РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ 2022, том 9, выпуск 1, с. 30-41

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УДК 528.835.042.3 DOI 10.30894/issn2409-0239.2022.9.1.30.41

## Первые результаты работы аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ на KA «Арктика-М» № 1

**Ю. М. Гектин**, к. т. н., доцент, msu-optics@spacecorp.ru АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

М.Б.Смелянский, msu-optics@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

H. A. Сулиманов, sulimanov\_na@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**В. С. Коляда**, kolyada.vs@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**К. В. Бадаев**, badaev\_kv@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**А. А. Зайцев**, zaytsev\_aa@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Р. В. Андреев**, andreev.rv@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В феврале 2021 года был осуществлен успешный запуск космического аппарата гидрометеорологического назначения «Арктика-М» № 1. Космические аппараты серии «Арктика-М» используются на высокоэллиптической орбите «Молния», что позволяет осуществлять регулярную съемку полярных областей Земли, недоступных для наблюдения с геостационарной орбиты. При помощи информации с данных аппаратов решаются задачи оперативной метеорологии, гидрологии, мониторинга климата и окружающей среды в арктическом регионе. Размещаемая на них аппаратура МСУ-ГС/ВЭ предназначена для получения изображений Земли в видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра с периодичностью до 15 минут. Аппаратура МСУ-ГС/ВЭ является модернизированным для использования при съемке с высокоэллиптической орбиты аналогом аппаратуры МСУ-ГС, разработанной для геостационарных космических аппаратов. В статье приводятся первые результаты эксплуатации аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ. Описаны усовершенствования аппаратуры МСУ-ГС, позволяющие использовать ее на космических аппаратах «Арктика-М». Также рассмотрено дальнейшее развитие аппаратуры МСУ-ГС и МСУ-ГС/ВЭ.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, высокоэллиптическая орбита «Молния», спутниковая аппаратура, модернизация аппаратуры, инфракрасный диапазон спектра, радиометрическая точность измерений

#### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

# First Results of the MSU-GS/VE Operation on the Arktika-M No. 1 Spacecraft

Yu. M. Gektin, Cand. Sci. (Engineering), assoc. prof., msu-optics@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

M. B. Smelyanskiy, msu-optics@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

N. A. Sulimanov\_na@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

V. S. Kolyada, kolyada.vs@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

K. V. Badayev, badaev\_kv@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. A. Zaytsev, zaytsev\_aa@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

R. V. Andreev, andreev.rv@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The hydrometeorological spacecraft Arktika-M No. 1 was successfully launched in February 2021. The Arktika-M series spacecraft are used in the highly elliptical orbit Molniya, which allows regular imaging of the Earth's polar regions that are inaccessible for observation from the geostationary orbit. Information from these satellites is applied to solve problems of operational meteorology, hydrology, climate, and environmental monitoring in the Arctic region. The MSU-GS/VE equipment deployed on these spacecraft is slated for receiving images of the Earth in the visible and infrared ranges of the electromagnetic spectrum with the periodicity of up to 15 minutes. The MSU-GS/VE equipment is the analogue of the MSU-GS equipment developed for geostationary spacecraft and upgraded for use in imaging from a highly elliptical orbit. The paper presents the first results of the MSU-GS/VE equipment operation. Modernization of the MSU-GS equipment, which allows using it on the Arktika-M series spacecraft, is described. Further development of the MSU-GS and MSU-GS/VE equipment is also discussed.

**Keywords:** Earth remote sensing, highly elliptical orbit Molniya, satellite equipment, modernization of equipment, infrared spectrum range, radiometric accuracy of measurements

### КА «Арктика-М» № 1

28 февраля 2021 года на околоземную орбиту был успешно выведен гидрометеорологический КА «Арктика-М» № 1 (рис. 1). КА находится на высокоэллиптической орбите с высотой апогея 37 400—39 800 км, высотой перигея 600—3000 км, наклонением 63,4° и аргументом перицентра 270°. Данная орбита позволяет осуществлять наблюдение полярных регионов Земли при условиях, близких к возможностям наблюдения с геостационарной орбиты.

На КА «Арктика-М» установлена аппаратура МСУ-ГС/ВЭ, аналогичная аппаратуре МСУ-ГС, используемой на геостационарных гидрометеорологических космических аппаратах «Электро-Л». Возможности аппаратуры позволяют осуществлять одновременную съемку всего наблюдаемого диска Земли в десяти каналах видимого и инфракрасного диапазонов спектра с периодичностью до 15 минут. Информация, получаемая от аппаратуры, используется для решения задач оперативной гидрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды, обнаружения и мониторинга опасных природных и техногенных процессов.

Для непрерывного наблюдения за полярными регионами Земли в состав гидрометеорологического комплекса «Арктика-М» должны входить

минимум два высокоорбитальных КА [1]. На основе опыта испытаний и эксплуатации КА «Арктика-М» № 1 будут сделаны выводы о необходимом совершенствовании и модернизации будущих КА серии, которые в дальнейшем войдут в высокоорбитальную группировку гидрометеорологических спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

### Высокоэллиптическая орбита «Молния»

На сегодняшний день для КА ДЗЗ используются в основном два типа орбит — низкие приполярные (высотой от 100 до 1500 км) и геостационарная (высотой около 36 000 км). Они обладают рядом преимуществ и недостатков. Низкие приполярные орбиты позволяют осуществлять наблюдение всей территории Земли с периодичностью от нескольких недель до 12 часов. С геостационарной орбиты Землю можно наблюдать с любой технически доступной периодичностью, но при этом область наблюдения ограничена видимым диском Земли. Кроме того, при съемке Земли с геостационарной орбиты для наблюдения недоступны полярные регионы (рис. 2) [2,3].



Рис. 1. КА серии «Арктика-М»

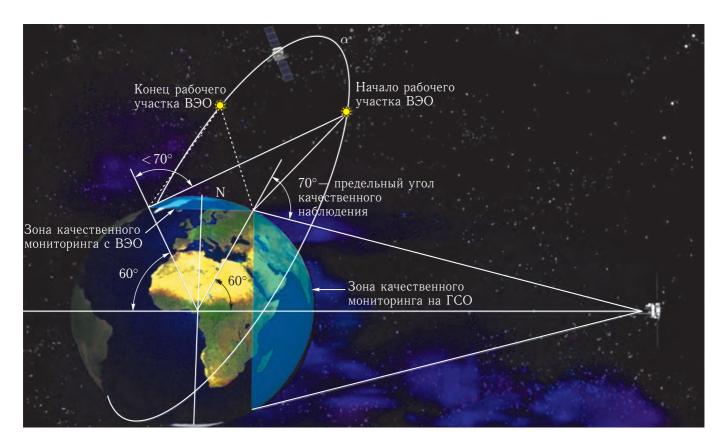


Рис. 2. Зоны качественного мониторинга Земли для геостационарной (ГСО) и высокоэллиптической (ВЭО) орбит

Таким образом, ряд важных тематических задач, требующих высокой, порядка нескольких минут, периодичности наблюдений, может на данный момент времени решаться только для экваториальных и средних широт. Для постоянного мониторинга полярных регионов Земли необходимо использовать другой тип орбит. Такую возможность могут обеспечить высокие эллиптические орбиты.

Данный тип орбит обладает большим эксцентриситетом. Высота апогея орбиты «Молния» сравнима с высотой геостационарной орбиты (около 40 000 км), а высота перигея при этом от 600 до 3000 км. При движении по орбите КА быстро пролетает участок с малыми высотами и довольно надолго «зависает» над поверхностью Земли на участке с большими высотами. Половину времени витка на такой орбите КА находится на высоте не менее 32 000 км. При этом координаты подспутниковой точки за это время изменяются незначительно (рис. 3). То есть условия съемки Земли с такой орбиты будут приближены к условиям съемки

с геостационарной орбиты не менее половины времени витка.

Используя два КА на одной и той же высокоэллиптической орбите, разведенные по времени на 6 ч друг относительно друга, можно обеспечить непрерывное наблюдение полярных регионов Земли при условиях, близких к геостационарным (рис. 4).

Отметим, что орбита «Молния» имеет строго определенное наклонение 63,4°. Такое наклонение обусловлено изменением аргумента перицентра эллиптических околоземных орбит ввиду несферичности гравитационного потенциала Земли. При большем или меньшем наклонении аргумент перицентра будет изменяться на длительном интервале времени, а сам перицентр будет смещаться к экватору. При наклонении 63,4° аргумент перицентра будет оставаться стабильным, а перицентр будет осуществлять прецессионное вращение вокруг земной оси.

Из-за наклонения орбиты географические координаты подспутниковой точки на рабочем участке

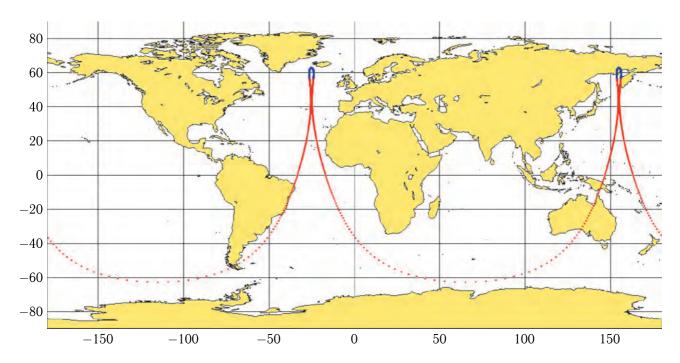


Рис. 3. Подспутниковый трек для высокоэллиптической орбиты типа «Молния». Период обращения составляет около 12 ч. Синим цветом обозначены рабочие участки орбиты ( $\pm 3$  ч от точки апогея)

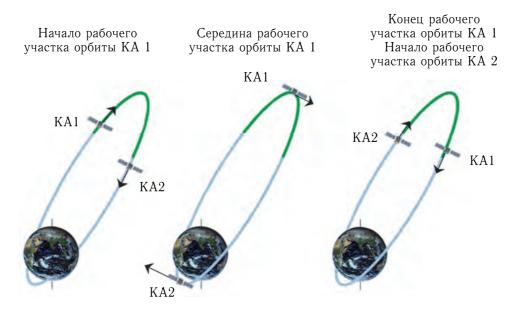


Рис. 4. Обеспечение непрерывного наблюдения полярных областей Земли при помощи двух КА ДЗЗ, находящихся на высокоэллиптической орбите

будут существенно разными для четных и нечетных витков и расположены симметрично относительно северного полюса Земли (рис. 3). Кроме того, географические координаты подспутниковых точек для двух КА, размещенных на одной и той же

орбите с 6-часовым разведением по времени, будут отличаться друг от друга на 90 градусов по широте.

В целях обеспечения полного соответствия условий наблюдения для двух КА на высоко-эллиптической орбите, разведенных по времени

на 6 ч, необходимо, чтобы восходящие узлы орбит КА отличались на 90 градусов.

При этом каждые 12 ч условная точка наблюдения все равно будет изменяться. Для круглосуточного наблюдения полярных регионов Земли «из одной и той же точки» необходимо уже 4 высокоорбитальных КА, восходящие узлы орбит которых отличаются на 90 градусов.

Данный тип орбиты получил название по серии советских КА «Молния», основной задачей которых было обеспечение непрерывной радиосвязи на всей территории СССР. Помимо основной целевой аппаратуры, обеспечивающей радиосвязь, КА «Молния» также были оснащены экспериментальными камерами, позволяющими осуществлять телевизионную съемку поверхности Земли. Первые изображения Земли с высокоэллиптической орбиты были получены еще в 1966 году при помощи КА «Молния-1», а годом позже были сделаны первые цветные телевизионные изображения Земли (рис. 5).

Впоследствии задачи по наблюдению Земли стали решаться преимущественно при помощи низкоорбитальных и геостационарных КА. Аппараты на высокоэллиптических орбитах в наше время используются в основном для радиосвязи. Однако для решения современных задач ДЗЗ необходима все большая оперативность наблюдений за поляр-

ными регионами Земли, которую невозможно в полной мере обеспечить низкоорбитальными КА. Возросший за последнее время интерес к арктическому региону снова сделал актуальным использование высокоэллиптических орбит не только для спутников связи, но и для КА ДЗЗ.

### Аппаратура МСУ-ГС/ВЭ для КА серии «Арктика-М»

Основной целевой аппаратурой КА «Арктика-М» № 1 являются приборы МСУ-ГС [4-6], модернизированные для работы на высокоэллиптической орбите. Аппаратура позволяет получать изображения всего видимого диска Земли в десяти каналах видимого и инфракрасного диапазонов спектра. Наличие инфракрасных каналов оказывается крайне важным, так как значительную часть времени наблюдаемый регион не освещен Солнцем (в периоды полярной ночи). Основные характеристики МСУ-ГС представлены в таблице.

В связи с тем, что орбита КА «Арктика-М» не круговая, а высокоэллиптическая, часть ее проходит через зону радиационных поясов. Несмотря на то, что целевая аппаратура во время прохождения КА радиационных поясов выключена,



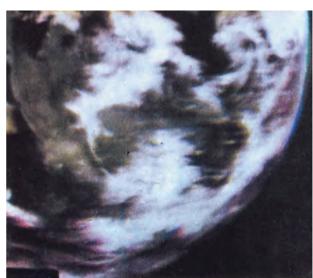


Рис. 5. Слева — первое телевизионное изображение Земли с высокоэллиптической орбиты (КА «Молиния-1», 1966 г.) Справа — первое цветное телевизионное изображение Земли с высокоэллиптической орбиты (КА «Молиния-1», 1967 г.)

Характеристики МСУ-ГС	МСУ-ГС-ВД	МСУ-ГС-ИК
Спектральный диапазон	0,5-0,9 мкм	3,5-12,5 мкм
Количество каналов	3	7
Размер элемента изображения (в надире)	1 × 1 км	4 × 4 км
Угловое поле зрения	19° × 26,1°	$20^{\circ} \times 20^{\circ}$
Интервал времени между сеансами съемки	30 мин (15 мин в режиме учащенной съемки)	
Время формирования 1 изображения диска Земли	3 мин	1,5 мин
Количество изображений диска Земли за 1 сеанс	1	4
Macca	≤ 155 кг	
Срок эксплуатации	10 лет	

накопленные дозы радиации оказываются значительно выше, чем для аппаратуры на низких и геостационарной орбитах. В целях уменьшения воздействия радиации прибор MCУ- $\Gamma C$  был снабжен дополнительной защитой в виде стальных листов, экранирующих электронные блоки.

Еще одной доработкой МСУ-ГС стала модернизация радиационного холодильника (РХ), используемого для охлаждения фотоприемных устройств ИК-диапазона до криогенных рабочих температур. Необходимым условием работы РХ является отсутствие прямого потока излучения на его рабочие поверхности от Солнца, Земли и элементов КА. Из-за низких по высоте участков орбиты вблизи перицентра это условие обеспечить сложно, а для некоторых сезонных периодов практически невозможно. В периоды времени, когда точка восходящего или нисходящего узла орбиты оказывается вблизи линии Земля-Солнце, попадание излучения Земли на рабочую поверхность РХ возможно лишь частично уменьшить. В целях компенсации возникающего избыточного теплового притока стало необходимым уменьшение теплового притока от корпуса прибора к корпусу РХ.

Для уменьшения теплопритока от корпуса МСУ-ГС к корпусу РХ в местах крепления были

использованы сборные титановые шайбы общей толщиной около 1 мм. Это позволило уменьшить площадь непосредственного контакта между корпусами более чем в 100 раз. Для дополнительного охлаждения корпус РХ был оснащен собственным радиатором. Внешний вид новой системы радиационного охлаждения фотоприемников МСУ-ГС представлен на рис. 6.

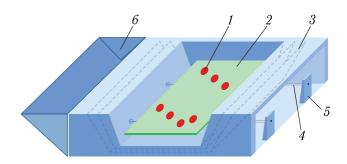


Рис. 6. Конструкция модернизированного РХ прибора МСУ-ГС. 1 — фотоприемники, 2 — вторая ступень РХ, 3 — первая ступень РХ, 4 — нити подвеса второй ступени РХ, 5 — стойки крепления нитей подвеса, 6 — радиатор корпуса РХ

Данные модернизации были испытаны на приборах МСУ-ГС, установленных на КА «Электро-Л», и позволили охладить фотоприемные устройства ИК-диапазона до  $77-80~\mathrm{K}$ . Это позволило полностью решить проблему с дополнительными теплопритоками на РХ в условиях высокоэллиптической орбиты.

### Первые результаты работы аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ

22 марта 2021 года были получены первые снимки Земли, сделанные при помощи аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ (рис. 8).

Съемка проводилась в коротковолновом диапазоне. 24 марта была проведена съемка всеми спектральными каналами МСУ-ГС/ВЭ (рис. 7).

Качество полученной информации полностью соответствует заявленным характеристикам.

Одной из основных трудностей обработки информации от аппаратуры ДЗЗ, установленной на высокоорбитальных КА, является геометрическая обработка изображений. Для корректного

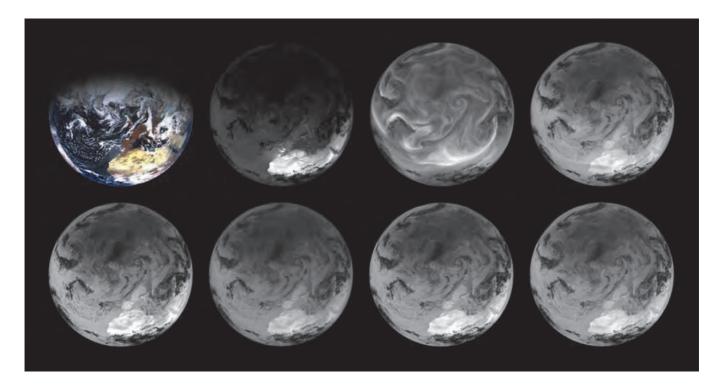


Рис. 7. Информативность одного сеанса съемки аппаратурой МСУ-ГС/ВЭ



Рис. 8. Первое изображение Земли, полученное КА «Арктика-М» № 1

совмещения изображений различных каналов и определения географических координат пикселей изображения необходимо учитывать движение КА

по орбите и вращение Земли. Ошибка географической привязки и совмещения изображений видимых и инфракрасных каналов первых обработанных данных составила не более 12 км. Дальнейшее совершенствование алгоритмов геометрической обработки информации позволило уменьшить величину ошибки географической привязки и совмещения до 1 пикселя как для изображений видимых каналов, так и для изображений видимых каналов, так и для изображений ИК-каналов, что полностью удовлетворяет предъявляемым с точки зрения тематической обработки требованиям.

Модернизация РХ позволила достичь рекордно низких для аппаратуры МСУ-ГС температур фотоприемных устройств ИК-диапазона. На данный момент температура фотоприемных устройств находится в диапазоне от 76 К в начале рабочего участка до 79 К в конце рабочего участка орбиты, что обеспечивает их стабильную работу и высокую чувствительность. В настоящее время продолжаются работы по улучшению процедур радиометрической обработки информации, так как необходим тщательный анализ и учет всех факторов, влияющих на работу прибора МСУ-ГС в новых условиях. В частности, на изображениях, получаемых

в ИК-каналах, присутствуют искажения в виде полос, для устранения которых разрабатываются специальные алгоритмы. Но уже сейчас можно с уверенностью утверждать, что требуемые показатели радиометрической точности измерений 0,1–0,2 К будут достигнуты.

Эксперимент по проведению съемки КА «Арктика-М» № 1 в учащенном режиме (с 15-минутным временным интервалом) подтвердил возможность использования данного режима съемки на постоянной основе. Существовала вероятность того, что рабочая температура фотоприемников ИК-диапазона выйдет за допустимые пределы ввиду более частого включения аппаратуры и, как результат, повышенного теплопритока на РХ. Однако в ходе 10-дневной работы в учащенном режиме температуры фотоприемников не превысили 80 К. Использование учащенного режима съемки на всем рабочем участке орбиты позволит повысить оперативность работы всего комплекса «Арктика-М» до 15 минут.

# Тематические задачи, решаемые при помощи аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ

Гидрометеорологический комплекс «Арктика-М» предназначен для решения широкого спектра задач гидрометеорологии, экологии и информационного обеспечения хозяйственной деятельности арктического региона: мониторинг процессов и погодных явлений в региональном и глобальном масштабах, мониторинг крупных природных и техногенных катастроф, гидрометеорологическое обеспечение судоходства по трассе Северного морского пути и кросс-полярных авиационных маршрутов.

Информация от аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ позволит дополнить и уточнить существующие климатические модели, для которых необходимы данные по скоростям и направлению ветра в глобальном масштабе. Определение скорости и направления ветра в арктическом регионе с требуемой точностью невозможно без использования высокоорбитальных КА ДЗЗ (рис. 9). Для геостационарных КА наблю-

дение полярных регионов недоступно, а для низкоорбитальных КА различия в условиях съемки делают задачу сложно решаемой. Кроме того, низкоорбитальные КА не могут обеспечить требуемую оперативность наблюдений в 15–30 минут.

Карта ветров для арктического региона, построенная ФГБУ «НИЦ "Планета"» по данным с КА «Арктика-М» № 1, приведена на рис. 10. Предварительная оценка позволяет говорить, что по своему качеству она не уступает аналогичным картам для экваториальных и средних широт, построенных по данным с геостационарных КА, однако нуждается в валидации. Данный тематический продукт генерируется на основе данных от инфракрасных каналов аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ. Это значит, что наблюдение за движением облачности доступно в течении всего года, в том числе в период полярной ночи.

Высокая оперативность наблюдений позволяет выявлять и отслеживать быстроразвивающиеся атмосферные явления, такие как полярные мезомасштабные вихри. На рис. 11 приведены последовательные снимки с КА «Арктика-М» № 1 с интервалом в 2 ч, демонстрирующие зарождение, развитие и исчезновение такого вихря (исследование проведено специалистами ФГБУ «НИЦ "Планета"»). Данные атмосферные явления очень часто сопровождаются шквальным ветром и градом, что может нести серьезную угрозу жизни людей и объектам народного хозяйства. Изучение и прогнозирование подобных явлений является важной задачей при освоении арктического региона.

Одной из важных задач ДЗЗ является мониторинг опасных природных и техногенных процессов, таких как пожары. Наличие у аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ канала ближнего ИК-диапазона (3,5–4,1 мкм) позволяет осуществлять мониторинг высокотемпературных объектов на поверхности Земли (рис. 12).

Несмотря на относительно низкое пространственное разрешение данного канала (размер проекции пикселя  $4\times 4$  км в надире), за счет высокой чувствительности возможно обнаружение и наблюдение за такими объектами, как жерла активных вулканов и площади открытого огня от  $5000 \, \text{m}^2$ .

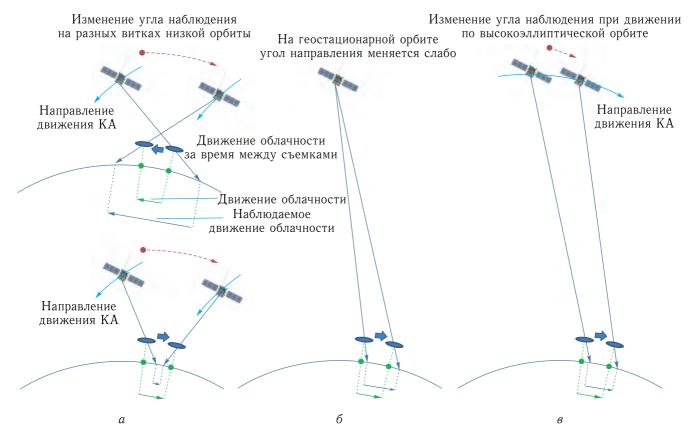


Рис. 9. Определение скорости и направления ветра по информации ДЗЗ при съемке с различных орбит. Зеленой стрелкой показано действительное перемещение облака относительно земной поверхности. Синей стрелкой показано наблюдаемое перемещение облака при различных условиях съемки: а) съемка с низкой орбиты одним и тем же КА на последовательных витках. Наблюдаемое перемещение облачности зависит от направления движения облаков и угла съемки и может сильно отличаться от реального движения облаков; б) съемка с геостационарной орбиты. За счет неизменности условий съемки перемещение облачности определяется практически без искажений; в) съемка с высокоэллиптической орбиты. Условия наблюдения изменяются незначительно. За счет большой высоты съемки изменение угла наблюдения практически не оказывает влияния на точность определения перемещений облаков

# Дальнейшее развитие системы «Арктика-М» и аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ

Как уже отмечалось ранее, для круглосуточного непрерывного наблюдения полярных регионов Земли необходимо минимум два КА. Запуск КА «Арктика-М» № 2 запланирован на 2023 год. Наличие двух КА «Арктика-М» создаст полноценную высокоорбитальную космическую группировку, позволяющую осуществлять непрерывный мониторинг арктического региона.

Для улучшения качества мониторинга необходимо расширение группировки до 4-х одновременно функционирующих высокоорбитальных КА. Это позволит обеспечить не только непрерывность наблюдений, но и сделает возможным круглосуточные наблюдения при двух различных ракурсах съемки. Кроме того, наличие дополнительных КА повысит надежность всего комплекса «Арктика-М».

Модернизация аппаратуры МСУ-ГС и бортовых систем будущих КА «Арктика-М» могут повысить оперативность съемки до 5-10 мин без существенного увеличения как массы целевой аппаратуры, так и массы всего КА. Достижение такой оперативности съемки позволит осуществлять мониторинг полярных регионов Земли на качественно новом уровне.

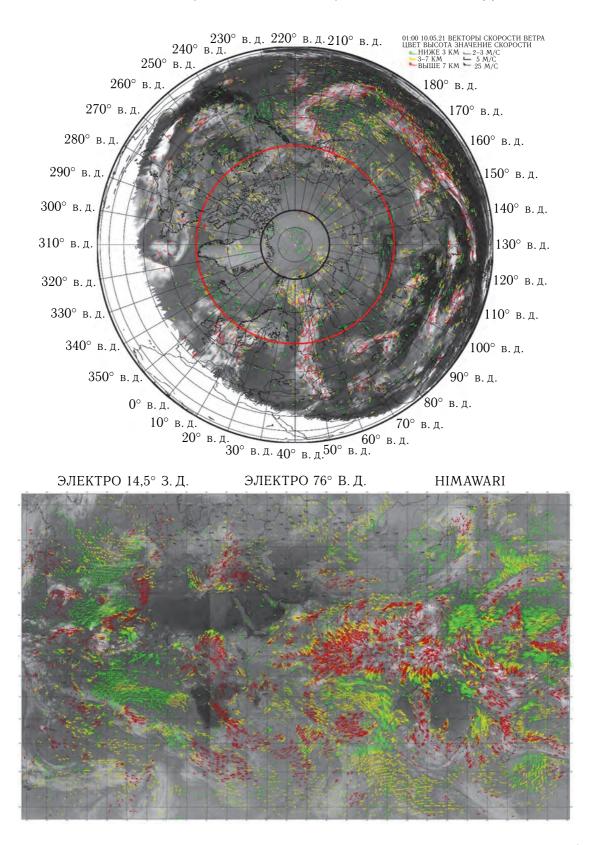


Рис. 10. Вверху — карта ветров для полярных областей Земли, построенная на основе данных с КА «Аркти-ка-М» № 1. Внизу — карта ветров, построенная по данным геостационарных КА «Электро-Л» № 2, «Электро-Л» № 3 и HIMAWARI-8

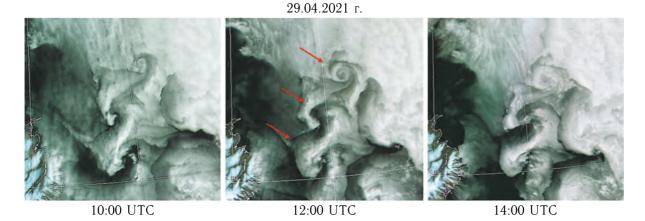


Рис. 11. Эволюция цепочки полярных мезомасштабных вихрей

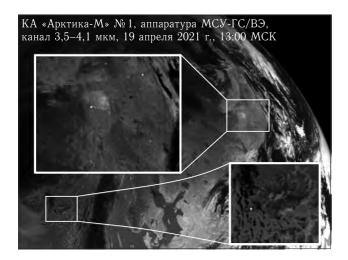


Рис. 12. Мониторинг высокотемпературных объектов при помощи канала среднего ИК-диапазона аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ. На снимке канала 3,5–4,1 мкм четко видно жерло вулкана Фаградальсфьядль в Исландии (внизу снимка) и пожары в сибирском регионе (вверху снимка)

#### Заключение

«Артика-М» является первым в мире гидрометеорологическим комплексом, позволяющим осуществлять непрерывный оперативный мониторинг полярных регионов Земли. Результаты летных испытаний КА «Арктика-М» № 1 показали принципиальную возможность использовать целевую аппаратуру, предназначенную для работы в условия геостационарной орбиты, в условия высокоэллиптической орбиты. Запуск второго КА «Арктика-М», запланированный на 2023 год, создаст полноценную высокоорбитальную группировку спутников ДЗЗ.

### Список литературы

- 1. Асмус В.В. и др. Развитие космического комплекса гидрометеорологического обеспечения на базе геостационарных спутников серии «Электро-Л» // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. 2012. № 1 (12). С. 3–14.
- 2. Asmus V. V., Dyadushenko V. N., Nosenko Y. I., Polishuk G. M., Selin V. A. A highly elliptical orbit space system for hydrometeorological monitoring of the Arctic region // WMO Bull. 2007. 56 (4). P. 293–296.
- 3. Пат. 2360848 Российской Федерации, B64G 1/10, H04B 7/185, G01S 13/06. Многоцелевая космическая система / Ю. И. Носенко, В. А. Селин, В. В. Асмус, Г. М. Полищук, В. Н. Дядюченко [и др.]. Заявл. 20.01.2008, опубл. 10.07.2009.
- 4. Пат. 2589770 Российской Федерации, G02B 26/10. Многозональное сканирующее устройство для дистанционного получения изображений полного диска Земли с геостационарной орбиты / Ю. М. Гектин, М. Б. Смелянский, А. В. Рыжаков. Заявл. 15.05.2015, опубл. 10.07.2016. Бюлл. № 19.
- 5. Андреев Р.В., Акимов Н.П., Бадаев К.В., Гектин Ю.М., Зайцев А.А., Рыжаков А.В., Смелянский М.Б., Сулиманов Н.А., Фролов А.Г. Многозональное сканирующее устройство для геостационарного метеоспутника «Электро-Л» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2015. Т. 2, вып. 3. С. 33–44.
- 6. Москатиньев И.В., Балиев А.В., Павлова Т.В., Гектин Ю.М., Акимов Н.П., Смелянский М.Б., Сулиманов Н.А., Бадаев К.В., Рыжаков А.В., Фролов А.Г., Андреев Р.В., Зайцев А.А. Основные результаты эксплуатации аппаратуры МСУ-ГС на КА «Электро-Л» № 2 // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2017. № 2. С. 108–114. ISSN 2075-6941.