

## ПЛАНИРОВАНИЕ СЕАНСОВ НАБЛЮДЕНИЙ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ С БОРТА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

**А.М. Есаков**

ПАО РКК «Энергия», 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина, д. 4а

alexesakov@gmail.com

Приведен краткий обзор существующих (ручные фотокамеры и спектрометры) и разрабатываемых (гиперспектральная и инфракрасная аппаратура) средств российского сегмента МКС для дистанционного зондирования Земли. Рассмотрена задача планирования сеансов наблюдений Земли с борта МКС в рамках космических экспериментов «Ураган», «Дубрава», «Сценарий» при использовании ручной и стационарной аппаратуры.

**Ключевые слова:** Международная космическая станция, космические эксперименты, научная аппаратура

**Ссылка для цитирования:** 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

В настоящее время Международная космическая станция (МКС) является единственной функционирующей пилотируемой космической платформой на околоземной орбите и в то же время самым дорогим космическим проектом в истории человечества, поэтому эффективное целевое использование этого уникального орбитального космического комплекса является актуальной для стран-эксплуатантов задачей.

Одно из направлений такого использования — дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), отработка на борту новой аппаратуры ДЗЗ и методов ее наиболее эффективного применения в полете в целях последующего использования на автоматических космических аппаратах [1]–[5].

С самого начала полета МКС на российском сегменте был организован космический эксперимент «Ураган», выполняемый совместно ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева и некоторыми научными организациями. Главной задачей эксперимента была отработка новой аппаратуры, методов и технологий изучения нашей планеты, а также потенциально опасных процессов и явлений природного и техногенного характера, приводящих к катастрофам и экологическим проблемам как на земной поверхности, так и в атмосфере.

При проведении научных исследований на борту орбитального комплекса постановщики эксперимента «Ураган» столкнулись с определенными трудностями, вызванными, в частности, спецификой управления ориентацией станции [6–9].

Вследствие того, что МКС имеет большие размеры и массу, а гиродины американского сегмента, отвечающие за ориентацию станции, имеют малое значение располагаемого кинетического момента, стало невозможно разворачивать стан-

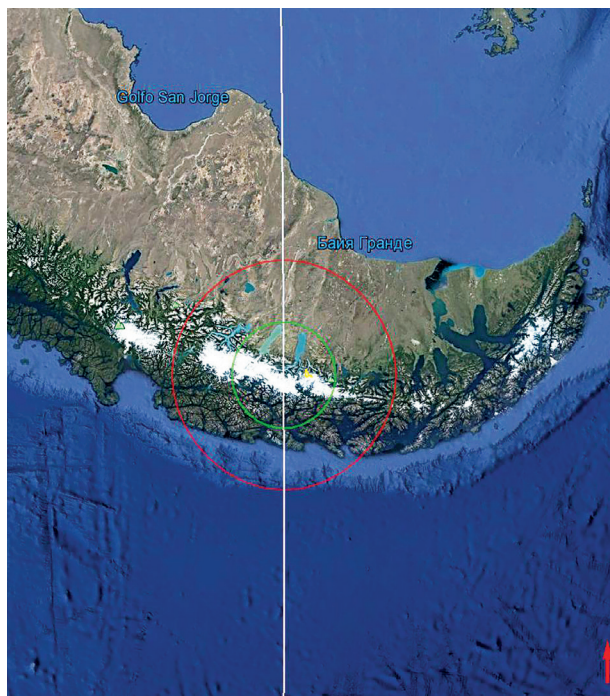
цию каждый раз, когда появляется необходимость отснять какой-либо объект, как это осуществлялось ранее на отечественных орбитальных комплексах «Салют» и «Мир», где использовалась жестко зафиксированная стационарная аппаратура [9].

Трудности, связанные с ориентацией МКС, привели к тому, что в эксперименте «Ураган» вместо стационарных стали использовать переносные камеры, при этом ориентацию аппаратуры для съемки обеспечивал сам космонавт [2–4, 10–13].

Использование таких образцов переносной аппаратуры, как фотокамеры, фотоспектральная система (ФСС), видеоспектральная система (ВСС), позволило преодолеть проблему наведения на исследуемые объекты — вместо разворота станции космонавт разворачивал камеру и снимал интересующий его объект.

Тем не менее, ручное наведение аппаратуры на исследуемый объект имеет свои недостатки. При выполнении экипажем съемки земной поверхности космический эксперимент существенно ограничивает невозможность круглосуточного проведения наблюдений. Причина этого заключается в выполнении требования по соблюдению установленного режима труда и отдыха космонавтов, занятости экипажа другими видами деятельности на борту российского сегмента МКС.

Логичным решением данной проблемы может быть применение автоматической аппаратуры ДЗЗ, функционирующей без участия экипажа. Работа в данном направлении уже ведется. Перспективными разрабатываемыми образцами научной аппаратуры такого типа являются следующие: «Система ориентирования видеоспектральной аппаратуры» («СОВА»), «Радиометр инфракрасный высокого разрешения» («РИВР») и др.



**Рис. 1.** Ледник Перито-Морено, Аргентина: белой линией указана трасса МКС; зеленой окружностью — поле зрения через иллюминатор с расстояния 750 мм; красной окружностью — поле зрения при отклонении оси визирования на 30°; желтой окружностью — объект наблюдения; красная стрелка показывает направление полета МКС

**Fig. 1.** Perito Moreno Glacier, Argentina: the white line indicates the ISS track; green circle - field of view through the window from a distance of 750 mm; red circle - field of view with deviation of the sighting axis by 30°; the yellow circle is the object of observation; red arrow shows the direction of the ISS flight

### Цель работы

Цель работы — рассмотрение задачи планирования наблюдений изучаемых объектов на поверхности Земли с борта российского сегмента МКС с использованием как переносной аппаратуры с ручным наведением, так и стационарной жестко закрепленной.

### Особенности планирования сеансов космического эксперимента при использовании переносной аппаратуры

На данный момент на российском сегменте МКС основными средствами ДЗЗ являются переносные фотокамеры высокого разрешения с длиннофокусными объективами и спектрометры (ФСС и ВСС) [14].

Проведение сеансов съемок осуществляется в рабочее и личное время экипажа (время, когда экипаж не занят плановыми работами по станции).

В случае реализации сеансов космического эксперимента в рабочее время осуществляется

планирование наиболее приоритетных объектов согласно программе эксперимента. При этом исходные данные для планирования недельного интервала съемок готовятся не позднее, чем за две недели до проведения сеанса.

При проведении сеансов космического эксперимента в личное время съемки планируются на более короткий интервал времени (3–4 дня) и исходные данные для планирования выдаются не менее чем за сутки до проведения съемок.

### Моделирование условий проведения сеансов космического эксперимента

При планировании съемок осуществляется моделирование, включающее в себя расчет баллистических условий наблюдений, погодных условий в районе исследуемого объекта и т. д. Результатом является радиограмма, содержащая в себе всю необходимую информацию для успешного проведения сеанса экипажем. Помимо расчетного времени зоны видимости, координат изучаемого объекта и инструкций по работе с аппаратурой в радиограмме содержатся смоделированные изображения подстилающей поверхности на запланированное время съемки. Как правило, для облегчения идентификации объекта исследования моделируется несколько вспомогательных изображений с различным масштабом. В качестве примера на рис. 1, 2 приведены смоделированные изображения в различном масштабе для осуществления съемки ледника Перито-Морено в Аргентине. Результат успешно выполненной съемки ледника приведен на рис. 3.

### Научная аппаратура «РИВР»

Разрабатываемая полностью автоматическая научная аппаратура «РИВР» лишена ограничений связанных с расписанием дня экипажа и призвана получить качественно новую информацию, отвечающую современным и перспективным требованиям потребителей данных космического мониторинга [14].

Базовые характеристики аппаратуры «РИВР»:

- число информационных каналов — 2;
- границы спектральных диапазонов информационных каналов по уровню 0,5:
  - 3,5...4,1 мкм;
  - 8,0...10,0 мкм;
- пространственное разрешение с номинальной орбиты МКС (400 км) — 30 м;
- полоса обзора — 70 км при высоте орбиты 400 км;
- эквивалентная шуму разность измеряемых температур на уровне 300 К:
  - в диапазоне 3,5...4,1 мкм —  $\leq 0,5$  К;
  - в диапазоне 8,0...10,0 мкм —  $\leq 0,2$  К;



– разрядность выходной информации — не менее 10 бит;

– режим работы — сеансный.

В аппаратуре «РИВР» использован принцип многострочного механического сканирования, который даже при сравнительно небольшом числе чувствительных элементов приемника излучения позволяет реализовать пространственное разрешение 30 м и полосу обзора 70 км (угол обзора 10°) при эквивалентной шуму разности измеряемых температур не менее 0,2 К на фоновом уровне температуры в 300 К.

Сканирование осуществляется плоским зеркалом, совершающим колебательные движения с периодом 1,144 с с помощью низкооборотного прецизионного привода. В качестве приемников излучения используются отечественные многоэлементные (матричные) инфракрасные фотоприемники форматом 4×288 элементов, охлаждаемые микрокриогенной системой до криогенных температур (80 К) и имеющие наработку на отказ не менее 6000 ч. Ось колебания сканирующего зеркала и линейки приемников излучения ориентированы вдоль направления полета космического аппарата, что позволяет за один цикл строчной развертки (скан) радиометра сформировать микрокадр форматом 288×2350 элементов. Микрокадры имеют перекрытие 10–40 элементов. При наземной обработке микрокадры подвергаются геометрической коррекции и «сшиваются» в единое трассовое изображение.

Для обеспечения радиометрической точности измерений и указанной коррекции в состав радиометра введены бортовые эталонные источники излучения — имитаторы абсолютно черного тела: «горячее» и «холодное». Калибровка по эталонным источникам осуществляется в начале и конце сеанса съемки. Выход аппаратуры на рабочий режим (съемка) — 7 мин [15].

### Планирование сеансов космического эксперимента при использовании научной аппаратуры «РИВР»

Для эффективного использования научной аппаратуры «РИВР» при планировании сеансов требуется учитывать приведенные выше характеристики прибора, в том числе дополнительные ограничения:

1) сравнительно небольшое поле зрения прибора (70 км при высоте орбиты 400 км) при отсутствии возможности изменять ориентацию прибора и станции для наведения на исследуемый объект;

2) ограниченный ресурс микрокриогенной системы (6000 ч);



Рис. 2. Ледник Перито-Морено, Аргентина: белой линией указана трасса МКС; желтой окружностью — объект наблюдения; красная стрелка показывает направление полета МКС

Fig. 2. Perito Moreno Glacier, Argentina: white line indicates ISS trail; the yellow circle is the object of observation; red arrow shows the direction of the ISS flight



Рис. 3. Ледник Перито-Морено, Аргентина. Съемка от 08.11.2018

Fig. 3. Perito Moreno Glacier, Argentina. Shooting from 08.11.2018

3) ограниченное количество включений.

Для наглядной иллюстрации зоны покрытия и частоты наблюдений, обеспечиваемых аппаратурой, на рис. 4, 5 приводится смоделированная трасса МКС соответственно за сутки и за неделю.

В зависимости от широты, на которой расположен изучаемый объект, можно рассчитывать на различную частоту наблюдений. В качестве примера были выбраны несколько вулканов. Для каждого объекта рассчитывалось количество обеспечиваемых аппаратурой наблюдений с учетом поля зрения 70 км (рис. 6).

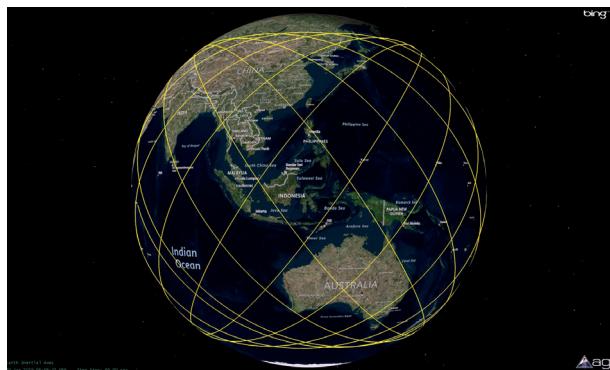


Рис. 4. Трасса МКС за сутки  
Fig. 4. ISS route per day

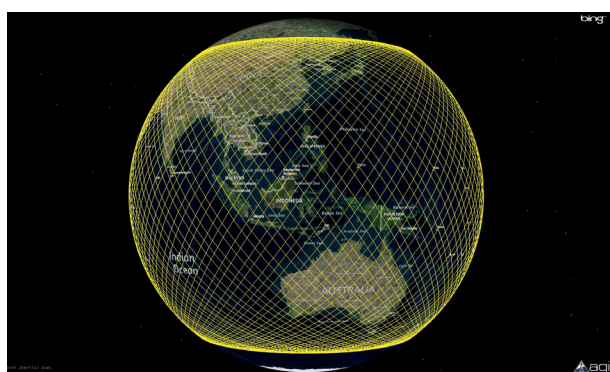


Рис. 5. Трасса МКС за неделю  
Fig. 5. ISS route for a week

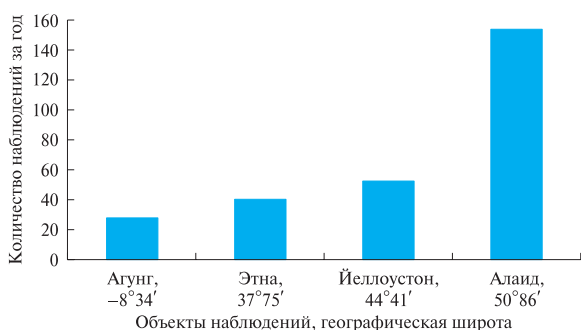


Рис. 6. Зависимость количества наблюдений от широты  
Fig. 6. Number of observations on latitude dependence

Гарантированный полетный ресурс научной аппаратуры «РИВР» составляет не менее 5400 ч, который определяется временем гарантированной работы микрокриогенной системы (не менее 6000 ч) и временем наработки при проведении регулировочных работ — ≈600 ч. Гарантированный полетный ресурс включает в себя предсеансную подготовку аппаратуры «РИВР» к работе (выход микрокриогенной системы на режим «Съемка»).

Таким образом, при эксплуатации на протяжении 6,5 лет (5 лет эксплуатации + 1,5 года остаточного ресурса) научная аппаратура «РИВР» будет обеспечивать три сеанса съемок в сутки (при продолжительности сеанса 30 мин).

При планировании наблюдений требуется выбрать оптимальный набор зон из общего числа возможных зон наблюдений. При этом сформированная программа наблюдений должна удовлетворять предъявляемому (выбранному) критерию. Критерий выбора зон может формироваться на основе различных требований — от максимизации эффективности наблюдений по выбранному критерию оценки эффективности (информативности) наблюдений до минимизации расхода выбранного вида ресурса, причем должны выполняться задаваемые условия/требования/ограничения по другим сформулированным критериям эффективности и видам ресурсов. Множество одиночных критериев можно свести к единому объединенному критерию путем их свертки в единый критерий оптимальности при различных весовых коэффициентах [16].

Для формализации задачи вводятся бинарные переменные  $x_j, j = 1, \dots, N$ , соответствующие всем возможным зонам наблюдений:

$$x_j = \begin{cases} 1; \\ 0, \end{cases}$$

где 1 —  $j$ -я зона наблюдений выполняется (планируется к проведению);

0 — не выполняется.

Задача планирования наблюдений формулируется следующим образом [8], [16]: требуется определить вектор  $X = \{x_j, j = 1, \dots, N\}$ , доставляющий максимум целевой функции

$$P(X) = \sum_{j=1}^N c_j x_j$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = m + 1, \dots, M,$$

$$x_j + \sum_{q=1}^{m_j} \frac{x_{jq}}{m_j} \leq 1, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$0 \leq x_j, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$x_j \text{ — целое, } j = 1, \dots, N,$$

где элементы строки  $c_j$  и матрицы  $a_{ij}$  — информативность и потребные ресурсы зон; элементы столбца  $b_i$  — ограничения на информативность и расход ресурсов;  $\{x_{jq}, q = 1, \dots, m_j\}$  — перечень зон, не совместимых с зоной  $x_j$ .

Сформулированная задача является частичнo-целочисленной задачей линейного программирования и решается методами линейного и целочисленного программирования [16].



## Выводы

Установлено, что при планировании проведения наблюдений с помощью научной аппаратуры «РИВР» приоритетно решение задачи оптимизации программы наблюдений в целях нахождения оптимального количества включений аппаратуры для съемки объектов, входящих в программу исследований. Эта задача решается с помощью методов, изложенных в работах [8], [16], доработанных нами с учетом указанной специфики аппаратуры.

Получаемая в ходе проведения сеансов съемки информация позволит решать различные задачи по контролю опасных объектов, в том числе контролировать развитие лесных пожаров [17], [18].

## Список литературы

- [1] Belyaev M.Yu., Desinov L.V. Study of the Environment from the ISS in the URAGAN Program // 23<sup>rd</sup> International symposium on Space Technology and science. May 26–June 2, 2002. Matsuc, Japan, Abstracts, 2002, p. 74.
- [2] Belyaev M.Yu., Karavaev D.Yu., Dessinov L.V. Specifics of conducting and using imagery of the earth's surface performed by the Russian iss crew // «64<sup>th</sup> International Astronautical Congress, IAC–2013», Beijing, China, 23–27 September 2013, pp. 3744–3751.
- [3] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Legostaev V.P., Ryazantsev V.V., Yurina O.A. Features of imaging the Earth surface and using the results of the imaging made by the ISS Russian segment crews // Space Engineering and technology, 2015, no. 1 (8), pp. 17–30.
- [4] Беляев М.Ю., Виноградов П.В., Десинов Л.В., Кумакшев С.К., Секерж-Зенькович С.Я. Идентификация источника океанских кольцевых волн около острова Дарвин по фотоснимкам из космоса // Известия РАН. Теория и системы управления, 2011, № 1. С. 70–81.
- [5] Belyaev M.Yu., Wikelski M., Lampen M., Legostaev V.P., Müller U., Naumann W., Tertitsky G.M., Yurina O.A. Technology for studying movements of animals and birds on Earth using ICARUS equipment on the Russian segment of the ISS // Space Engineering and Technology, 2015, no. 3 (10), pp. 38–51.
- [6] Belyaev M.Yu. Experiments planning and control aboard the International Space Station // Fifth International Symposium on space mission operations and ground data systems. June 1–5, 1998, Tokyo, Japan.
- [7] Микрин Е.А., Беляев М.Ю. Управление при наведении исследовательской аппаратуры орбитальной станции на изучаемые объекты // X Всерос. мультиконф. по проблемам управления (МКПУ–2017). В 3-х т. / под ред. И.А. Калеева. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2017. С. 172–174.
- [8] Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Karavaev D.Y., Rulev D.N. Controlling steerable platforms to point scientific instruments at survey targets in the URAGAN experiment onboard the international space station // 24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2017-Proceedings 24, Saint Petersburg, 29–31 May 2017 г. Saint Petersburg: Concern Central Scientific and Research Institute Elektropribor, 2017, p. 7995573.
- [9] Ryumin V.V., Belyaev M.Yu. Problems of control arised during the implementation of scientific research program onboard the multipurpose orbital station // Acta Astronautica, 1987, vol. 15, pp. 739–746.
- [10] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Rogovets A.V., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. Flight testing of research equipment «Photospectral system» onboard ISS RS // The Space Engineering and Technology magazine, 2014, no. 1, pp. 22–28.
- [11] 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. Design and flight tests of science hardware video-spectral system on board the russian segment of the ISS // The Space Engineering and Technology magazine, 2016, no. 2 (13), pp. 12–20.
- [12] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. Providing hardware and Mathematical Software for the Study of the Earth' Surface Onboard the Russian Segment of the International Space Station under the program «Hurricane» // Cosmonautics and Rocket Engineering, 2015, no. 1 (80), pp. 63–70.
- [13] Беляев М.Ю., Десинов Л.В. Караваяев 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.
- [14] Belyaev M.Y., Cheremisin M.V., Esakov A.M. Integrated monitoring of earth surface from onboard ISS Russian segment // 69th Int. Astronautical Congr. (IAC), Bremen, Germany, 1–5 October 2018. Bremen: International Astronautical Federation (IAF), IAC-18-F1.2.3, pp. 1–9.
- [15] Акимов Н.П., Беляев М.Ю., Гектин Ю.М., Есаков А.М., Зайцев А.А., Серебряков Д.С., Черемисин М.В. Коган С.Д. Использование инфракрасного радиометра высокого разрешения для исследования потенциально опасных и катастрофических явлений и объектов на земной поверхности в эксперименте «Ураган» на МКС // Труды ЛП Чтений К.Э. Циолковского, секция «Проблемы ракетной и космической техники». Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2018. С. 22–30.
- [16] Беляев М.Ю., Рулев Д.Н. Оптимизация программы экспериментов при оперативном планировании исследований, выполняемых с КА // Космические исследования, 1987. Т. 25. Вып. 1. С. 30–36.
- [17] Беляев М.Ю., Есаков А.М., Рулев Д.Н., Рулев Н.Д. Способ контроля лесного пожара с космического аппарата. Патент на изобретение RU 2683142 C1, 26.03.2019.
- [18] Беляев М.Ю., Есаков А.М., Рулев Д.Н., Рулев Н.Д. Способ контроля лесного пожара с космического аппарата. Патент на изобретение RU 2683143 C1, 26.03.2019.

## Сведения об авторе

**Есаков Алексей Михайлович** — инженер ПАО РКК «Энергия», alexesakov@gmail.com

Поступила в редакцию 20.03.2020.

Принята к публикации 14.06.2020.

## PLANNING OF OBSERVATION SESSIONS OF THE STUDIED OBJECTS ON THE SURFACE OF THE EARTH FROM THE RUSSIAN SEGMENT OF THE ISS

**A.M. Esakov**

RSC Energia, 4a, Lenin st., 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

alexesakov@gmail.com

A brief review of existing (handheld cameras and spectrometers) and developed (hyperspectral and infrared equipment) means of the Russian segment of the ISS for remote sensing of the Earth is given. The problem of planning Earth observation sessions from the ISS in the framework of space experiments «Uragan», «Dubrava», «Scenario» using manual and stationary equipment is considered.

**Keywords:** International Space Station, space experiments, scientific equipment

**Suggested citation:** Esakov A.M. *Planirovanie seansov nablyudeniy 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

### References

- [1] Belyaev M.Yu., Desinov L.V. Study of the Environment from the ISS in the URAGAN Program. 23<sup>rd</sup> International symposium on Space Technology and science. May 26–June 2, 2002. Matsuc, Japan, Abstracts, 2002, p. 74.
- [2] Belyaev M.Yu., Karavaev D.Yu., Desinov L.V. Specifics of conducting and using imagery of the Earth's surface performed by the Russian ISS crew. «64<sup>th</sup> International Astronautical Congress, IAC-2013», Beijing, China, 23–27 September 2013, pp. 3744–3751.
- [3] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Legostaev V.P., Ryazantsev V.V., Yurina O.A. Features of imaging the Earth surface and using the results of the imaging made by the ISS Russian segment crews. *Space Engineering and technology*, 2015, no. 1 (8), pp. 17–30.
- [4] Belyaev M.Yu., Vinogradov P.V., Desinov L.V., Kumakshv S.K., Sakerzh-Zen'kovich S.Ya. *Identifikatsiya istochnika okeanskikh kol'tsevykh voln okolo ostrova Darwin po fotosnimkam iz kosmosa* [Identification of the source of ocean ring waves near the island of Darwin from photographs from space]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences Theory and Control Systems*, 2011, no. 1, pp. 70–81.
- [5] Belyaev M.Yu., Wikelski M., Lampen M., Legostaev V.P., Müller U., Naumann W., Tertitsky G.M., Yurina O.A. Technology for studying movements of animals and birds on Earth using ICARUS equipment on the Russian segment of the ISS. *Space Engineering and Technology*, 2015, no. 3 (10), pp. 38–51.
- [6] Belyaev M.Yu. Experiments planning and control aboard the International Space Station. Fifth International Symposium on space mission operations and ground data systems. June 1–5, 1998, Tokyo, Japan.
- [7] Mikrin E.A., Belyaev M.Yu. *Upravlenie pri navedenii issledovatel'skoy apparatury orbital'noy stantsii na izuchaemye ob'ekty* [Management when pointing the research equipment of the orbital station to the objects under study]. X Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya (MKPU-2017). V 3-kh tomakh [X All-Russian Multi-Conference on Control Problems (MKPU-2017). In 3 volumes] Ed. I.A. Kalyaev. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2017, pp. 172–174.
- [8] Belyaev M.Yu., Borovikhin P.A., Karavaev D.Y., Rulev D.N. Controlling steerable platforms to point scientific instruments at survey targets in the URAGAN experiment onboard the international space station. 24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2017-Proceedings 24, Saint Petersburg, 29–31 May 2017 г. Saint Petersburg: Concern Central Scientific and Research Institute Elektropribor, 2017, p. 7995573.
- [9] Ryumin V.V., Belyaev M.Yu. Problems of control arised during the implementation of scientific research program onboard the multipurpose orbital station. *Acta Astronautica*, 1987, vol. 15, pp. 739–746.
- [10] Belyaev B.I., Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Rogovets A.V., Ryazantsev V.V., Sarmin E.E., Sosenko V.A. Flight testing of research equipment «Photospectral system» onboard ISS RS. *The Space Engineering and Technology magazine*, 2014, no. 1, pp. 22–28.
- [11] 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. Design and flight tests of science hardware video-spectral system on board the Russian segment of the ISS. *The Space Engineering and Technology magazine*, 2016, no. 2 (13), pp. 12–20.
- [12] Belyaev M.Yu., Desinov L.V., Karavaev D.Yu., Sarmin E.E., Yurina O.A. Providing hardware and Mathematical Software for the Study of the Earth's Surface Onboard the Russian Segment of the International Space Station under the program «Hurricane». *Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2015, no. 1(80), pp. 63–70.
- [13] 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, vyzvayushchikh ekologicheskie problemy* [Studying onboard the Russian segment of the International Space Station in the framework of the Hurricane program of catastrophic phenomena causing environmental problems]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering], 2015, no. 1, pp. 71–79.
- [14] Belyaev M.Y., 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. Bremen: International Astronautical Federation (IAF), IAC-18-F1.2.3, pp. 1–9.

- [15] Akimov N.P., Belyaev M.Yu., Gektin Yu.M., Esakov A.M., Zaytsev A.A., Serebryakov D.S., Cheremisin M.V. Kogan S.D. *Is-pol'zovanie infrakrasnogo radiometra vysokogo razresheniya dlya issledovaniya potentsial'no opasnykh i katastroficheskikh yavleniy i ob'ektov na zemnoy poverkhnosti v eksperimente «Uragan» na MKS* [Using a high-resolution infrared radiometer to study potentially dangerous and catastrophic phenomena and objects on the Earth's surface in the Hurricane experiment on the ISS]. Trudy LII Chteniy K.E. Tsiolkovskogo, sektiya «Problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki» [Proceedings of LII Readings by KE Tsiolkovsky, section «Problems of rocket and space technology»]. Kazan: Kazan University Publishing House, 2018, pp. 22–30.
- [16] Belyaev M.Yu., Rulev D.N. *Optimizatsiya programmy eksperimentov pri operativnom planirovanii issledovaniy, vypolny-aemykh s KA* [Optimization of the experimental program in the operational planning of studies performed with spacecraft]. Kosmicheskie issledovaniya [Space Research], 1987, v. 25, iss. 1, pp. 30–36.
- [17] Belyaev M.Yu., Esakov A.M., Rulev D.N., Rulev N.D. *Sposob kontrolya lesnogo pozhara s kosmicheskogo apparata* [A method of controlling a forest fire from a spacecraft]. Invention RU 2683142 C1.
- [18] Belyaev M.Yu., Esakov A.M., Rulev D.N., Rulev N.D. *Sposob kontrolya lesnogo pozhara s kosmicheskogo apparata* [A method of controlling a forest fire from a spacecraft]. Invention RU 2683143 C1.

## Author's information

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

Received 20.03.2020.

Accepted for publication 14.06.2020.