

## Оценка возможности использования космической системы «Арктика-М» для мониторинга природных пожаров на примере анализа данных 2023 года

Е. А. Антипова<sup>1</sup>, И. В. Балашов<sup>2</sup>, Р. Р. Беляев<sup>1</sup>, Р. В. Брежнев<sup>1</sup>, А. А. Бриль<sup>2</sup>,  
Л. С. Крамарева<sup>3</sup>, Е. А. Лупян<sup>2</sup>, Ю. А. Маглинец<sup>1</sup>, А. А. Мазуров<sup>2</sup>, К. В. Раевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических и информационных технологий СФУ  
Красноярск, 660074, Россия  
E-mail: ymaglinets@sfu-kras.ru*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия  
E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru*

<sup>3</sup> *Дальневосточный центр НИЦ «Планета», Хабаровск, 680000, Россия  
E-mail: kramareva@dvrspod.ru*

Обсуждаются перспективы использования данных дистанционного зондирования создаваемой в настоящее время в России уникальной высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы (ВГКС) «Арктика-М» для выявления лесных пожаров. Проведена качественная оценка такой возможности путём визуального сравнения снимков, полученных многозональным сканирующим устройством гидрометеорологического обеспечения для геостационарных спутников при съёмке с высокоэллиптических орбит (прибор МСУ-ГС/ВЭ), с детектированными ИСДМ-Рослесхоз (Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства) зонами горения, показавшая наличие ярко выраженных тепловых аномалий в местах действия пожаров. Для более детального анализа была проведена количественная оценка вероятности наблюдения очагов горения различной площади прибором МСУ-ГС/ВЭ на основе сравнения данных о зонах горения в конкретные сутки, детектированных в ИСДМ-Рослесхоз, и данных, полученных ВГКС «Арктика-М» в анализируемые сутки. Было проанализировано более 5000 зон горения, детектированных в пожарном сезоне 2023 г. в Хабаровском крае и Якутии. Получена эмпирическая зависимость вероятности наблюдения очагов горения различной площади по данным прибора МСУ-ГС/ВЭ от площади суточной зоны горения. Было отмечено, что достаточно низкое разрешение данного прибора в канале 3,5–4,0 мкм затрудняет детектирование небольших пожаров. Однако в силу больших перерывов между пролётами низкоорбитальных спутниковых систем данные ВГКС «Арктика-М» могут давать подтверждающую информацию о развитии пожаров и на ранних стадиях. Таким образом, использование ВГКС «Арктика-М» позволит обеспечить новые возможности получения информации для мониторинга природных пожаров на всей территории Российской Федерации.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, высокоэллиптическая орбита, природные пожары, «Арктика-М», дистанционный мониторинг лесных пожаров, ВГКС

Одобрена к печати: 01.11.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-335-342

### Введение

В настоящее время в России создаётся уникальная высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система (ВГКС) «Арктика-М» (Асмус и др., 2021), предназначенная для информационного обеспечения, решения задач оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды в арктическом регионе. Аналогов подобных систем в мире пока не существует. Первый космический аппарат, входящий в состав данной системы («Арктика-М» № 1), был запущен 21 февраля 2021 г. Принципиальной особенностью системы является то, что она должна обеспечивать непрерывное (один раз в 15 мин) наблюдение северных территорий. Когда в эксплуатацию будет введён второй аппарат системы («Арктика-М» № 2), она фактически обеспечит возможность непрерывного мониторинга практически всей территории России. Следует отметить, что

входящая в состав ВГКС «Арктика-М» аппаратура наблюдения Земли потенциально может позволить решать не только метеорологические задачи. Система, в частности, может представлять интерес для решения задач мониторинга природных пожаров, тем более что основной установленный на ней прибор МСУ-ГС/ВЭ (многозональное сканирующее устройство гидрометеорологического обеспечения для геостационарных спутников при съёмке с высокоэллиптических орбит) (Гектин и др., 2022) позволяет получать данные в диапазоне 3,5–12,5 мкм, который традиционно используется для детектирования пожаров. В то же время система обладает невысоким пространственным разрешением (4×4 км), что, безусловно, ограничивает возможности её применения для решения задач мониторинга пожаров. Поэтому для оценки возможности применения ВГКС «Арктика-М» для мониторинга природных, в первую очередь лесных пожаров и определения возможных направлений использования получаемой информации был проведён анализ данных, полученных в пожароопасном сезоне 2023 г., и сравнение их с информацией дистанционного мониторинга пожаров, получаемой на основе других спутниковых систем. Основные результаты проведённого анализа представлены в данном кратком сообщении.

Анализ основывался на сравнении информации, получаемой в системе ИСДМ-Рослесхоз (Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров, <https://nffc.aviales.ru>) (Ковалев и др., 2020; Лупян и др., 2015), обеспечивающей мониторинг пожаров на всей территории Российской Федерации в интересах Федерального агентства лесного хозяйства, и данных спутника «Арктика-М» № 1. Следует отметить, что эти данные оперативно поступают в ИСДМ-Рослесхоз благодаря полностью автоматизированной обработке данных, реализованной в Научно-исследовательском центре «Планета» (НИЦ «Планета») (Бриль и др., 2022; Бурцев и др., 2021). Система ИСДМ-Рослесхоз обеспечивает оперативное автоматическое дистанционное детектирование лесных пожаров и оценку площадей, пройденных огнём, на основе данных приборов MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (*англ.* Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) (спутники Suomi NPP (*англ.* National Polar-orbiting Partnership) и JPSS1 (*англ.* Joint Polar Satellite System)). Используемая в системе технология дистанционного мониторинга действующих пожаров достаточно подробно описана в работе (Лупян и др., 2021). Основными задачами проводимого анализа были:

- качественная оценка возможности наблюдения действующих пожаров с использованием данных прибора МСУ-ГС/ВЭ, установленного на спутнике «Арктика-М» № 1;
- количественная оценка вероятности наблюдения очагов горения различной площади прибором МСУ-ГС/ВЭ;
- формулировка основных задач, связанных с мониторингом пожаров, для которых потенциально может использоваться ВГКС «Арктика-М», и приоритетных направлений разработок, которые должны быть выполнены для обеспечения решения этих задач.

*Качественная оценка* возможности наблюдения действующих пожаров с использованием данных спутника «Арктика-М» № 1. Оценка проводилась путём визуального сравнения информации о пожарах, детектированных ИСДМ-Рослесхоз, и данных прибора МСУ-ГС/ВЭ. Оценка показала, что во многих случаях в данных спутника «Арктика-М» № 1 в местах действия пожаров, детектированных и контролируемых ИСДМ-Рослесхоз, наблюдаются ярко выраженные тепловые аномалии. Один из таких примеров приведён на *рис. 1*, где показаны данные, полученные прибором МСУ-ГС/ВЭ в канале 3,5–4,0 мкм в 15:00 GMT (*англ.* Greenwich Mean Time) 09.08.2023 (растровое изображение), на которые наложены данные о действующих пожарах (в зоне которых в течение суток было детектировано горение), зарегистрированных ИСДМ-Рослесхоз 09.08.2023 (красные контуры и зоны горения, зарегистрированные в соответствующие сутки). Тёмные зоны на данных прибора МСУ-ГС/ВЭ соответствуют горячим участкам поверхности, которые в основном связаны с зонами горения. Хорошо видно, что такие участки наблюдаются в зонах пожаров различной площади. Таким образом, прибор МСУ-ГС/ВЭ позволяет увидеть зоны горения и потенциально для него могут быть построены алгоритмы их детектирования.

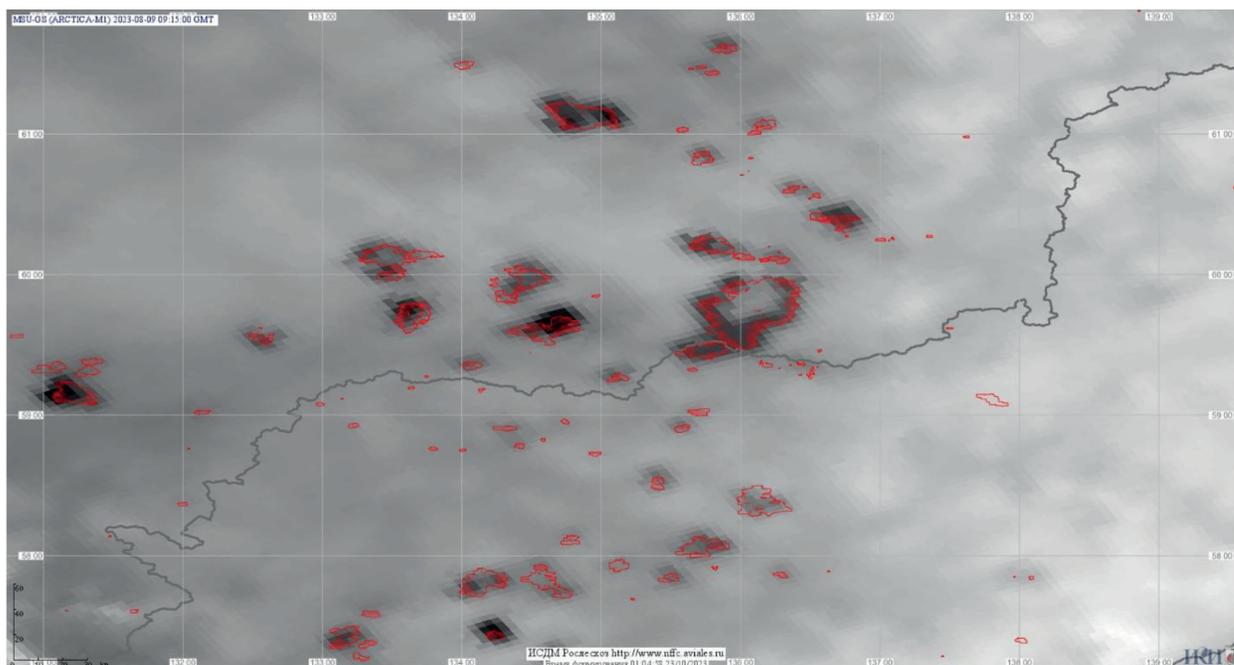
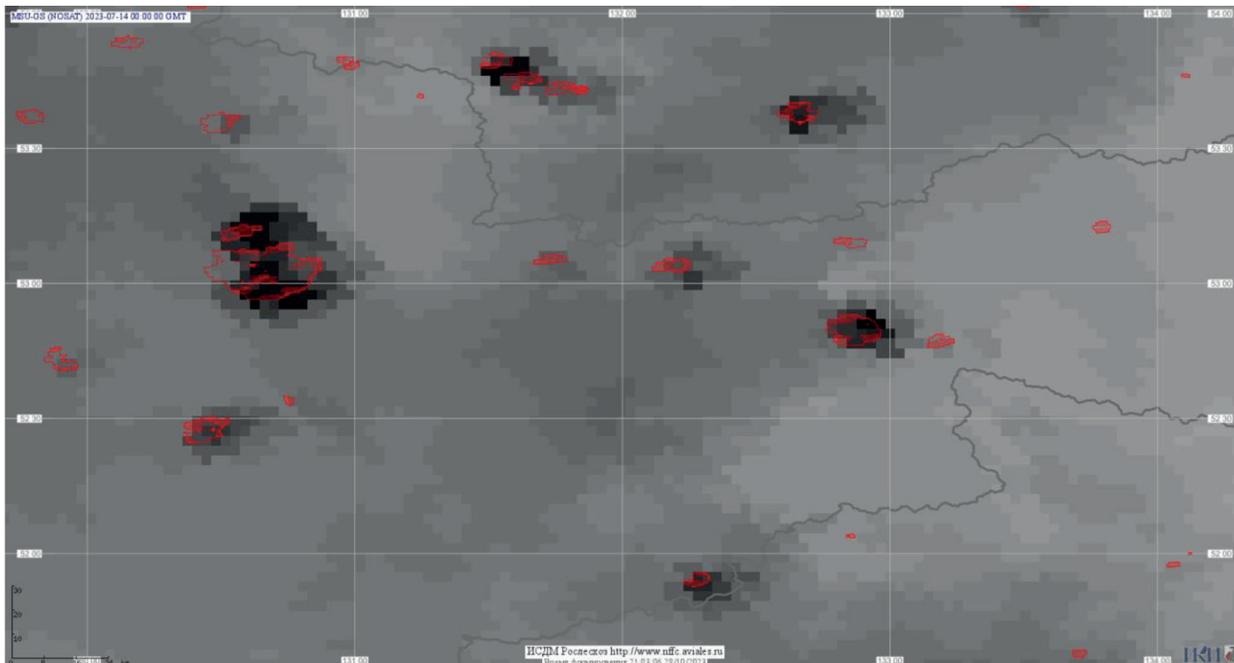


Рис. 1. Пример совпадения тепловых аномалий, наблюдаемых в канале 3,5–4,0 мкм прибора МСУ-ГС/ВЭ 15:00 GMT 09.08.2023, и данных о детектированных ИСДМ-Рослесхоз действующих лесных пожарах (красные контуры и зоны горения) за сутки 09.08.2023

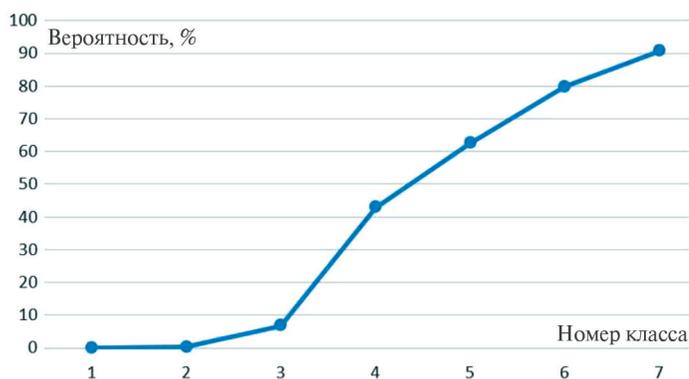
Для более детальной оценки возможностей по наблюдению природных пожаров с использованием ВГКС «Арктика-М» была проведена *количественная оценка вероятности наблюдения очагов горения различной площади* прибором МСУ-ГС/ВЭ. Она осуществлялась на основе сравнения данных о зонах горения в конкретные сутки, детектированных в ИСДМ-Рослесхоз, и данных, полученных ВГКС «Арктика-М» в анализируемые сутки. Для этого на основе данных прибора МСУ-ГС/ВЭ за конкретные сутки сформировались растровые карты (изображения), в каждую точку которых заносились максимальные значения в данной точке, наблюдавшиеся за анализируемые сутки. Подобные карты формировались по территории Республики Саха (Якутия) и Хабаровского края в координатах: 119,53° в.д., 49,87° с.ш. (нижняя левая точка), 149,88° в.д., 71,7° с.ш. (верхняя правая точка). Эти изображения совмещались с зонами горения за те же сутки, полученными из ИСДМ-Рослесхоз. Пример такого совмещения приведён на *рис. 2* (см. с. 338). Во многих случаях на картах максимальной температуры достаточно хорошо видны тепловые аномалии. При совпадении таких аномалий с зонами горения пожаров, которые формируются в ИСДМ-Рослесхоз, можно считать, что потенциально данные МСУ-ГС/ВЭ позволяют детектировать горение анализируемого пожара. Отметим, что потенциально зоны горения на картах максимальной суточной температуры могут существенно превосходить по площади зоны горения, детектированные ИСДМ-Рослесхоз. Это в том числе может быть связано как с более низким разрешением прибора МСУ-ГС/ВЭ, чем разрешение приборов, данные которых используются в ИСДМ-Рослесхоз, так и с некоторыми ошибками в автоматической привязке данных МСУ-ГС/ВЭ.

Для оценки вероятности наблюдения очагов горения различной площади по данным прибора МСУ-ГС/ВЭ было выбрано 5567 зон горения, детектированных за период с 1 июля по 17 сентября 2023 г. Данные были разбиты на 7 классов. Для всех выбранных пожаров был проведён анализ соответствующих построенных карт максимальной температуры. В случае если на карте в районе анализируемого пожара визуально наблюдалась явная тепловая аномалия, считалось, что этот пожар потенциально мог бы быть детектирован на основе данных прибора МСУ-ГС/ВЭ. На основе полученной информации для каждой из выбранных групп пожаров с различной площадью суточного прироста горения была оценена вероятность обна-

ружения пожаров данной группы. Результаты анализа представлены в *таблице* и на графике, приведённом на *рис. 3* (см. с. 338).



*Рис. 2.* Пример совмещения ежедневной карты максимальной температуры, наблюдавшейся в канале 3,5–4,0 мкм прибора МСУ-ГС/ВЭ 14.07.2023, и данных о детектированных ИСДМ-Рослесхоз участках горения за сутки 14.07.2023



*Рис. 3.* Зависимость вероятности наблюдения очагов горения различной площади по данным прибора МСУ-ГС/ВЭ от площади суточной зоны горения

Результаты оценки вероятности наблюдения очагов горения различной площади по данным прибора МСУ-ГС/ВЭ

Суточный прирост, га	До 100 включительно	101–500	501–1500	1501–2500	2501–3500	3501–5000	Более 5000
Номер класса	1	2	3	4	5	6	7
Общее число зон горения	2262	1896	796	42	181	178	212
В том числе детектированных	0	4	54	18	113	142	192
Доля детектированных зон горения, %	0	0	7	43	62	80	91

Как показал проведённый анализ (см. *таблицу* и *рис. 3*), зоны горения площадью выше 3500 га потенциально могут достаточно уверенно (с вероятностью более 80 %) детектироваться на основе информации ВГКС «Арктика-М». В то же время можно предположить, что создание специальных алгоритмов детектирования горения по данным прибора МСУ-ГС/ВЭ может потенциально позволить повысить вероятность детектирования зон горения и меньшей площади.

Как показывают приведённые результаты исследования, ввиду ограничений на минимальную площадь уверенно детектируемых пожаров сложно утверждать, что ВГКС «Арктика-М» без разработки специальных подходов к анализу данных может дать преимущества в раннем обнаружении пожаров. В то же время дополнительно проведённый анализ ситуаций возникающих пожаров показывает, что в ряде случаев в силу больших перерывов между пролётами низкоорбитальных спутниковых систем информация ВГКС «Арктика-М» может давать подтверждающую информацию о развитии пожаров и на ранних стадиях. Пример такой ситуации показан на *рис. 4*, на котором приведены данные наблюдений приборов VIIRS (спутники Suomi NPP и JPSS1) и МСУ-ГС/ВЭ. На *рис. 4* в том числе представлен пожар к-457 в Республике Саха (Якутия), который впервые был обнаружен около 02:00 GMT, после чего он несколько раз наблюдался низкоорбитальными спутниками до 05:00 GMT. Следующее его наблюдение, полученное по данным низкоорбитальных спутников, было только в 16:00 GMT. В то же время в районе 10:00 GMT данный пожар начал наблюдаться спутником «Арктика-М» № 1 (только в это время он включил режим наблюдения), и до 16:00 GMT спутник получил данные о пожаре 24 раза. Таким образом, на рассматриваемом промежутке времени вновь возникший пожар наблюдался практически непрерывно. Потенциально на основе подобных серий наблюдений может, в частности, формироваться информация о характере развития пожара, которая будет достаточно важна для оперативного принятия решений по оптимальной реакции на его возникновение.



*Рис. 4.* Цветосинтезированное изображение по данным наблюдений в спектральных каналах в районе 3,7 мкм за 30.06.2023: канал Red (R, красный) — VIIRS 02:21 GMT; канал Green (G, зелёный) — МСУ-ГС/ВЭ 10:30 GMT; канал Blue (B, синий) — VIIRS. Красные и синие участки — тепловые аномалии на данных VIIRS, тёмные участки — тепловые аномалии на данных МСУ-ГС/ВЭ. Стрелка указывает на пожар к-457 (Республика Саха (Якутия))

В заключение отметим, что проведённый первичный анализ ВГКС «Арктика-М» на примере данных, полученных спутником «Арктика-М» № 1 в пожароопасном сезоне 2023 г.,

фактически подтвердил, что достаточно низкое разрешение прибора МСУ-ГС/ВЭ в канале 3,5–4,0 мкм затрудняет детектирование небольших пожаров. В то же время ВГКС «Арктика-М» за счёт обеспечения фактически непрерывного наблюдения, безусловно, обладает потенциалом контроля состояния действующих пожаров, в первую очередь — крупных. Поэтому следует считать целесообразным разработку методов анализа природных пожаров на основе информации, поступающей с данной системы. Видимо, основным направлением развития данных методов должно быть создание подходов, использующих возможности практически непрерывного наблюдения пожаров для оценки их состояния и оперативного прогнозирования развития. Также накопленный в рамках проводимого исследования опыт обработки данных прибора МСУ-ГС/ВЭ, поступающих в ИСДМ-Рослесхоз, позволяет сделать вывод, что разработка новых подходов анализа данных, особенно основывающихся на многовременных наблюдениях, требует проведения работ по повышению стабильности и точности географической привязки данных.

В целом проведённый анализ показал, что использование ВГКС «Арктика-М» может обеспечить новые возможности получения информации для мониторинга природных пожаров на всей территории Российской Федерации, особенно после того как группировка спутников будет полностью сформирована.

Исследование осуществлено при поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках проекта «Цифровая импортозамещающая технология обнаружения лесных пожаров на основе использования уникальной российской спутниковой группировки «Арктика-М» с последующей интеграцией с системой ИСДМ-Рослесхоз» № 2023031409613. Работы поддержаны из средств гранта в форме субсидии Научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь» № 075-15-2023-620 от 29 августа 2023 г. Подготовка и формирование специальных наборов данных, использующихся для выполнения работы, осуществлялась с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госрегистрация № 122042500031-8).

## Литература

1. *Асмус В. В., Милехин О. Е., Крамарева Л. С. и др.* Первая в мире высокоэллиптическая гидрометеорологическая система «Арктика-М» // *Метеорология и гидрология*. 2021. № 12. С. 11–26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-12-11-26.
2. *Бриль А. А., Бурцев М. А., Мазуров А. А. и др.* Организация потоковой обработки и предоставления данных КА «Арктика-М» № 1 в объединенной системе работы с данными НИЦ «ПЛАНЕТА» // *Материалы 20-й Международ. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. 2022. С. 78. DOI: 10.21046/20DZZconf-2022a.
3. *Бурцев М. А., Мазуров А. А., Бриль А. А. и др.* Организация работы с данными КА «Арктика-М» № 1 в рамках ОСД НИЦ «Планета» // *Материалы 19-й Международ. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. 2021. С. 80. DOI: 10.21046/19DZZconf-2021a.
4. *Гектин Ю. М., Смелянский М. Б., Сулиманов Н. А. и др.* Первые результаты работы аппаратуры МСУ-ГС/ВЭНА КА «Арктика-М» № 1 // *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*. 2022. Т. 9. № 1. С. 30–41. DOI: 10.30894/issn2409-0239.2022.9.1.30.41.
5. *Ковалев Н. А., Лупян Е. А., Балашов И. В. и др.* ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 7. С. 283–291. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-283-291.
6. *Лупян Е. А., Барталев С. А., Ершов Д. В., Котельников Р. В., Балашов И. В., Бурцев М. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Жарко В. О., Ковганко К. А., Колбудаев П. А., Крашенинникова Ю. С., Прошин А. А., Мазуров А. А., Уваров И. А., Стыценко Ф. В., Сычугов И. Г., Флитман Е. В., Хвостиков С. А., Шуляк П. П.* Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 5. С. 222–250.

7. Лупян Е. А., Прошин А. А., Буццев М. А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
8. Лупян Е. А., Стыценко Ф. В., Сенько К. С., Балашов И. В., Мазуров А. А. Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 178–192. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-178-192.

## Assessment of the possibility of using the Arktika-M space system for monitoring wildfires by the example of data analysis for 2023

Е. А. Antipova<sup>1</sup>, I. V. Balashov<sup>2</sup>, R. R. Belyaev<sup>1</sup>, R. V. Brezhnev<sup>1</sup>, A. A. Bril'<sup>2</sup>, L. S. Kramareva<sup>3</sup>, E. A. Loupian<sup>2</sup>, Yu. A. Maglinets<sup>1</sup>, A. A. Mazurov<sup>2</sup>, K. V. Raevich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *SibFU Institute of Space and Information Technologies, Krasnoyarsk 660074, Russia*  
*E-mail: ymaglinets@sfu-kras.ru*

<sup>2</sup> *Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia*  
*E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru*

<sup>3</sup> *Far Eastern Center of SRC Planeta, Khabarovsk 680000, Russia*  
*E-mail: kramareva@dvrpod.ru*

This study considers the potential application of remote sensing data from the unique Highly Elliptical Hydrometeorological Space System (HEHSS) Arktika-M, currently under construction in Russia, for detecting forest fires. A qualitative assessment of this possibility was performed by visual comparison of images obtained by the MSU-GS/VE instrument (Multispectral Scanning Instrument – Geostationary, modernized for Highly Elliptical orbits) with combustion zones detected by ISDM-Rosleskhoz (Remote Monitoring Information System of the Federal Forestry Agency), revealing the existence of pronounced thermal anomalies in the areas of fires. For a more detailed assessment, a quantitative evaluation of the likelihood of detecting fires with varying sizes by the MSU-GS/VE instrument was conducted, using combustion data collected on a specific day by ISDM-Rosleskhoz and comparing it with information obtained from the HEHSS Arktika-M on the same day. Over 5,000 wildfire zones detected during the 2023 fire season in Khabarovsk Krai and Yakutia were analyzed. The empirical dependence of the probability of observing fires of different areas in MSU-GS/VE data on the area of daily burning zone was obtained. It was found that a rather low resolution of this instrument in the 3.5–4 μm channel impedes the detection of small fires. However, as there are extended intervals between overflights of the low-orbit satellite system, Arktika-M data can also provide confirmation of early-stage fire development. Consequently, utilising Arktika-M presents novel prospects for acquiring information for monitoring natural fires throughout the Russian Federation.

**Keywords:** remote sensing, highly elliptical orbit, wildfires, Arktika-M, remote forest fire monitoring, HEHSS

Accepted: 01.11.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-335-342

## References

1. Asmus V.V., Milekhin O.E., Kramareva L.S. et al., Arktika-M: The World's First Highly Elliptical Orbit Hydrometeorological Space System, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2021, No. 12, pp. 11–26 (in Russian), DOI: 10.52002/0130-2906-2021-12-11-26.
2. Bril' A.A., Burtsev M.A., Mazurov A.A. et al., Organization of stream processing and provision of data of SC “Arctica-M” No. 1 in the integrated system of working with data SRC “Planet”, *Materialy*

- 20-й Международной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса” (Proc. 20<sup>th</sup> Intern. Conf. “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”), 2022, p. 78 (in Russian), DOI: 10.21046/20DZZconf-2022a.
3. Burtsev M. A., Mazurov A. A., Bril’ A. A. et al., Organization of work with data of SC “Arctika-m” No. 1 within the framework of IDS SRC “Planet”, *Materialy 19-й Международной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”* (Proc. 19<sup>th</sup> Intern. Conf. “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”), 2021, p. 80 (in Russian), DOI: 10.21046/19DZZconf-2021a.
  4. Gektin Yu. M., Smelyanskiy M. B., Sulimanov N. A. et al., First Results of the MSU-GS/VE Operation on the Arktika-M No. 1 Spacecraft, *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, 2022, Vol. 9, No. 1, pp. 30–41 (in Russian), DOI: 10.30894/issn2409-0239.2022.9.1.30.41.
  5. Kovalev N. A., Loupian E. A., Balashov I. V. et al., ISDM-Rosleskhoz: 15 years of operation and evolution, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 283–291 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-283-291.
  6. Loupian E. A., Bartalev S. A., Ershov D. V., Kotelnikov R. V., Balashov I. V., Burtsev M. A., Egorov V. A., Efremov V. Yu., Zharko V. O., Kovganko K. A., Kolbudaev P. A., Krasheninnikova Yu. S., Proshin A. A., Mazurov A. A., Uvarov I. A., Stytsenko F. V., Sychugov I. G., Flitman E. V., Khvostikov S. A., Shuliak P. P., Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 222–250 (in Russian).
  7. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A. et al., Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
  8. Loupian E. A., Stytsenko F. V., Senko K. S., Balashov I. V., Mazurov A. A., Burnt area assessment using MODIS Collection 6 active fire data, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 178–192 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-178-192.