

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ДУБРАВА» С БОРТА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

Ю.П. Батырев<sup>1✉</sup>, Н.Г. Поярков<sup>1</sup>, С.И. Чумаченко<sup>1</sup>,  
М.Ю. Беляев<sup>1, 2</sup>, Э.Э. Сармин<sup>2</sup>, А.М. Есаков<sup>2</sup>, М.В. Черемисин<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

<sup>2</sup>ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина, д. 4А

batyrev@bmstu.ru

Приведен актуальный и перспективный набор инструментов для проведения космического эксперимента «Дубрава». Указаны особенности их использования для обеспечения максимального числа сеансов наблюдения выбранных лесных территорий.

**Ключевые слова:** мониторинг лесов, дистанционное зондирование Земли, космический эксперимент «Дубрава», Российский сегмент Международной космической станции, научная аппаратура, планирование сеансов

**Ссылка для цитирования:** 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

Начиная с 2016 г. на борту Международной космической станции (МКС) проводится космический эксперимент «Дубрава», постановщиком которого является Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана (Московский государственный университет леса — на момент начала разработки программы эксперимента).

### Цель работы

Цель работы — отработка методов инвентаризации лесов и лесохозяйственной деятельности, определения воздействий на лесной покров природных и техногенных факторов с борта МКС с использованием визуально-инструментального и спектрометрического мониторинга, а также гиперспектральной и инфракрасной аппаратуры на последующих этапах эксперимента после ее доставки на МКС.

Основными задачами космического эксперимента «Дубрава» являются следующие:

– отработка метода совместного визуально-инструментального наблюдения и спектрометрического измерения лесных экосистем в целях обеспечения создания специализированной гиперспектральной бортовой аппаратуры и разработки технологии гиперспектрального космического мониторинга лесов;

– определение наиболее значимых дешифровочных и спектральных признаков деградации лесных экосистем и отработка методов их измерения, в том числе для выявления и оценки:

а) площадей лесных насаждений, поврежденных вредителями и болезнями;

б) погибших насаждений и площадей, пострадавших в результате пожаров и других природных явлений;

в) площадей насаждений, поврежденных в результате антропогенных воздействий и неблагоприятной экологической ситуации;

г) некоторых таксационных характеристик лесных насаждений;

д) класса пожарной опасности лесов;  
– отработка автоматизированных методов оценки площадей лесонасаждений, пострадавших в результате природных и антропогенных воздействий и неблагоприятной экологической ситуации;

– отработка методов дистанционного мониторинга для определения количественных и качественных оценок биоразнообразия лесов.

В задачи Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э.Баумана для космического эксперимента «Дубрава» входят следующие:

– разработка заявок на проведение работ по тематике космического эксперимента экипажами МКС и их передача в ЦУП-М (через РКК «Энергия»);

– осуществление научного обоснования цели и постановка задач эксперимента, а также методическое руководство при разработке программы и методики эксперимента и плана реализации его результатов;

– совместная с РКК «Энергия» разработка программно-методической документации и необходимые экипажу информационно-справочные материалы по эксперименту;

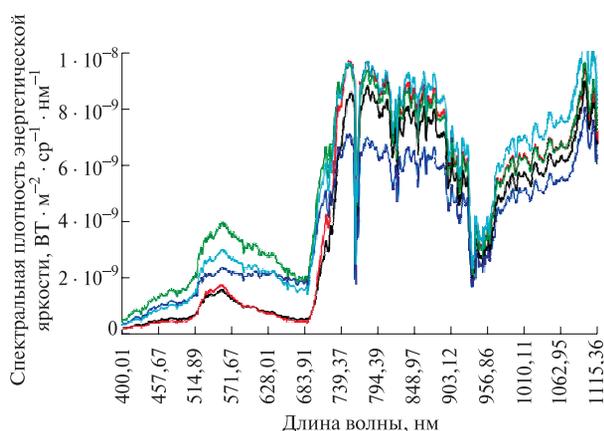
– разработка автоматизированных рабочих мест для планирования эксперимента и обработки полученных результатов;

- обработка аэрокосмических снимков лесных экосистем;
- моделирование развития экосистемы с использованием соответствующего программного обеспечения по результатам обработки информационных материалов, возвращенных на землю;
- участие в разработке материалов научных отчетов и методики взаимодействия экипажей МКС;
- организация проведения мероприятий по практическому использованию результатов выполненного космического эксперимента;
- выпуск экспресс-отчетов в качестве ответственного исполнителя;
- разработка и реализация мероприятий по совершенствованию существующей базы данных с учетом полученных результатов космического эксперимента.

## Материалы и методы

Научная аппаратура, входящая в состав Российского сегмента МКС и используемая для космического эксперимента «Дубрава», включает в себя следующее оборудование [1–10]:

- 1) спектрометрическая аппаратура: фотоспектральная система (ФСС) с рабочим спектральным диапазоном 350...1050 нм;
- 2) видеоспектральная система (ВСС), используемая для проведения измерений характеристик отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 400 до 950 нм;
- 3) цифровые фотоаппараты Nikon D3X, Nikon D800E и Nikon D5 с телеобъективами SIGMA AF 300-800 F/5.6 и AF-S Nikkor 600mm f/4 с телеконверторами Nikon TC-15E и Nikon TC-20E. [1, 7, 9];
- 4) система ориентирования видеоспектральной аппаратуры — «СОБА», предназначенная для установки внутри МКС — на иллюминаторах ее



**Рис. 1.** Измерения растительного покрова, получаемые со спектрометрической аппаратуры фотоспектральной системы

**Fig. 1.** Admeasurements of the vegetation cover obtained from the spectrometric equipment of the photospectral system

служебного модуля и многоцелевого лабораторного модуля [6].

Фотоспектральная система была первым спектрометрическим прибором, используемым на Российском сегменте МКС. С его помощью измерен растительный покров (рис. 1) [2].

В настоящее время для съемки земной поверхности используется ВСС [1, 5, 11–13], характеристики которой обеспечивают максимальную расчетную разрешающую способность фотоизображения на местности порядка 10 м/пиксель, при этом охват территории одним снимком составляет 36,9 × 28,5 км [1].

Для классификации по спектральным сигнатурам можно использовать такие хорошо известные алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации, как, например, метод *k*-средних и широкий диапазон метрик, включая расстояние Евклида, косинусную меру или метод максимального правдоподобия (Байеса).

Также спектрометрические данные позволяют рассчитывать разнообразные вегетационные индексы (NDVI, SAVI, MSAVI, EVI) [14–16].

Использование платформы наведения «СОБА» позволяет проводить съемку и спектрометрирование объектов исследования по трассе полета в зоне подстилающей поверхности при углах визирования от  $-30^\circ$  до  $+30^\circ$  градусов от надира. В результате по сравнению с использованием жестко закрепленных на кронштейне приборов в режиме автоматической съемки резко увеличивается доступная для наблюдений площадь земной поверхности, приближаясь к возможностям «ручной» съемки экипажем (причем автоматическую съемку можно проводить в любое время бортовых суток). Использование платформы наведения «СОБА» позволяет планировать съемку множества объектов в рамках одного сеанса. При этом появляется прикладная задача оптимального управления платформой наведения, которую можно решить с использованием методов оптимизации [17, 18].

На втором этапе космического эксперимента (с 2022 г.) предполагается использование в дополнение к существующей новой научной аппаратуры (НА) ДЗЗ–НА «Гиперспектрометр» (ручной прибор) [10] и НА «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» [1], а также вспомогательного оборудования «СОБА» и СКПФ-У (система координатной привязки фотоизображений). Разработка данных приборов выполняется в рамках космического эксперимента «Ураган».

## Результаты и обсуждение

Необходимо отметить, что обширные районы России недоступны для наблюдений с борта МКС. Но даже несмотря на это, потенциал стан-

ции как платформы для дистанционного зондирования весьма велик. В ходе оценки возможности планирования съемки было проведено моделирование условий наблюдения в 2021 г. нескольких объектов исследований космического эксперимента «Дубрава»: Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес» (Брянская обл.) и Теллермановского лесничества (Воронежская обл.) с учетом характеристик как имеющейся на борту аппаратуры, так и перспективных разрабатываемых ее образцов (рис. 2–5).

В силу влияния ограничений, действующих в отношении ориентирования аппаратуры наблюдения, заповедник «Брянский лес» не доступен для мониторинга с Российского сегмента МКС с использованием научной аппаратуры «Гиперспектрометр» и «Радиометр инфракрасный высокого разрешения». Тем не менее проведенные расчеты показали, что при использовании научной аппаратуры ВСС обеспечивается от 88 до 146 сеансов наблюдений в год, в зависимости от используемого типа наведения.

Из рис. 3 видно, что неравномерность распределения сеансов приводит к полному отсутствию возможности наблюдать объект на протяжении нескольких месяцев подряд. При этом имеются значительные периоды времени с возможностью ежесуточного мониторинга этого заповедника. Таким образом, с учетом данных, полученных с автоматических космических аппаратов, мониторинг данного объекта можно осуществлять с приемлемой частотой.

Теллермановское лесничество имеет значительно более выгодное географическое положение для наблюдения с МКС. Моделирование условий наблюдений Теллермановского лесничества показало, что вся научная аппаратура Российского сегмента МКС может быть задействована для его мониторинга.

Из рис. 4 видно, что в зависимости от типа используемой аппаратуры обеспечивается от 108 до 438 сеансов наблюдений. Имеется при этом неравномерность распределения сеансов: использование ВСС и научной аппаратуры «Гиперспектрометр» ограничивается освещенностью исследуемого объекта. Поскольку «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» работает в среднем и дальнем диапазонах инфракрасного излучения, на него это ограничение не распространяется, поэтому возможно обеспечение ежесуточного мониторинга исследуемого объекта. Прогнозируемое количество наблюдений Теллермановского лесничества в 2021 г. по месяцам представлено на рис. 5.

Таким образом, можно сделать вывод, что мониторинг Теллермановского лесничества можно

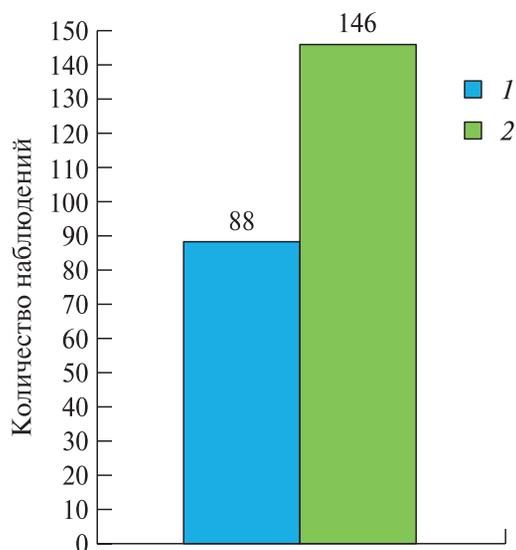


Рис. 2. Прогнозируемое количество наблюдений заповедника «Брянский лес» в 2021 г.: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение)

Fig. 2. Predicted number of observations in the Bryansk Forest Reserve in 2021: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance)

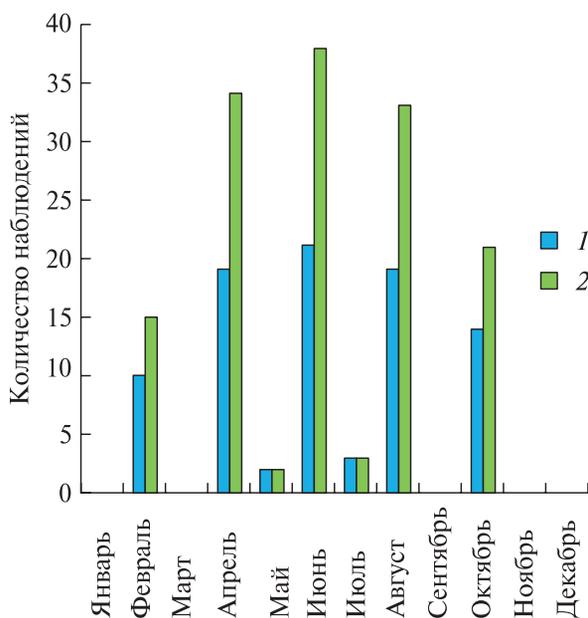
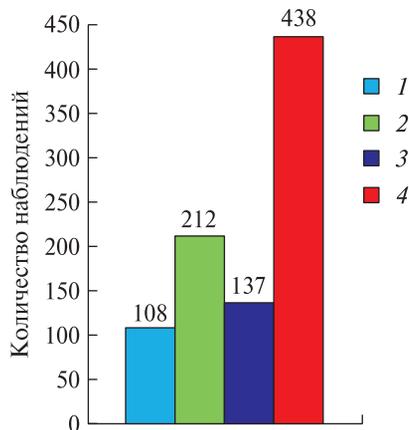


Рис. 3. Прогнозируемое количество наблюдений заповедника «Брянский лес» в 2021 г. по месяцам: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение)

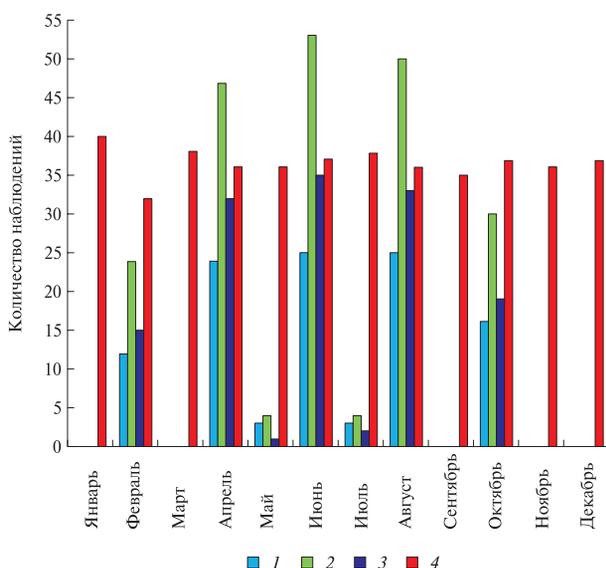
Fig. 3. Predicted number of observations in the Bryansk Forest Reserve in 2021 by months: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance)

осуществлять фактически в ежесуточном режиме, заполняя «пробелы» в данных, получаемых с автоматических аппаратов, информацией, получаемой со станции.



**Рис. 4.** Прогнозируемое количество наблюдений Теллермановского лесничества в 2021 г.: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение); 3 — гиперспектрометр; 4 — радиометр инфракрасный высокого разрешения

**Fig. 4.** Predicted number of observations in the Tellermanovsky forestry in 2021: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance); 3 — hyperspectrometer; 4 — high resolution infrared radiometer



**Рис. 5.** Прогнозируемое количество наблюдений Теллермановского лесничества в 2021 г. по месяцам: 1 — видеоспектральная система (ручное наведение); 2 — видеоспектральная система (автоматическое наведение); 3 — гиперспектрометр; 4 — радиометр инфракрасный высокого разрешения

**Fig. 5.** Predicted number of observations in the Tellermanovsky forestry in 2021 by months: 1 — video spectral system (manual guidance); 2 — video spectral system (automatic guidance); 3 — hyperspectrometer; 4 — high resolution infrared radiometer

Учитывая изложенное, планирование сеансов наблюдения объектов исследования космического эксперимента «Дубрава» с учетом специфики станции, ограничений, влияющих на планиро-

вание сеансов съемок изучаемых объектов, особенностей имеющейся на борту и перспективной научной аппаратуры осуществляется следующим образом.

1. Составление списка потенциальных объектов съемки по заявкам участников космического эксперимента.

2. Моделирование баллистических условий и анализ доступности объектов с учетом естественных ограничений и исходных данных по объектам от участников эксперимента.

3. Ранжирование доступных объектов с присвоением большего приоритета объектам, на которых запланированы научные и полевые работы участников космического эксперимента.

4. Моделирование условий проведения сеансов и составление заявки с исходными данными для планирования недельного интервала съемок.

5. Окончательная фильтрация списка объектов в ходе формирования плана полета.

6. Разработка исходных данных для создания радиограммы.

7. Согласование радиограммы и ее отправка на борт.

8. Экспресс-анализ результатов съемки, при необходимости — изменение приоритетности объектов наблюдений для использования при составлении последующей заявки на проведение съемок.

Алгоритм экспресс-обработки данных научной аппаратуры «Гиперспектрометр» для оперативного планирования космического эксперимента «Дубрава», разработанный в составе методического обеспечения, можно представить в виде обобщенной блок-схемы/сценария для его оперативного планирования, в виде отдельной процедуры ПО ВУМ во взаимодействии с геоинформационной системой (рис. 6).

Для формирования базы геопространственных данных космического эксперимента «Дубрава» и проведения анализа результатов дистанционного зондирования Земли была выбрана геоинформационная система Quantum GIS (QGIS). Это — свободная кроссплатформенная геоинформационная система для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации с открытым исходным кодом.

Эффективное выполнение космических экспериментов на МКС предусматривает разработку и использование специального методического обеспечения для всех этапов космического эксперимента.

## Выводы

С учетом высокой стоимости используемых для выполнения космического эксперимента «Дубрава» ресурсов и его важности для страны и лесной науки и особенностей проведения экспе-



Рис. 6. Алгоритм экспресс-обработки данных научной аппаратуры «Гиперспектрометр» для оперативного планирования космического эксперимента «Дубрава»

Fig. 6. Express processing algorithm of data from scientific equipment «Hyperspectrometer» for operational planning of the space experiment «Dubrava»

римента разработано методическое обеспечение, позволяющее рационально планировать и, при необходимости, оперативно изменять запланированные сеансы наблюдений. Кроме того, созданное методическое обеспечение позволяет в процессе полета и оперативного планирования полетных суток оперативно оценивать результаты выполненных сеансов наблюдения, что обеспечивается использованием информации от наземных тестовых объектов и экспресс-анализом получаемых в космическом эксперименте данных.

Проведение в полете экспресс-обработки и анализа данных эксперимента позволяет оценить вероятность достижения целей космического эксперимента, поставленных в данном сеансе, и при необходимости оперативно принять решение о повторении наблюдения исследуемого объекта либо осуществить переход для изучения других объектов программы космического эксперимента.

Методическое обеспечение содержит созданные методики, которые предназначены для следующих процедур:

- выбора объектов исследования в космическом эксперименте «Дубрава»;
- планирования сеансов наблюдения;
- наблюдения объектов несколькими приборами;
- географической привязки получаемых данных в космическом эксперименте «Дубрава»;
- экспресс-обработки получаемой с борта информации для целей оперативного планирования наблюдений объектов космического эксперимента «Дубрава» в ходе полета Российского сегмента МКС;
- оперативной обработки телеметрической информации с целью коррекции программы съемок в ходе выполнения космического эксперимента «Дубрава».

Разработанное методическое обеспечение позволяет эффективно решать указанные задачи в ходе проведения космического эксперимента «Дубрава» на Российском сегменте МКС.

## Список литературы

- [1] Belyaev M.Yu., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment // 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. International Astronautical Federation (IAF). IAC-18, 2018, simp. B.3, session 3, p. x46752.
- [2] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Катковский Л.В., Крот Ю.А., Роговец А.В., Сармин Э.Э., Хвалей С.В. Некоторые результаты летных испытаний фотоспектральной системы ФСС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. № 2. С. 264–272.
- [3] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Роговец А.В., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Сосенко В.А. Летная отработка исследовательской аппаратуры «Фотоспектральная система» на борту Российского сегмента Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2014. № 1. С. 22–28.
- [4] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Катковский Л.В., Крот Ю.А., Сармин Э.Э. Результаты испытаний фотоспектральной системы на МКС // Исследование Земли из космоса, 2014. № 6. С. 27–39. DOI: 10.7868/S0205961414060013
- [5] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Гусев В.Ф., Десинов Л.В., Иванов В.А., Крот Ю.А., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сосенко В.А. Устройство и летные испытания научной аппаратуры «Видеоспектральная система» на борту российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии, 2016. № 2. С. 70–79.
- [6] Беляев Б.И., Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Голубев Ю.В., Ломако А.А., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Сосенко В.А. Система автоматической ориентации научной аппаратуры в эксперименте «Ураган» на Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2018. № 4(23). С. 70–80.
- [7] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Сармин Э.Э., Юрина О.А. Аппаратура и программно-математическое обеспечение для изучения земной поверхности с борта российского сегмента Международной космической станции по программе «Ураган» // Космонавтика и ракетостроение, 2015. № 1. С. 63–70.
- [8] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Сармин Э.Э., Юрина О.А. Изучение с борта российского сегмента Международной космической станции в рамках программы «Ураган» катастрофических явлений, вызывающих экологические проблемы // Космонавтика и ракетостроение, 2015. № 1. С. 71–79.
- [9] Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Караваев Д.Ю., Легостаев В.П., Рязанцев В.В., Юрина О.А. Особенности проведения и использования результатов съемки земной поверхности, выполняемой экипажами российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии, 2015. № 1. С. 17–30.
- [10] Беляев М.Ю., Коротков Д.М., Кузьмичев А.С., Николенко А.А., Черемисин М.В., Шибанов С.Ю., Щербаков М.В., Щербина Г.А. Дистанционное зондирование Земли с Российского сегмента МКС с использованием перспективной научной аппаратуры гиперспектрометр // Материалы 17-й Всерос. открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 11–15 ноября 2019 г. М.: ИКИ РАН, 2019. С. 508.
- [11] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Иванов Д.А., Катковский Л.В., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Силюк О.О., Шукайло В.Г. Атмосферная коррекция данных, регистрируемых с борта МКС. Ч. I. Методика для спектров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т. 15. № 6. С. 213–222. DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-6-213-222
- [12] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Иванов Д.А., Катковский Л.В., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Силюк О.О., Шукайло В.Г. Атмосферная коррекция данных, регистрируемых с борта МКС. Часть II. Методика для изображений и результаты применения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т. 15. № 6. С. 223–234. DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-6-223-234
- [13] Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Катковский Л.В., Мартинов А.О., Сармин Э.Э., Силюк О.О., Чумаков А.В. Классификация водных объектов по спектрам, измеренным с борта МКС в космическом эксперименте «Ураган» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 201–208. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-201-208.
- [14] Малышева Н.В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. М.: МГУЛ, 2012. 154 с.
- [15] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symp., NASA SP-351, Washington DC, 10–14 December, 1973, v. 1, pp. 309–317.
- [16] Huete A., Miura T., Didan K., Rodriguez E.P. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment, v. 83, № 1–2, 2002, pp. 195–213.
- [17] Беляев М.Ю. Научные эксперименты на космических кораблях и орбитальных станциях. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
- [18] Беляев М.Ю. Проблемы управления при проведении экспериментов на Международной космической станции // Проблемы управления, обработки и передачи информации (УОПИ-2018) / Под ред. А.А. Львова, М.С. Светлова. Саратов: Изд-во Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., 2019. С. 7–16.

## Сведения об авторах

**Батырев Юрий Павлович**✉ — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [batyrev@bmstu.ru](mailto:batyrev@bmstu.ru)

**Поярко Николай Геннадьевич** — канд. техн. наук, доцент, декан Космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [poarkov@mgul.ac.ru](mailto:poarkov@mgul.ac.ru)

**Чумаченко Сергей Иванович** — д-р биол. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [chumachenko@mgul.ac.ru](mailto:chumachenko@mgul.ac.ru)

**Беляев Михаил Юрьевич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [mikhail.belyaev@rsce.ru](mailto:mikhail.belyaev@rsce.ru)

**Сармин Эрик Эдуардович** — инженер-программист, ПАО РКК «Энергия», [Erik.Sarmin@rsce.ru](mailto:Erik.Sarmin@rsce.ru)

**Есаков Алексей Михайлович** — инженер, ПАО РКК «Энергия», [alexesakov@gmail.com](mailto:alexesakov@gmail.com)

**Черемисин Максим Владимирович** — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ПАО РКК «Энергия», [Maksim.Cheremisin@rsce.ru](mailto:Maksim.Cheremisin@rsce.ru)

Поступила в редакцию 16.08.2021.

Одобрено после рецензирования 04.10.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

## FEATURES OF CONDUCTING «DUBRAVA» SPACE EXPERIMENT ON BOARD RUSSIAN SEGMENT OF ISS

**Yu.P. Batyrev<sup>1</sup>✉, N.G. Poyarkov<sup>1</sup>, S.I. Chumachenko<sup>1</sup>, M. Yu. Belyaev<sup>1,2</sup>, E.E. Sarmin<sup>2</sup>, A.M. Esakov<sup>2</sup>, M.V. Cheremisin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, 4a, Lenin st., 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

[batyrev@bmstu.ru](mailto:batyrev@bmstu.ru)

The article provides an up-to-date and promising set of tools for conducting «Dubrava» space experiment and features of their usage to maximize number of observation sessions for selected forest areas.

**Keywords:** monitoring of forests, remote sensing, space experiment «Dubrava», RS ISS, scientific equipment, session planning

**Suggested citation:** 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

## References

- [1] Belyaev M.Yu., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment. 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. International Astronautical Federation (IAF). IAC-18, 2018, simp. B.3, session 3, p. x46752.
- [2] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Katkovskiy L.V., Krot Yu.A., Rogovets A.V., Sarmin E.E., Khvalev S.V. *Nekotorye rezul'taty letnykh ispytaniy fotospektral'noy sistemy FSS* [Some results of flight tests of the FSS photospectral system]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2011, t. 8, no. 2, pp. 264–272.
- [3] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Rogovets A.V., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. *Letnaya otrabotka issledovatel'skoy apparatury «Fotospektral'naya sistema» na bortu Rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [Flight testing of the research equipment «Photospectral system» on board the Russian segment of the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space technology and technologies], 2014, no. 1, pp. 22–28.
- [4] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Katkovskiy L.V., Krot Yu.A., Sarmin E.E. *Rezul'taty ispytaniy fotospektral'noy sistemy na MKS* [Results of tests of the photospectral system on the ISS]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Research from Space], 2014, no. 6, pp. 27–39. DOI: 10.7868 / S0205961414060013
- [5] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Sarmin E.E., Gusev V.F., Desinov L.V., Ivanov V.A., Krot Yu.A., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sosenko V.A. *Ustroystvo i letnye ispytaniya nauchnoy apparatury «Videospektral'naya sistema» na bortu rossiyskogo segmenta MKS* [The device and flight tests of the scientific equipment «Videospectral system» on board the Russian segment of the ISS]. *[Space technology and technologies]*, 2016, no. 2, pp. 70–79.
- [6] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Golubev Yu.V., Lomako A.A., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. *Sistema avtomaticheskoy orientatsii nauchnoy apparatury v eksperimente «Uragan» na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii* [System of automatic orientation of scientific equipment in the experiment «Hurricane» at the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space technology and technology], 2018, no. 4 (23), pp. 70–80.

- [7] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. *Apparatura i programmno-matematicheskoe obespechenie dlya izucheniya zemnoy poverkhnosti s borta rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii po programme «Uragan»* [Hardware and software for studying the earth's surface from the Russian segment of the International Space Station under the Uragan program]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering], 2015, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. *Izuchenie s borta rossiyskogo segmenta Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii v ramkakh programmy «Uragan» katastroficheskikh yavleniy, vyzvyvayushchikh ekologicheskie problemy* [Study of catastrophic phenomena causing environmental problems from the Russian segment of the International Space Station within the framework of the Hurricane program]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering], 2015, no. 1, pp. 71–79.
- [9] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Legostaev V.P., Ryazantsev V.V., Yurina O.A. *Osobennosti provedeniya i ispol'zovaniya rezul'tatov s'emki zemnoy poverkhnosti, vypolnyaemoy ekipazhami rossiyskogo segmenta MKS* [Peculiarities of conducting and using the results of surveying the earth's surface performed by the crews of the ISS Russian segment]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space technology and technologies], 2015, no. 1, pp. 17–30.
- [10] Belyaev M.Yu., Korotkov D.M., Kuz'michev A.S., Nikolenko A.A., Cheremisin M.V., Shibanov S.Yu., Shcherbakov M.V., Shcherbina G.A. *Distsionnoe zondirovanie Zemli s Rossiyskogo segmenta MKS s ispol'zovaniem perspektivnoy nauchnoy apparatury giperspektrometr* [Remote sensing of the Earth from the Russian segment of the ISS using the promising scientific equipment hyperspectrometer]. *Materialy 17-y Vserossiyskoy otkrytoy konferentsii «Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»* [Materials of the 17th All-Russian open conference «Modern problems of remote sensing of the Earth from space»]. Moscow: IKI RAN, 2019, p. 508.
- [11] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Ivanov D.A., Katkovskiy L.V., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Silyuk O.O., Shukaylo V.G. *Atmosfernaya korrektsiya dannykh, registriruemyykh s borta MKS. Chast' I. Metodika dlya spektrov* [Atmospheric correction of data recorded from the ISS. Part I. Technique for spectra]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2018, v. 15, no. 6, pp. 213–222. DOI: 10.21046 / 2070-7401-2018-15-6-213-222
- [12] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Ivanov D.A., Katkovskiy L.V., Martinov A.O., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Silyuk O.O., Shukaylo V.G. *Atmosfernaya korrektsiya dannykh, registriruemyykh s borta MKS. Chast' II. Metodika dlya izobrazheniy i rezul'taty primeneniya* [Atmospheric correction of data recorded from the ISS. Part II. Technique for images and application results]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2018, v. 15, no. 6, pp. 223–234. DOI: 10.21046 / 2070-7401-2018-15-6-223-234
- [13] Belyaev M.Yu., Belyaev B.I., Katkovskiy L.V., Martinov A.O., Sarmin E.E., Silyuk O.O., Chumakov A.V. *Klassifikatsiya vodnykh ob'ektov po spektram, izmerennym s borta MKS v kosmicheskoy eksperimente «Uragan»* [Classification of water bodies by spectra measured from the ISS in the Uragan space experiment]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, v. 16, no. 6, pp. 201–208. DOI: 10.21046 / 2070-7401-2019-16-6-201-208.
- [14] Malysheva N.V. *Avtomatizirovanoe deshifirovanie aerokosmicheskikh izobrazheniy lesnykh nasazhdeniy* [Automated interpretation of aerospace images of forest stands]. Moscow: MGUL, 2012, 154 p.
- [15] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symp., NASA SP-351, Washington DC, 10–14 December, 1973, v. 1, pp. 309–317.*
- [16] Huete A., Miura T., Didan K., Rodriguez E.P. *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment, v. 83, № 1–2, 2002, pp. 195–213.*
- [17] Belyaev M.Yu. *Nauchnye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh* [Scientific experiments on spaceships and orbital stations]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 264 p.
- [18] Belyaev M.Yu. *Nauchnye eksperimenty na kosmicheskikh korablyakh i orbital'nykh stantsiyakh* [Control problems during experiments on the International Space Station]. *Problemy upravleniya, obrabotki i peredachi informatsii (UOPI-2018)* [Control problems, processing and transmission of information (UOPI-2018)]. Ed. A.A. Lvov, M.S. Svetlov. Saratov: Yuri Gagarin Saratov State Technical University, 2019, pp. 7–16.

## Authors' information

**Batyrev Yuriy Pavlovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@bmstu.ru

**Poyarkov Nikolay Gennad'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Dean of the Space Faculty of the BMSTU (Mytishchi branch), poyarkov@mgul.ac.ru

**Chumachenko Sergey Ivanovich** — Dr. Sci. (Biology), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), chumachenko@mgul.ac.ru

**Belyaev Mikhail Yurievich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), mikhael.belyaev@rsce.ru

**Sarmin Eric Eduardovich** — Software engineer of RSC Energia, Erik.Sarmin@rsce.ru

**Esakov Aleksey Mikhaylovich** — Engineer of RSC Energia, alexesakov@gmail.com

**Cheremisin Maksim Vladimirovich** — Senior Researcher, RSC Energia, Maksim.Cheremisin@rsce.ru

Received 16.08.2021.

Approved after review 04.10.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.

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