на базе GPS/ГЛОНАСС о местоположении подвижных объектов. Наземный сегмент представляет собой маячки с приемниками системы GPS/ГЛОНАСС, устанавливаемые на подвижные объекты. Маячки имеют свой уникальный идентификационный номер, встроенный приемник системы GPS/ГЛОНАСС, а также передатчик, передающий данные на антенный блок РОС во время пролета станции. Питание маячков осуществляется от солнечных батарей и аккумулятора. Кроме того, в маячки встроены датчики влажности, температуры, акселерометр, магнитометр и др. Проведение эксперимента реализуется в автоматическом режиме по командам Центра управления полетами. Полученные данные оперативно передаются по каналам связи на Землю. Следующий этап эксперимента — запуск этой аппаратуры на спутнике с помощью транспортного грузового корабля (далее грузовой корабль). Аппаратура отличается крупными габаритами и имеет раскрывающиеся элементы. Поэтому предлагается следующая технология выведения. Грузовой корабль стыкуется с РОС, космонавты переносят спутник и научную аппаратуру внутрь станции. После проведения всех подготовительных операций, во время ВКД спутник с научной аппаратурой космонавты монтируют

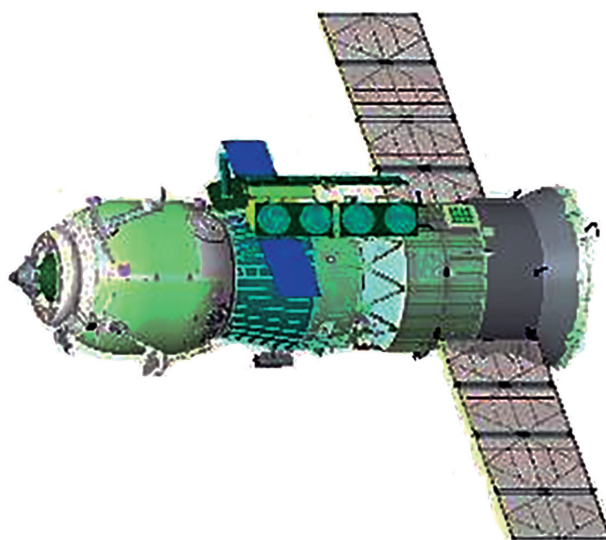


Рис. 9. Транспортный грузовой корабль «Прогресс» с установленным спутником и антенным блоком аппаратуры мониторинга подвижных объектов на Земле

Fig. 9. The Progress cargo spacecraft with a satellite and antenna unit installed for monitoring moving objects on Earth

на внешней поверхности грузового корабля. Раскрывающиеся элементы конструкции переводятся в рабочее положение, по командам из ЦУП выполняются проверочные тесты. При возникновении нештатной ситуации, космонавты выполняют ремонтные работы. Далее грузовой корабль со спутником отстыковывается и переводится на заданную орбиту, спутник отделяется, а грузовой корабль уводится на затопление (рис. 9).

Описанный способ запуска спутников позволяет повысить эффективность использования грузовых кораблей, поскольку после выполнения ими основных задач, а именно доставки грузов, проведения коррекции орбиты и многих других работ, у грузовых кораблей остается запас нерастроченных ресурсов основных систем, которые позволяют совершать автономный орбитальный полет до 1,5 мес. и более.

Орбитальные станции являются удобными исследовательскими лабораториями для отработки научной аппаратуры и новых методов проведения исследований. МКС в отличие от отечественных орбитальных станций «Салют» и «Мир» не позволяла наводить научную аппаратуру на изучаемые объекты. Поэтому в эксперименте «Ураган» на МКС для изучения различных процессов на земной поверхности используется ручная аппаратура, либо научная аппаратура с большим полем зрения. Кроме того, в рамках космического

эксперимента «Ураган» изготовлены и доставлены на борт МКС подвижные платформы наведения «СОВА», позволяющие автоматически наводить фото и спектрометрическую аппаратуру на изучаемые объекты. Для контроля перемещения подвижных объектов, прежде всего животных и птиц, в рамках космического эксперимента «Ураган» на МКС используется научная аппаратура «Икарус», размещенная на поверхности станции космонавтами, соавторами статьи О.Г. Артемьевым и С.В. Прокопьевым во время выхода в открытый космос. С помощью данной аппаратуры выполнены многочисленные исследования, результаты которых широко публикуются в научной литературе. Использование всего комплекса научной аппаратуры космического эксперимента «Ураган» позволяет не только определить пути миграции животных, но и попытаться выяснить причины изменения их путей перемещения.

Дальнейшее развитие технологии определения перемещений подвижных объектов планируется осуществлять с помощью новой отечественной станции РОС. На станции РОС планируется установка отечественной аппаратуры контроля подвижных объектов «Икарус-Р». Кроме того, с помощью ТГК «Прогресс» планируется доставить на борт РОС научную аппаратуру «Икарус-Р» и спутник, который будет смонтирован на внешней поверхности ТГК «Прогресс» вместе с научной аппаратурой «Икарус-Р» во время выхода космонавтов в открытый космос. После выполнения своих основных функций в составе станции, ТГК «Прогресс» будет отстыкован и спутник с научной аппаратурой переведен на более высокую орбиту. Данный подход позволит создать систему контроля перемещения подвижных объектов и отработать технологию сборки на орбите сложных конструкций для дальнейшего автономного полета.

Выводы

Международная космическая станция является уникальной научной лабораторией для отработки перспективных технологий, в частности дистанционного зондирования Земли и мониторинга окружающей среды. Разработанная в рамках международного сотрудничества научная аппаратура «Икарус» демонстрирует высокую эффективность решения задач контроля перемещения подвижных объектов, в первую очередь животных и птиц. Космонавты сыграли важную роль в успешной реализации эксперимента, выполнив сложный монтаж аппаратуры на внешней поверхности МКС и

обеспечив ее ввод в эксплуатацию. Получены уникальные научные данные о миграционных путях птиц, что внесло значительный вклад в изучение биоразнообразия и экологии. Достигнутая точность определения местоположения объектов подтверждает перспективность использования технологии мониторинга объектов на Земле из космоса.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ РАН (FMWS-2024-0009).

Список литературы

- [1] Исследование лесов аэрокосмическими методами. Новосибирск: Наука, 1987. 216 с.
- [2] Исаев А.С., Сухих В.И., Калашников Е.Н. Аэрокосмический мониторинг лесов. М.: Наука, 1991. 240 с.
- [3] Беляев М.Ю. Научная аппаратура и методы изучения Земли в космическом эксперименте «Ураган» на Международной космической станции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2021. Т. 18. № 3. С. 92–107.
- [4] Батырев Ю.П., Поярков Н.Г., Чумаченко С.И., Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Есаков А.М., Черемисин М.В. Особенности проведения космического эксперимента «Дубрава» с борта Российского сегмента МКС // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 135–142. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-135-142
- [5] Беляев М.Ю., Викельски М., Лампен М., Легостаев В.П., Мюллер У., Науманн В., Тертицкий Г.М., Юрина О.А. Технология изучения перемещения животных и птиц на Земле с помощью аппаратуры ICARUS на российском сегменте МКС // Космическая техника и технологии, 2015. № 3. С. 38–51.
- [6] Есаков А.М. Планирование сеансов наблюдений изучаемых объектов на поверхности Земли с борта российского сегмента МКС // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 109–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-109-115
- [7] Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: Издательский проект «А и Б», 1997. 296 с.
- [8] Елагин А.Е. Лесные пожары: борьба с ними // Катастрофы и человечество: Всесоюз. конф. с участием зарубеж. учен., тез. докл. Суздаль, 11–15 февраля 1991. М.: Аналитико-издательский центр «ИЗНАН», 1991. С. 16–18.
- [9] Савельев В.Н., Уткин В.И. Лесные пожары и проблемы окружающей среды // Экологические промышленные производства, 1993. № 4. С. 13–20.
- [10] Беляев А.И., Ершов В.В., Лупян Е.А., Романюк Б.В., Сухинин А.И., Тащилин С.А. Национальная система сбора, обработки и анализа информации о природных пожарах и ее сопряжение с международными и региональными информационными сетями // Управление лесными пожарами на эко-региональном уровне: Материалы Междунар. науч.-практ. сем. Хабаровск, 9–12 сентября 2003 г. М.: Алекс, 2004. С. 156–166.
- [11] Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тащилин С.А. Российская система спутнико-


- вого мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. науч. статей. М.: Полиграф Сервис, 2004. С. 47–57.
- [12] Belward A.S., Kennedy P.J., Gregoire J.-M. The limitations and potential of AVHRR GAC data for continental scale fire studies // *Int. J. of Remote Sensing*, 1994, v.15, no. 11, pp. 2215–2234.
- [13] Chuvieco E., Martin M.P. Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1994, no. 60, pp. 563–570.
- [14] Chuvieco E., Martin M.P. A simple method for fire growth mapping using AVHRR channel 3 data // *Int. J. of Remote Sensing*, 1994, no. 15, pp. 3141–3146.
- [15] Lee T., Tag P. Improved detection of hotSPOTs using the AVHRR 3.7 μ m channel // *Bull. American Meteorological Society*, 1990, no. 71 pp. 1722–1730.
- [16] Malingreau J.P., Belward A.S. Recent activities in the European Community for the creation and analysis of global AVHRR data sets // *Int. J. of Remote Sensing*, 1994, v. 15, no. 17, pp. 3397–3416.
- [17] Lopez Garcia M.J., Caselles V. Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data // *Geocarto Int.*, 1991, v. 6, no. 1, pp. 31–37.
- [18] Wind B., Justice C.O., Vadrevu K.P., Ellicott E., Schroeder W. Active fires from the Suomi NPP visible infrared imaging radiometer suite: product status and first evaluation results // *J. Geophys. Res.: Atmos.*, 2014, v. 119, pp. 803–816.
- [19] Мамедалиева В.М. Изменение лесных массивов северо-восточного региона Азербайджана по космическим снимкам // *ИЗВУЗ Лесной журнал*, 2022. № 1. С. 88–97.
- [20] Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 419–429.
- [21] Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2010. Т. 7. № 2. С. 97–105.
- [22] Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Стыщенко Ф.В. Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2015. Т. 12. № 4. С. 7–16.
- [23] Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 4. С. 53–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65
- [24] Кобец Д.А., Балашов И.В., Данилов И.Д., Лупян Е.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А. Использование ВІ-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2015. Т. 12. № 4. С. 17–27.
- [25] Коровин Г.Н., Андреев Н.А. *Авиационная охрана лесов*. М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.
- [26] Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
- [27] Васильев К.В., Дробышев А.И. Оптимизация схемы формирования лучей и характеристик антенны приемного канала аппаратуры получения данных о глобальной миграции животных: сб. докладов // *Труды ЛП чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского*. Калуга, 19–21 сентября 2017 г. Казань: Изд-во Казанского университета, 2018. С. 63–69.
- [28] Аюкаева Д.М., Волков О.Н. Научная аппаратура «Икарус» космического эксперимента «Ураган» на борту служебного модуля российского сегмента МКС // *Материалы 54-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского*. Калуга: Политоп, 2019. Ч. I. С. 337–339.
- [29] Аюкаева Д.М., Воронин Ф.А., Полуаршинов М.А., Харчиков М.А. Интеграция управляемой научной аппаратуры на борт Российского сегмента Международной космической станции // *Космическая техника и технологии*. №3 (30), 2020. С. 66–75.
- [30] Беляев М.Ю., Волков О.Н., Соломина О.Н., Тертицкий Г.М. Исследование миграций животных с помощью научной аппаратуры «Икарус» в космическом эксперименте «Ураган» в РС МКС // *Гирокопия и навигация*, 2022. Т. 30. № 3 (118). С. 3–19.
- [31] Wikelski M., Uschi Mueller U., Scocco P., Catorci A., Desinov L.V., Belyaev M.Y., Keim D., Pohlmeier W., Fechteler G., Mai M. Potential short-term earthquake forecasting by farm animal monitoring // *Ethology published by Blackwell Verlag GmbH*, 2020. DOI:10.5061/dryad.q2bvq83gq
- [32] Holland R.A., Thorup K., Wikelski M.C. Where the wild things go // *Biologist* — Institute of Biology, 2007, v. 54, no. 4, pp. 214–219.
- [33] Свиридова Т.В., Бажанова А.А., Соловьев С.М., Ахатов Е.Е., Головнюк В.В. Проект по мечению дупелей спутниковыми передатчиками на севере Подмосковья // *Информационные материалы рабочей группы по куликам*. М.: Рабочая группа по куликам Северной Евразии, 2022. С. 50–52.
- [34] Ктиторов П.С., Булюк В.Н., Куликова О.Я., Марковец М.Ю., Чернецов Н.С., Симонов С.А., Гашков С.И., Матанцева М.В., Анисимов Ю.А., Анисимова В.И., Нурани Э. Птица большая сильная и эндогенно мотивированная: осенняя миграция глухой кукушки через Тихий океан // *Второй Всероссийский орнитологический конгресс*. Санкт-Петербург, 30 января – 4 февраля 2023 г. Тезисы докладов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2023. 128 с.
- [35] Марковец М.Ю., Анисимова В.И., Анисимов Ю.А. Годовой цикл лесного дупеля по данным спутниковой телеметрии: тез. докл. // *Второй Всерос. орнитол. конг. Санкт-Петербург, 30 января – 4 февраля 2023 г. М.: Товарищество научных изданий КМК*, 2023. 152 с.

- [36] Соколов Л.В., Булюк В.Н., Марковец М.Ю., Симонов С.А., Синельщикова А.Ю., Гашков С.И., Матанцева М.В., Антонов А.И., Бабыкина М.С., Анисимова В.И., Торуп К. Миграции и зимовки популяций обыкновенной кукушки от Британских островов до Камчатки — результаты телеметрии: тез. докл. // Второй Всерос. орнитол. конгр. Санкт-Петербург, Россия, 30 января – 4 февраля 2023 г. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2023. С. 245–246.
- [37] Шемякин Е.В., Кириллин Р.А., Егоров Н.Н., Дегтярев В.Г., Ларионов А.Г., Редькин Я.А., Жигир Д.Р. Экспансия азиатского бекасовидного веретенника в таежную зону Сибири // Прогресс в познании куликов Северной Евразии: Тезисы XII Междунар. конф. Рабочей группы по куликам Северной Евразии. Санкт-Петербург, 4 февраля. СПб: Изд-во РГК СЕ, 2023. 26 с.
- [38] Yanco S.W., Rutz C., Abrahms B., Cooper N.W., Marra P.P., Mueller T., Weeks B.C., Wikelski M., Oliver R.Y. Tracking individual animals can reveal the mechanisms of species loss, *Trends in Ecology & Evolution*, 2025, v. 40, iss. 1, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2024.09.008>
- [39] Krondorf, M. Bittner, S. Plettemeier, D. Knopp, A. Wikelski, M. ICARUS-very low power satellite-based IoT. // *Sensors*, 2022, v. 22 (17), p. 6329. <https://doi.org/10.3390/s22176329>.
- [40] Фефелов И.В., Поваринцев А.И., Саловаров В.О., Кузнецова Д.В. Миграционная тактика различных ястребиных при перелетах между Прибайкальем и Юго-Восточной Азией (по данным, полученным с помощью трекеров ICARUS) // Животные в экосистемах Внутренней Азии: фундаментальные и прикладные аспекты: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной юбилею д-ра биол. наук проф. Ц.З. Доржиева. Улан-Удэ, 15–17 февраля 2024 г. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского государственного университета имени Доржи Банзарова, 2024. С. 300–303.
- [41] Антонов А.И. Что мы знаем о миграциях наземных птиц в Амурской области и на востоке Азии? // Орнитология: современное состояние, проблемы и перспективы изучения: Материалы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Благовещенск, 21–22 февраля 2024 г. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета, 2024. С. 38–47.

Сведения об авторах

Артемьев Олег Германович — Герой Российской Федерации, инструктор-космонавт-испытатель 2-го класса Отряда космонавтов Роскосмоса, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»

Прокопьев Сергей Владимирович — Герой Российской Федерации, инструктор-космонавт-испытатель 1-го класса Отряда космонавтов Роскосмоса, ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»

Аюкаева Диана Маратовна  — вед. инж. центра полезной нагрузки, ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева», diana.ayukaeva@rsce.ru

Беляев Михаил Юрьевич — д-р техн. наук, профессор, науч. руководитель космического эксперимента «Ураган», ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева»; зав. кафедрой К1 «Системы автоматического управления», ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Mikhail.Belyaev@rsce.ru

Волков Олег Николаевич — гл. специалист по системному проектированию центра полезной нагрузки, ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева», Oleg.N.Volkov@rsce.ru

Батырев Илья Юрьевич — аспирант, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал)

Тертицкий Григорий Маркович — ст. науч. сотр., ФГБУН «Институт географии РАН», tertitski@mail.ru

Поступила в редакцию 28.04.2025.

Одобрено после рецензирования 20.06.2025.

Принята к публикации 03.10.2025.

OBSERVING MOBILE OBJECTS UNDER THE URAGAN EXPERIMENT ONBOARD THE INTERNATIONAL SPACE STATION

O.G. Artem'ev¹, S.V. Prokop'ev¹, D.M. Ayukaeva^{2✉},
M.Yu. Belyaev^{2,3}, O.N. Volkov², I.Yu. Batyrev³, G.M. Tertitskiy⁴

¹Gagarin Cosmonaut Training Center, 141160, Star City, Moscow reg., Russia

²RSC Energia, named after S.P. Korolev, 4a, Lenin st, 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

³BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

⁴Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, 29, bld. 4, Staromonetnyi per., 119017, Moscow, Russia

diana.ayukaeva@rsce.ru

One of the most important tasks for our country's spaceflight is to observe and monitor various territories on the Earth surface. This task is addressed by space equipment Uragan, which serves as a framework for developing technologies and hardware for Earth studies onboard the Russian Segment of the International Space Station. The experiment uses standard photographic and video equipment, as well as specially developed scientific equipment. The experiment serves as a framework for addressing various tasks, including potentially dangerous and catastrophic phenomena of natural or man-made origins. One of the focus areas of the experiment consists in monitoring bird and animal migrations on Earth using space technologies. Scientific equipment Icarus was developed within the framework of international cooperation between Germany and Russia. The experiment uses miniature sensors attached to birds and animal. Data from the sensors goes to the Russian Segment of ISS and from there to the Mission Control Center near Moscow. The received data are used for studying migratory paths of the survey targets. Ornithologists can predict migratory paths of the tagged birds and animals and interpret their changes. The paper presents the general principle of the movable target tracking technology that is being developed and provides a brief description of the equipment that is used. It describes the role of the crew in carrying out the experiment. The cosmonauts who co-authored the paper were among the originators of onboard implementation of the experiment involving the Icarus equipment. The paper presents some of the study results. Tagging birds within the framework of space experiment Uragan made it possible, for example, to gain new knowledge about wintering and migratory activities of 23 species of birds nestling in Russia. The paper also reviews potential and prospects for further development of the technology for tracking migration of animals and other targets on Earth from space that has been tried out onboard the ISS. It provides a description of future experiments proposed for the new Russian Orbital Station.

Keywords: scientific equipment, space experiment, animal movement and migration, crew, ISS RS, ROS, cargo spacecraft

Suggested citation: Artem'ev O.G., Prokop'ev S.V., Ayukaeva D.M., Belyaev M.Yu., Volkov O.N., Batyrev I.Yu., Tertitskiy G.M. *Osobennosti provedeniya issledovaniy po nablyudeniyu podvizhnykh ob'ektov v eksperimente «Uragan» na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [Observing mobile objects under the Uragan experiment onboard the International Space Station]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 6, pp. 171–186. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-6-171-186

References

- [1] *Issledovanie lesov aerokosmicheskimi metodami* [Studying forests using aerospace methods]. Novosibirsk: Nauka, 1987, 216 p.
- [2] Isaev A.C., Sukhikh V.I., Kalashnikov E.H. *Aerokosmicheskiy monitoring lesov* [Aerospace monitoring of forests]. Moscow: Nauka, 1991, 240 p.
- [3] Belyaev M.Yu. *Nauchnaya apparatura i metody izucheniya Zemli v kosmicheskom eksperimente «Uragan» na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [Scientific equipment and methods for studying Earth in the Uragan space experiment onboard the International Space Station]. *Sovremennye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in Earth remote sensing], 2021, v. 18, no. 3, pp. 92–107.
- [4] Batyrev Yu.P., Poyarkov N.G., Chumachenko S.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Esakov A.M., Cheremisin M.V. *Osobennosti provedeniya kosmicheskogo eksperimenta «Dubrava» s borta Rossiyskogo segmenta MKS* [Features of conducting «Dubrava» space experiment on board Russian segment of ISS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 135–142. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-135-142
- [5] Belyaev, M.Yu., Vikel'ski, M., Lampen, M., Legostaev, V.P., Myuller, U., Naumann, V., Tertitskiy, G.M., Yurina, O.A. *Tekhnologiya izucheniya peremeshcheniya zhivotnykh i ptits na Zemle s pomoshch'yu apparatury ICARUS na rossiyskom segmente MKS* [Technology for Studying Animal and Bird Migration on Earth Using ICARUS Equipment of the Russian Segment of the ISS] *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space Engineering and Technologies], 2015, v. 3, pp. 38–51.
- [6] Esakov A.M. *Planirovaniye seansov nablyudeniya izuchaemykh ob'ektov na poverkhnosti Zemli s borta rossiyskogo segmenta MKS* [Planning of observation sessions of the studied objects on the surface of the Earth from the Russian segment of the ISS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 109–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-109-115

- [7] Garbuk C.B., Gershenzon V.E. *Kosmicheskie sistemy distantionnogo zondirovaniya Zemli* [Space systems for Earth Remote Sensing]. Moscow: A and B Publishers, 1997, 296 p.
- [8] Elagin A.E. *Lesnye pozhary: bor'ba s nimi* [Wild fires: fighting them] Katastrofy i chelovechestvo: Vsesoyuz. konf. s uchastiem zarubezh. uchen. [Disasters and Mankind: All-Russia conference with participation of foreign scientists]. Abstracts, Suzdal, February 11–15, 1991. Moscow: Analit.-izd. tsentr «IZANA», 1991, pp. 16–18.
- [9] Savel'ev V.N., Utkin V.I. *Lesnye pozhary i problemy okruzhayushchey sredy* [Wild fires and environmental problems]. Ekol. prom. pr-va [Ecology of Industrial Production], 1993, no. 4, pp. 13–20.
- [10] Belyaev A.I., Ershov V.V., Lupyan E.A., Romanyuk B.V., Sukhinin A.I., Tashchilin S.A. *Natsional'naya sistema sbora, obrabotki i analiza informatsii o prirodnnykh pozharakh i ee sopryazhenie s mezhdunarodnymi i regional'nymi informatsionnymi setyami* [National system for acquisition, processing and analysis of data about wildfires and its integration with international and regional information networks]. Upravlenie lesnymi pozharemi na ekoregional'nom urovne Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar (Khabarovsk, 9–12 sentyabrya 2003 g.) [Managing wildfires at the eco-regional level. Proceedings of international research and practice seminar]. Moscow: Alex publishers, 2004, pp. 156–166.
- [11] Ershov D.V., Korovin G.N., Lupyan E.A., Mazurov A.A., Tashchilin S.A. *Rossiyskaya sistema sputnikovogo monitoringa lesnykh pozharov* [Russian system for satellite monitoring of wildfires]. Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: Fizicheskie osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy, potentsial'no opasnykh ob'ektov i yavleniy. Sbornik nauchnykh statey [Current problems in Earth remote sensing: Physics, methods and technologies of monitoring the environment, potentially hazardous objects and phenomena. Collection of scientific articles]. Moscow: Poligraf Service, 2004, pp. 47–57.
- [12] Belward A.S., Kennedy P.J., Gregoire J.-M. The limitations and potential of AVHRR GAC data for continental scale fire studies. *Int. J. of Remote Sensing*, 1994, v. 15, no. 11, pp. 2215–2234.
- [13] Chuvieco E., Martin M.P. Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1994, no. 60, pp. 563–570.
- [14] Chuvieco E., Martin M.P. A simple method for fire growth mapping using AVHRR channel 3 data. *Int. J. of Remote Sensing*, 1994, no. 15, pp. 3141–3146.
- [15] Lee T., Tag P. Improved detection of hotSPOTs using the AVHRR 3.7 μ m channel. *Bull. American Meteorological Society*, 1990, no. 71, pp. 1722–1730.
- [16] Malingreau J.P., Belward A.S. Recent activities in the European Community for the creation and analysis of global AVHRR data sets // *Int. Journal of Remote Sensing*, 1994, v. 15, no. 17, pp. 3397–3416.
- [17] Lopez Garcia M.J., Caselles V. Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto Int.*, 1991, v. 6, no. 1, pp. 31–37.
- [18] Wind B., Justice C.O., Vadrevu K.P., Ellicott E., Schroeder W. Active fires from the Suomi NPP visible infrared imaging radiometer suite: product status and first evaluation results. *J. Geophys. Res.: Atmos.*, 2014, v. 119, pp. 803–816.
- [19] Mamedaliev V.M. *Izmenenie lesnykh massivov severo-vostochnogo regiona Azerbaydzhana po kosmicheskim snimkam* [Changes in woodlands of north-eastern region of Azerbaijan according to images from space]. *Russian Lesnoy zhurnal*, 2022, no. 1, pp. 88–97.
- [20] Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotelnikov R.V., Lupyan E.A., Shchetinskiy V.E. *Informatsionnaya sistema distantionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva RF (sostoyaniye i perspektivy razvitiya)* [Information system for remote monitoring of forest fires of the RF Federal Forest Management Agency (current status and prospects for further development)]. *Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in Earth remote sensing], 2008, v. 2, pp. 419–429.
- [21] Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotelnikov R.V., Lupyan E.A., Shchetinskiy V.E. *Osnovnye vozmozhnosti i struktura informatsionnoy sistemy distantionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva (ISDM Rosleskhoz)* [Core capabilities and architecture of the Information System for Remote Monitoring of forest fires of the Federal Forest Management Agency (ISRM Rosleskhoz)]. *Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in Earth remote sensing], 2010, v. 7, no. 2, pp. 97–105.
- [22] Kashnitskiy A.V., Lupyan E.A., Bartalev S.A., Bartalev S.S., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Stytsenko F.V. *Optimizatsiya interaktivnykh protsedur kartografirovaniya garey v informatsionnykh sistemakh distantionnogo monitoringa prirodnnykh pozharov* [Optimizing interactive procedures for mapping burned-out forests in information systems for remote monitoring of wildfires]. *Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in Earth remote sensing], 2015, v. 12, no. 4, pp. 7–16.
- [23] Kuksin G.V., Sekerin I.M., Zalesov S.V. *Obnaruzhenie zimuyushchikh torfyanykh pozharov distantionnymi metodami* [Detection of wintering peat-bog fires by remote methods]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 53–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65
- [24] Kobets D.A., Balashov I.V., Danilov I.D., Lupyan E.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A. *Ispol'zovanie VI-tekhnologiy dlya sozdaniya instrumentov dlya analiza dannykh sputnikovogo monitoringa* [Use of BI-technologies to develop tools for analyzing satellite monitoring data]. *Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in Earth remote sensing], 2015, v. 12, no. 4, pp. 17–27.
- [25] Korovin G.N., Andreev N.A. *Aviatsionnaya okhrana lesov* [Aerial forest conservation]. Moscow: Agropromizdat [Agropromizdat], 1988, 223 p.
- [26] Lupyan E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. *Sputnikovyy servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti («VEGA»)* [Satellite service of monitoring vegetation condition («VEGA»)]. *Sovremennyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in Earth remote sensing], 2011, v. 8, no. 1, pp. 190–198.

- [27] Vasil'ev K.V., Drobyshev A.I. *Optimizatsiya skhemy formirovaniya luchey i kharakteristik anteny priemnogo kanala apparatury polucheniya dannykh o global'noy migratsii zhivotnykh* [Optimizing beam-forming network and characteristics of the antenna in the reception channel of the equipment for acquiring data on global animal migrations]. Trudy LII Chteniy K.E. Tsiolkovskogo [Proceedings of the 52nd Tsiolkovsky Readings]. Kaluga, 2017, pp. 63–69.
- [28] Ayukaeva D.M., Volkov O.N. *Nauchnaya apparatura «Ikarus» kosmicheskogo eksperimenta «Uragan» na bortu sluzhebnogo modulya rossiyskogo segmenta MKS* [ICARUS scientific equipment of the space experiment Uragan onboard the Service Module of the ISS Russian Segment]. Materialy 54-kh nauchnykh chteniy K.E.Tsiolkovskogo [Proceedings of the 54th Tsiolkovsky Readings]. Kaluga, 2019, part I, pp. 337–339.
- [29] Ayukaeva D.M., Voronin F.A., Poluarshinov M.A., Kharchikov M.A. *Integratsiya upravlyaemoy nauchnoy apparatury na bort Rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [Integration of controllable scientific equipment into the Russian Segment of the International Space Station]. Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii [Space Engineering And Technology], 2020, no. 3(30), pp. 66–75.
- [30] Belyaev M.Yu., Volkov O.N., Solomina O.N., Tertitskiy G.M. *Issledovanie migratsiy zhivotnykh s pomoshch'yu nauchnoy apparatury «Ikarus» v kosmicheskom eksperimente «Uragan» v RS MKS* [Animal migration study using scientific equipment Icarus in space experiment Uragan onboard the ISS RS]. Girokopiya i navigatsiya [Gyroscopy and navigation], 2022, v. 30, no. 3 (118), pp. 3–19.
- [31] Wikelski M., Uschi Mueller U., Scocco P., Catorci A., Desinov L.V., Belyaev M.Y., Keim D., Pohlmeier W., Fechteler G., Mai M. Potential short-term earthquake forecasting by farm animal monitoring. *Ethology*. 2020; 00:1-11. <https://doi.org/10.1111/eth.13078>
- [32] Holland R.A., Thorup K., Wikelski M.C. Where the wild things go. *Biologist — Institute of Biology*, 2007, v. 54, no 4, pp. 214–219.
- [33] Sviridova T.V., Bazhanova A.A., Solov'ev S.M., Akhatov E.E., Golovnyuk V.V. *Proekt po mecheniyu dupeley sputnikovymi peredatchikami na severe Podmoskov'ya* [The project to tag double snipes with satellite transmitters in the north of Moscow region]. Informatsionnye materialy rabochey gruppy po kulikam [Information package of the workgroup for sandpipers]. Moscow: Rabochaya gruppa po kulikam Severnoy Evrazii [Workgroup for sandpipers of Northern Eurasia], 2022, pp. 50–52.
- [34] Kitorov P.S., Buluyk V.N., Kulikova O.Ya., Markovets M.Yu., Chernetsov N.S., Simonov S.A., Gashkov S.I., Matantseva M.V., Anisimov Yu.A., Anisimova V.I., Nurani E. *Ptitsa bol'shaya sil'naya i endogenno motivirovannaya: osenniyaya migratsiya glukhoy kukushki cherez Tikhii okean* [Big, strong, and endogenously motivated bird: autumnal migration of oriental cuckoo via Pacific Ocean]. Vtoroy Vserossiyskiy ornitologicheskiy kongress [Second All-Russia Ornithology Congress. St. Petersburg, January 30 – February 4, 2023. Abstracts]. Moscow: Scientific Publications Company KMK, 2023, 128 p.
- [35] Markovets M.Yu., Anisimova V.I., Anisimov Yu.A. *Godovoy tsikl lesnogo dupelya po dannym sputnikovoy teletmetrii* [Annual cycle of marsh snipe from satellite telemetry data]. Vtoroy Vserossiyskiy ornitologicheskiy kongress [Second All-Russia Ornithology Congress. St. Petersburg, January 30 – February 4, 2023. Abstracts]. Moscow: Scientific Publications Company KMK, 2023, 152 p.
- [36] Sokolov L.V., Buluyk V.N., Markovets M.Yu., Simonov S.A., Sinel'shchikova A.Yu., Gashkov S.I., Matantseva M.V., Antonov A.I., Babykina M.S., Anisimova V.I., Torup K. *Migratsii i zimovki populyatsiy obyknovennoy kukushki ot Britanskikh ostrovov do Kamchatki — rezul'taty teletmetrii* [Migrations and winterings of common cuckoo populations from British Isles to Kamchatka — telemetry results]. Vtoroy Vserossiyskiy ornitologicheskiy kongress [Second All-Russia Ornithology Congress. St.Petersburg, January 30 – February 4, 2023. Abstracts]. Moscow: Scientific Publications Company KMK, 2023, pp. 245–246.
- [37] Shemyakin E.V., Kirillin R.A., Egorov N.N., Degtyarev V.G., Larionov A.G., Red'kin Ya.A., Zhigir D.R. *Ekspansiya aziatskogo bekasovidnogo veretennika v taehimuyu zonu Sibiri* [Spreading of asian dowitcher into Siberian taiga zone]. Progress v poznanii kulikov Severnoy Evrazii: Tezisy XII Mezhdunar. nauchn. konf. Rabochey gruppy po kulikam Severnoy Evrazii [Advances in knowledge about sandpipers of Northern Eurasia: Abstracts of the 12th International Scientific Conference of the Workgroup for sandpipers of Northern Eurasia. St. Petersburg, February 4]. St. Petersburg: Workgroup for sandpipers of Northern Eurasia, 2023, 26 p.
- [38] Yanco S.W., Rutz C., Abrahms B., Cooper N.W., Marra P.P., Mueller T., Weeks B.C., Wikelski M., Oliver R.Y. Tracking individual animals can reveal the mechanisms of species loss, *Trends in Ecology & Evolution*, 2025, v. 40, iss. 1, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2024.09.008>.
- [39] Krondorf M., Bittner S., Plettemeier D., Knopp A., Wikelski M. ICARUS-very low power satellite-based IoT. *Sensors*, 2022, v. 22 (17), p. 6329. <https://doi.org/10.3390/s22176329>
- [40] Fefelov I.V., Povarintsev A.I., Salovarov V.O., Kuznetsova D.V. *Migratsionnaya taktika razlichnykh yastrebinnykh pri pereletakh mezhdru Pribaykal'em i Yugo-Vostochnoy Aziei (po dannym, poluchennym s pomoshch'yu trekerov ICARUS)* [Migration tactics of various hawks during passages between the Baikal region and Southeast Asia (from data acquired using ICARUS trackers)]. Zhivotnye v ekosistemakh vnutrenney Azii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: materialy vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy yubileyu doktora biologicheskikh nauk, professora Ts. Z. Dorzhieva. Ulan-Ude [In collected volume: Animals in Ecological Systems of Innermost Asia: Fundamental and Applied Aspects. Proceedings of all-Russia conference with international participation, dedicated to the anniversary of Doctor of Biological Sciences, Professor Ts.Z. Dorzhiev]. Ulan Ude, 2024, pp. 300–303.
- [41] Antonov A.I. *Chto my znaem o migratsiyakh nazemnykh ptits v Amurskoy oblasti i na vostoche Azii* [What we know about migrations of land birds in Amur region and in east Asia]. Ornitologiya: sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy izucheniya. materialy vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Blagoveshchensk [Ornithology: current state, problems and prospects for study. Proceedings of all-Russia (national) workshop]. Blagoveshchensk, 2024, pp. 38–47.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the IG RAS (FMWS-2024-0009).

Authors' information

Artem'ev Oleg Germanovich — Hero of the Russian Federation, instructor-cosmonaut-tester of the Roscosmos cosmonaut corps

Prokop'ev Sergey Vladimirovich — Hero of the Russian Federation, instructor-cosmonaut-tester of the Roscosmos cosmonaut corps

Ayukaeva Diana Maratovna [✉] — Lead Engineer at the Payload Center of the Rocket and Space Corporation Energia, diana.ayukaeva@rsce.ru

Belyaev Mikhail Yur'evich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Research Supervisor of the Space Experiment «Uragan»; Rocket and Space Corporation Energia; Head of Chair K1 «Automatic Control Systems» of the BMSTU (Mytishchi branch), Mikhail.Belyaev@rsce.ru

Volkov Oleg Nikolaevich — Chief Specialist for Systems design at the Payload Center of the Rocket and Space Corporation Energia, Oleg.N.Volkov@rsce.ru

Batyrev Il'ya Yur'evich — pg., BMSTU (Mytishchi branch)

Tertitskiy Grigoriy Markovich — Senior Researcher at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, tertitski@mail.ru

Received 28.04.2025.

Approved after review 20.06.2025.

Accepted for publication 03.10.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest