
КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ,
СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ИЗК

**ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЖИДАНИЙ ТЕМАТИЧЕСКИХ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ОПТИЧЕСКИХ КС ДЗЗ СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ**

© 2019 г. В. А. Селин, А. А. Емельянов, О. С. Сизов*, К. С. Емельянов, А. В. Борисов

Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы», Москва

**E-mail: sizov_os@ntsomz.ru*

Поступила в редакцию 04.07.2019 г.

По итогам прямого взаимодействия с различными группами потребителей установлено, что в структуре требований по всем тематическим направлениям в настоящее время на первый план выходит географический охват, регулярность и периодичность съемки. Вторым по значимости приоритетом является обеспечение качества спектрорадиометрических характеристик в контексте их абсолютных показателей и стабильности во временном ряду всего архива съемки с возможностью предоставления данных в физических величинах отражательной способности, либо спектральной яркости отраженной радиации/яркостной температуры. Требования к пространственному разрешению в рамках отдельно выделенного класса данных, а также к наличию панхроматического канала не являются значимыми для большинства респондентов. В понимании тематических пользователей опосредованные требования к характеристикам целевой аппаратуры ДЗЗ формируются через прямые требования к исходным данным ДЗЗ. При создании перспективных КС ДЗЗ со стороны государственного заказчика целесообразно проведение регулярных опережающих исследований пользовательских ожиданий и предпочтений для того, чтобы в полной мере согласовать и интегрировать их в технические задания на различные изделия космической системы. В целом, для эффективного обобщения различных, зачастую противоположных, функциональных ожиданий целесообразно проведение всестороннего обсуждения, обеспечивающего механизм обратной связи как от полномочных представителей основных потребителей, так и от разработчиков целевой аппаратуры и космических систем ДЗЗ.

Ключевые слова: космические системы ДЗЗ, требования потребителей, характеристики данных ДЗЗ, целевое применение КА ДЗЗ, тематические задачи

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019589-98>

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на устойчивые многолетние тенденции «гонки вооружений» по повышению пространственного разрешения, данные дистанционного зондирования Земли среднего пространственного разрешения сохраняют прочные позиции и формируют самостоятельный и весьма объемный сегмент современного рынка геоинформатики. Большое количество примеров успешного научно-практического применения мульти- и гиперспектральных данных среднего пространственного разрешения свидетельствует о высокой востребованности и значимости получения кондиционных данных ДЗЗ в данном сегменте для тематических потребителей.

В этом отношении на этапе формирования технического облика перспективных космических систем (КС) ДЗЗ и требований к перспективной целевой аппаратуре (ЦА) космических аппаратов (КА) ДЗЗ необходим учет всей совокупности потребительских требований, вне зависимости от области конечного применения (Борисов и др.,

2013). В мировой практике сложился подход многоэтапного и многофакторного анализа максимально широкого перечня требований, который основан, прежде всего, на регулярном прямом взаимодействии регулятора (распределителя бюджетных средств, государственного заказчика), разработчиков ЦА и программного обеспечения, а также представителей экспертного, научного и пользовательского сообщества. Механизмы взаимодействия выстраиваются в каждом конкретном случае с учетом обстоятельств и целевых задач перспективной КС ДЗЗ, однако глобальная общность тематических задач и направлений дает возможность реализации подобного подхода при формировании облика российских КС ДЗЗ среднего разрешения.

Таким образом, целью данной работы является экспертная оценка функциональных ожиданий российских тематических потребителей от перспективных мультиспектральных и гиперспектральных КС ДЗЗ среднего разрешения в свете необходимости уточнения и детализации общего технического облика КС ДЗЗ и частных технических требований к целевой аппаратуре (ЦА).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно утвержденной Госкорпорацией «Роскосмос» классификации данных ДЗЗ из космоса к сегменту среднего пространственного разрешения относится интервал 11–100 м. Анализ зарубежных источников показывает, что нижняя граница сегмента в настоящее время достигает 2–4 м. По результатам маркетинговых оценок рынка ДЗЗ граница диапазона находится в пределах 4–5 м (Сизов, Кушнырь, 2018; <http://www.euroconsult-ec.com/svc/satellite-value-chain-2014-excerpt.pdf>). Это связано, в том числе, с положительным опытом использования мультиспектральной информации с КА SPOT-5 и RapidEye-1...5 с разрешением 5 м при решении площадных мониторинговых задач. Существуют планы полного открытия доступа к архивам SPOT-2, -4, -5 с разрешением до 5 м (в настоящее время доступны лишь отдельные территории), что приведет к смещению ожиданий большинства потребителей к данному показателю. В некоторых случаях за нижнюю границу сегмента принимают максимальное разрешение аппаратуры MSI КА Sentinel-2 (10 м), которое соответствует наилучшему показателю для бесплатно распространяемых оптических данных ДЗЗ. Верхняя граница сегмента традиционно устанавливается в районе 30–50 м, что во многом обусловлено характеристиками общедоступных данных с КА Landsat-4, -5, -7, -8, имеющих высокое научно-практическое значение и уже длительное время фактически определяющих развитие целевой аппаратуры в данном сегменте. В рамках данного исследования под средним разрешением понимается интервал 5–30 м, как наиболее релевантный существующей мировой практике и трендам развития возможностей ЦА.

Среди разнообразия оптических средств ДЗЗ среднего разрешения можно выделить два основных класса:

- мультиспектральный, к которому следует отнести многочисленные примеры типа Landsat, SPOT, Sentinel, RapidEye, DMC и др., развитие ЦА которых характеризуется увеличением полосы обзора (до 600 км) и увеличением спектральных каналов (до 13), а также увеличением производительности съемки за счет создания орбитальных группировок и оптимизации процессов приема, обработки информации и повышением точности геометрической и радиометрической калибровки;

- гиперспектральный — ЦА с высоким спектральным разрешением (от 90 каналов и более) типа Hyperion/EO-1, для которого в настоящее

время наметились две тенденции — создание группировок специализированных КА с повышенной производительностью (например, OHS/Zhuhai, Китай) и создание с максимальной научной проработкой методической стороны применения гиперспектральных данных узкоспециализированных КА для детального изучения локальных участков (например, EnMap, Германия).

В составе российской ОГ КА ДЗЗ основной целевой аппаратурой мультиспектральной съемки среднего разрешения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра являются КМСС/«Метеор-М» (60 м), КШМСА/«Ресурс-П» (до 12 м), а также МСС/«Канопус-В» (12 м). Гиперспектральная съемка с разрешением 30 м осуществляется с помощью ЦА ГСА/«Ресурс-П».

Для анализа структуры спроса на российские данные ДЗЗ среднего разрешения использовалась база данных заявок, получаемых Научным центром оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) АО «Российские системы», выступающего оператором российских космических средств ДЗЗ (Оператор КС ДЗЗ).

В НЦ ОМЗ также сложились устойчивые формы прямого взаимодействия с основными тематическими потребителями. В частности, на протяжении трех лет (2015–2017 гг.) НЦ ОМЗ координировалась деятельность рабочих групп с привлечением разработчиков ЦА и представителей основных отраслевых заказчиков по оценке технических и потребительских характеристик существующей и перспективной ЦА (Рослесхоз, Минсельхоз России, МЧС России, Минприроды России, РАН и др.), включая организацию и координацию подспутниковых наблюдений. В рамках заседаний для выявления объективных требований применительно к мультиспектральной ЦА среднего разрешения применялось прямое анкетирование участников рабочих групп. Проблемные вопросы, которые препятствуют практическому внедрению мультиспектральных и гиперспектральных данных ДЗЗ, выявлялись в ходе неоднократных экспертных обсуждений с согласованием позиций в виде протоколов и особых мнений разработчиков.

Полученные исходные данные позволяют формализовать ожидания от функциональных возможностей оптической ЦА ДЗЗ среднего пространственного разрешения и выделить следующие группы потребительских требований:

- технические характеристики (пространственное разрешение, радиометрические параметры, рабочий спектральный диапазон,

количество и границы спектральных каналов, ширина полосы захвата);

– качество данных ДЗЗ (точность абсолютной и относительной радиометрической калибровки, точность географической привязки по орбитальным данным, точность сведения спектральных каналов);

– режим получения, обработки и распространения данных ДЗЗ и продуктов их обработки с учетом ограничений платформы КА и наземной космической инфраструктуры (суточная производительность съемки, периодичность наблюдения зоны интереса, оперативность сброса, обработки и доставки до потребителя) (Борисов и др., 2015);

– наличие и доступность технических описаний, стандартов, методов и программных средств обработки данных ДЗЗ;

– наличие и доступность архива данных;

– стоимость данных ДЗЗ и стоимость получения продуктов их обработки (абсолютная, удельная и условная).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Анализ заявок потребителей на данные с российских КА ДЗЗ за период 2015–2017 годы выделяются следующие группы тематических пользователей:

– КШМСА (–ВР, –СР) — основная часть заказов на съемку поступает от Росгидромета (66–81%), от 2 до 11% составляет доля МЧС России, институтов РАН, Рослесхоза и органов исполнительной власти (ОИВ) субъектов Российской Федерации и (в порядке убывания).

– КМСС — половину пользователей составляют институты РАН (49%), от 9% до 19% составляет доля представителей МЧС России, ОИВ субъектов

Российской Федерации и Рослесхоза (в порядке убывания).

Усредненное распределение потребностей в мультиспектральных данных ДЗЗ среднего разрешения показано на рис. 1.

Динамика заявляемых площадей на мультиспектральную съемку среднего разрешения (на основе анализа заявок в НЦ ОМЗ) с КА «Ресурс-П» и «Метеор-М» показывает, что наибольшим спросом пользуются данные КШМСА (рис. 2). При этом в 2017 г. спрос на данные среднего разрешения превышал спрос на данные высокого разрешения, что объясняется большим количеством заявок со стороны МЧС России. В 2018 г. отмечается существенное снижение спроса, особенно на данные КШМСА-СР. В отношении данных КМСС спрос за 2015–2018 гг. довольно стабилен, при этом в абсолютном выражении на два порядка уступает спросу на данные КШМСА. Пик 2016 г. связан с запросом Института космических исследований РАН, который в дальнейшем данные КМСС практически не заказывал.

Результаты сравнения характеристик ЦА КШМСА/ШМАСР/ШОК-ПМ/КМСС с зарубежными аналогами показали, что российская ЦА по отдельным показателям частично или полностью не удовлетворяет требованиям тематических заказчиков (табл. 1).

Среди основных недостатков с позиции решения прикладных тематических задач конечными пользователями выделяются:

– невозможность обеспечить непрерывную съемку среднего разрешения в надир по причине маневрирования КА «Ресурс-П» в условиях приоритета съемки ЦА ОЭК-ВР;

– технические ограничения возможности использования КШМСА совместно с ОЭК ВР,

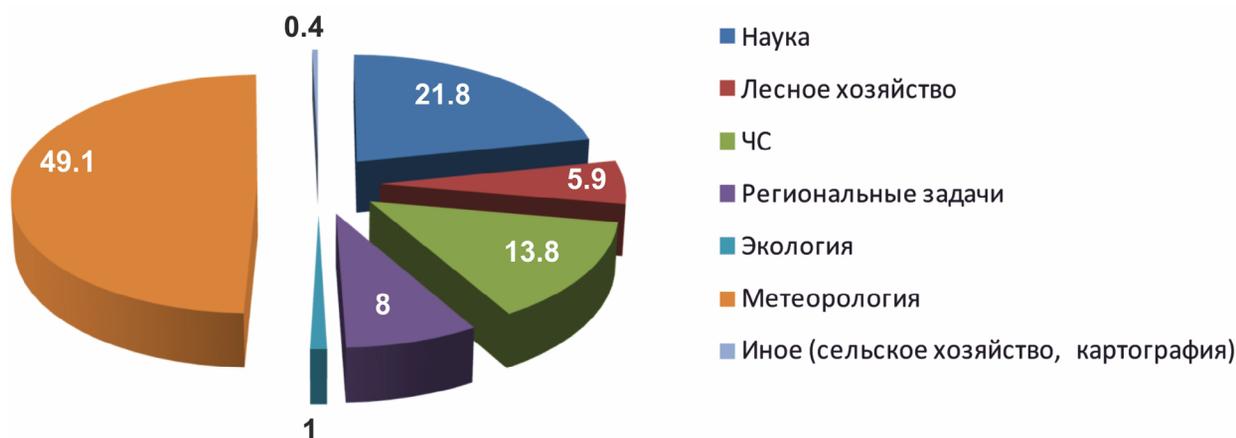


Рис. 1. Структура потребностей в мультиспектральных данных ДЗЗ среднего разрешения на основе анализа заявок в НЦ ОМЗ на съемку КШМСА («Ресурс-П») и КМСС («Метеор-М») за 2015–2018 гг.

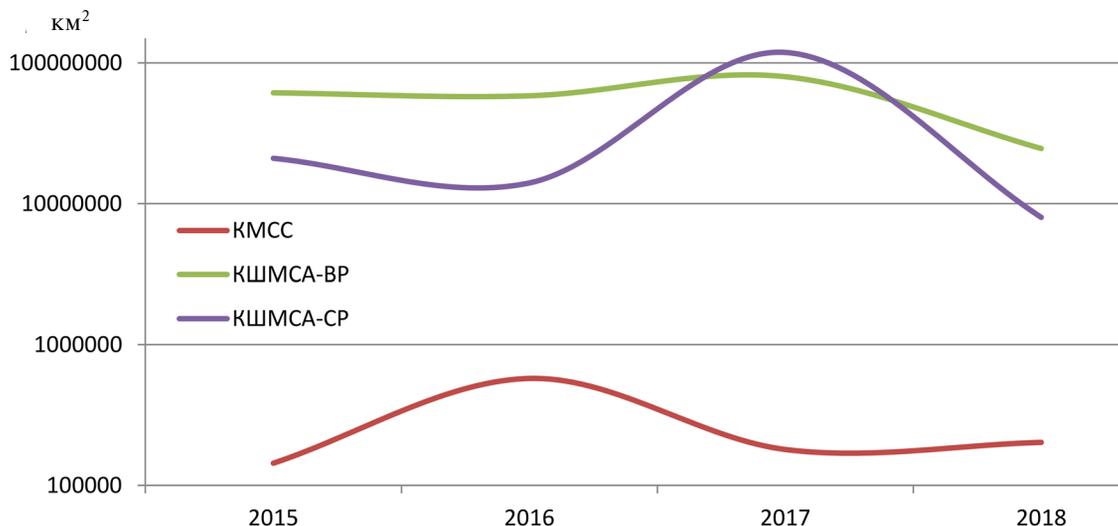


Рис. 2. Динамика заявок на получение российских мультиспектральных данных ДЗЗ среднего разрешения основными потребителями за 2015–2017 гг. (по данным НЦ ОМЗ).

Таблица 1. Сравнение реализации требований тематических заказчиков к потребительским характеристикам ЦА ШМАСР/ШОК-ПМ и зарубежных аналогов (OLI/Landsat-8 и MSI/Sentinel-2)

| Требования к основным потребительским характеристикам ЦА/данных ДЗЗ среднего разрешения | КШМСА/ШМАСР/ШОК-ПМ | КМСС | OLI/Landsat-8, MSI/Sentinel-2 |
|---|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Технические характеристики | выполняются частично | выполняются | выполняются |
| Качество данных ДЗЗ | выполняются частично | выполняются | выполняются |
| Стоимость данных ДЗЗ (бесплатное распространение) | выполняются | выполняются | выполняются |
| Режим съемки (с учетом ограничений платформы КА и НКИ) | не выполняются | выполняются частично | выполняются |
| Наличие и доступность технических описаний, отраслевых стандартов, методов и программных средств обработки данных ДЗЗ | не выполняются | выполняются частично | выполняются |
| Наличие и доступность архива данных ДЗЗ | выполняются частично | выполняются частично | выполняются |

влекущие за собой, в частности, снижение производительности съемки ЦА ШМАСР более чем в 3 раза;

- отсутствие возможности осуществления съемки в среднем и дальнем ИК-диапазоне со средним разрешением (не хуже 30 м);

- отсутствие доступного технического описания ЦА для тематических заказчиков, учебно-методических материалов, а также омологации в общераспространенном программном обеспечении обработки данных ДЗЗ.

Анализ результатов прямого анкетирования позволяет выделить ряд функциональных ожиданий от потребительских свойств мультиспектральной ЦА в составе КС ДЗЗ (табл. 2).

Относительно гиперспектральной ЦА также пользователями выделяется ряд проблемных вопросов, которые препятствуют практическому внедрению данных ДЗЗ:

- ограниченность спектрального диапазона — спектральный охват ГСА не включает средний (коротковолновый) ИК-диапазон (~радиометрия — существуют проблемы стыковки спектральных кривых на границе ОЭП, затухания сигнала в синем диапазоне, а также проведения и контроля абсолютной радиометрической калибровки.

Кроме этого, для данных ГСА отсутствует общедоступное программное обеспечение и протоколы описания форматов исходных данных, наличие которых обычно стимулирует пользовательскую

Таблица 2. Функциональные ожидания пользователей от потребительских характеристик мультиспектральной ЦА/КС ДЗЗ среднего разрешения

| Вид требования | Характеристика требований |
|---|---|
| Пространственное разрешение | От 5 (АО «Роскартография», АО «Росгеология») до 100 м (ФБУ «Рослесозащита»). В среднем — 10–30 м |
| Требования к спектральным характеристикам | |
| Спектральный диапазон | Соответствие мировым аналогам Landsat и Sentinel-2 (Минсельхоз России, ФБУ «Рослесозащита») по числу каналов и диапазонам спектра, в т.ч. наличие голубого канала 0.44 мкм (ИКИ РАН), канала «циррусов» 1.36–1.39 мкм (ФГБУ «НИЦ «Планета»), каналов в видимом, ближнем, среднем и дальнем ИК-диапазонах (Минсельхоз России, ИКИ РАН, ФБУ «Рослесозащита») |
| Радиометрическое разрешение | не хуже 10 бит (ИКИ РАН), предпочтительно 11 бит и более (АО «Росгеология»). |
| Ошибка измерения КСЯ | не более 5% (ИКИ РАН) |
| Требования к геометрическим характеристикам | |
| Ошибка совмещения спектральных каналов | 0.1 пиксела (ИКИ РАН, ФБУ «Рослесозащита») |
| Ошибка совмещения разновременных данных | 0.3 пиксела (ИКИ РАН) |
| Абсолютная ошибка привязки | 0.5 пиксела (ИКИ РАН) |
| Требования к производительности съемки | |
| Географический охват | Необходимость обеспечения глобальной непрерывной съемки (ИКИ РАН, АО «Росгеология») |
| Периодичность съемки | Для мониторинга локальных участков — не более 5 суток без учета облачности (ИКИ РАН) либо 5–16 суток с учетом облачности (ИКИ РАН, ФБУ «Рослесозащита»). Для мониторинга областей интереса — обеспечение покрытия не менее 3–5 раз за вегетационный/бесснежный период (площадное покрытие сельхозугодий, пашни, лесов с облачностью не более 5–10%) (Минсельхоз России, ФБУ «Рослесозащита», АО «Росгеология») |
| Полоса захвата | от 20 (Минсельхоз России) до 290 км (ФБУ «Авиалесоохрана» и др.), в среднем от 170 км и более (ИКИ РАН, ФБУ «Рослесозащита») |
| Угол визирования | Не более 15° (ФБУ «Рослесозащита») |
| Требования к качеству данных ДЗЗ | Данные ДЗЗ должны обеспечивать возможность корректного определения состояния растительности и расчетов вегетационных индексов (Минсельхоз России, ФБУ «Рослесозащита») |
| Требования к оперативности | Поставка данных должна осуществляться с помощью веб-сервисов, обеспечивающих доступ ко всем получаемым данным с задержкой, не превышающей 7 часов после времени съемки (ИКИ РАН, Минсельхоз России). В случае ЧС — не более 2 часов для данных ДЗЗ уровня 1А (МЧС России). |
| Требования к комплекту поставки данных | Должны предоставляться данные, прошедшие атмосферную коррекцию (ИКИ РАН). Данные должны сопровождаться масками облачности, теней от облаков, аппаратурных шумов, метаданными о геометрических условиях съемки, при обеспечении доступа к полному архиву (ИКИ РАН, АО «Росгеология») |

активность по устранению проблемных вопросов обработки данных, включая проблемы радиометрической и геометрической калибровки.

По итогам прямого анкетирования и многочисленных осуждений в рамках рабочих групп можно сделать вывод о том, что в сегменте оптической

съемки среднего пространственного разрешения в структуре требований российских тематических заказчиков в настоящее время на первый план выходят требования к потребительским характеристикам ЦА, рассматриваемым в тесной взаимосвязи с характеристиками и возможностями

КС ДЗЗ в целом. По уменьшению степени приоритетности для пользователей их можно расположить в следующем порядке:

1. Географический охват, регулярность и производительность (периодичность) съемки;
2. Наличие подготовленного для тематического анализа многолетнего архива данных ДЗЗ;
3. Спектральные характеристики и точность геопривязки — требуется, в частности, увеличение числа спектральных диапазонов съемки ЦА и обеспечение точности радиометрической калибровки (для абсолютных значений эффективной энергетической яркости (ЭЭЯ) на верхней границе атмосферы) для всех каналов — не более 5% (целевое значение — 3%), проверка калибровки должна выполняться по абсолютным значениям ЭЭЯ, в т.ч. по устойчивому источнику излучения (Солнце/Луна), при этом оценка уровня «сигнал-шум» должна проводиться для каждого канала по максимальной и средней мощности сигнала;
4. Оперативность предоставления данных полного объема данных ДЗЗ с использованием публичных геосервисов в Интернете и обеспечение поддержки пользователей (метаданные, маски, руководства пользователей, ПО);
5. Пространственное разрешение.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Детальный анализ полученных результатов показывает, что в сегменте оптической многоспектральной съемки среднего разрешения для большинства тематических задач необходимо обеспечение непрерывной съемки территории России в режиме 24/7 (с учетом исключения ночной съемки) с минимальными отклонениями визирной оси от надира. Важно отметить, что пространственное разрешение играет второстепенную роль. Приоритетным является интервал 5–10 м для «узких» спектральных каналов (включая средний ИК-диапазон), что несколько превосходит уровень мировых аналогов. При этом необходимость панхроматического канала с повышенным отношением мультиспектральных каналов разрешением отмечается меньшинством потребителей и не входит в число приоритетных требований.

Результаты экспертных обсуждений позволяют дополнительно выделить технический класс ЦА, который не используется напрямую в тематических задачах, но предназначен для улучшения характеристик данных ДЗЗ высокого и сверхвысокого разрешения. К данному классу относится бортовой спектрометр с разрешением (30–60 м), обеспечивающий формирование данных в видимом (включая крайний синий), ближнем и среднем

(2.08–2.4 мкм) ИК-диапазонах для учета параметров атмосферы (содержания аэрозолей, водяного пара и процент облачности) на момент съемки, например, ЦА ОЭК-ВР перспективного КА «Ресурс-ПМ». Ближайшим зарубежным функциональным аналогом подобной ЦА является CAVIS (Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, Snow), установленный на КА WorldView-3 (США/Канада).

Анализ мирового опыта показывает, что наиболее эффективное использование оптической ЦА среднего разрешения представляется возможным только при размещении аппаратуры на платформе специализированного КА в качестве основной полезной нагрузки. Наиболее востребованными зарубежными аналогами в данном сегменте ДЗЗ является ЦА OLI на КА Landsat-8, MSI — на КА Sentinel-2, REIS (JSS-56) — на КА RapidEye-1–5.

Мировой опыт оценки потребительских ожиданий при создании зарубежных КС ДЗЗ среднего разрешения можно показать на наиболее характерном примере программы глобального мониторинга природных ресурсов Landsat. В общем виде требования к программе Landsat определяются (https://landsat.usgs.gov/landsat/landsat_science_team/LST-2009-01-files.zip; <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2006journal/october/highlight.pdf>):

- потенциальной пользой для общества при непрерывном мониторинге видимых изменений территории;
- законом о политике в области дистанционного зондирования Земли от 1992 года (The Land Remote Sensing Policy Act);
- наследием предыдущих миссий Landsat;
- целями и задачами будущих миссий, сформированными на основе пилотных разработок и текущими техническими возможностями промышленности;
- руководством Исполнительной канцелярии президента (Executive Office of the President);
- представлениями о трендах развития ДЗЗ в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Для получения количественных значений текущих потребностей Геологическая служба США (USGS) использует следующие источники получения информации (https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/ssbsite/documents/webpage/ssb_174617.pdf; <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/april-2016/landsat-program-update-ngac-apr-2016.pdf>):

- внутренние требования, оценка возможностей и аналитическая деятельность USGS;
- периодические исследования требований, проводимые USGS;
- результаты работы научной команды Landsat (Landsat Science Team), включающей 21

представителя правительства, науки и международных организаций (в т.ч. коммерческих операторов ДЗЗ);

– рекомендации Консультативной группы по программе Landsat Консультативного комитета по геопространственным вопросам (National Geospatial Advisory Committee's Landsat Advisory Group), обеспечивающая справочную поддержку правительства США по требованиям, целям и функционированию программы Landsat;

– требования и результаты экспертизы Рабочей группы по ДЗЗ Министерства природных и культурных ресурсов (DOI Remote Sensing Working Group);

– результаты деятельности Управления по политике в области науки и техники (OSTP-led Activities);

– доступные и актуальные материалы профессиональных сообществ — отчеты NRC, отчеты рабочей группы USGEO, AmericaView, анализ успешных примеров (Case Studies), обратной связи от пользователей и др.

Ведущая роль при формировании требований к будущим миссиям программы Landsat принадлежит Консультативной группе по программе Landsat (Landsat Advisory Group), которая осуществляет прямые контакты с потребителями, а также проводит собственные маркетинговые исследования. В качестве примера можно привести результаты первичного исследования негосударственных пользователей данных Landsat, проведенного с 29 июня по 10 августа 2015 (<https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/april-2016/landsat-user-requirements-analysis-ngac-june-2016.pdf>) в рамках деятельности по определению облика будущей миссии Landsat-10 (определение облика планируется в 2018 г., запуск

намечен на 2027–2028 гг.). Исследование проводилось специализированной компанией Survey Monkey, кроме того опрашивались участники крупных конференций по ДЗЗ, использовалась рассылка по электронной почте и личные контакты членов Landsat Advisory Group.

Результаты исследования позволили получить общее соотношение приоритетов требований к различным характеристикам планируемой миссии Landsat-10 по всем категориям негосударственных пользователей данных Landsat (рис. 3).

Очевидно, что основным приоритетом является повышение периодичности съемки (50%), далее идут улучшение спектральных характеристики (25%) и повышение пространственного разрешения (15%). Такое распределение полностью соответствует приоритетам потребительских потребностей российских пользователей оптических данных ДЗЗ среднего разрешения, что свидетельствует об общности решаемых тематических задач вне зависимости от государственной принадлежности.

Длительный процесс анализа потребительских требований на предпроектной стадии создания перспективного КА ДЗЗ способствует формированию детального технического задания и достижения (зачастую превышения) целевых характеристик. В частности, если в ТЗ на КА «Метеор-М» № 2–3 и № 2–4 (ближайший запуск не ранее 2020 г.) для ЦА КМСС-2 в качестве требований к спектральным характеристикам указывается только спектральный диапазон (табл. 3) (<http://www.zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ok44/view/documents.html?regNumber=0173100007015000132>), то в требованиях к ЦА MSI КА Sentinel-2 для каждого канала указываются точные границы



Рис. 3. Приоритеты требований к характеристикам миссии Landsat-10 для всех категорий негосударственных пользователей данных Landsat.

Таблица 3. Требования к бортовой ЦА «Метеор-М» № 2–3 и № 2–4 – технические характеристики КМСС-2

| Характеристика | Значение |
|---|---------------|
| Суммарная полоса захвата, км | не менее 1000 |
| Пространственное разрешение в надире (размер проекции пиксела на Землю в надире), м | не хуже 60 |
| Количество спектральных каналов | не менее 3 |
| Спектральный диапазон съемки, мкм | 0.52–0.90 |
| Отношение сигнал/шум в зачетных условиях | не менее 200 |
| Радиометрическое разрешение (разрядность АЦП), бит | 10 |

и соотношение «сигнал/шум» для среднего (референсного) и, по возможности, максимально-го уровня сигнала (табл. 4) (https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/GMES_Sentinel2_MRD_issue_2.0_update.pdf).

Таким образом, в сегменте оптической съемки среднего разрешения для тематических пользователей основную роль играет периодичность съемки и спектральные характеристики. В целях достижения максимальной периодичности для территории России целесообразно развитие спутниковой группировки из трех-пяти и более однотипных КА ДЗЗ с основной широкозахватной мульти-спектральной и/или гиперспектральной ЦА, обеспечивающей непрерывную съемку в надир. Для обеспечения максимального качества спектральных характеристик рекомендуется расширение

участия разработчиков и операторов российских КС ДЗЗ в деятельности международных специализированных сообществ (в частности, в рабочей группе по калибровке и валидации WGCV международного комитета по спутниковому наблюдению Земли CEOS). Важен также и постепенный переход на международные стандарты, методики и технологии валидации и кросскалибровки данных ДЗЗ. В совокупности это может дать возможность в сегменте среднего разрешения полноценно использовать при решении прикладных задач российские данные ДЗЗ наряду с зарубежными аналогами, при этом периодичность съемки возрастет с учетом возможностей глобальной группировки КА ДЗЗ. Рекомендуется также детальное изучение потребительских ожиданий до объявления конкурса на создание перспективных КС ДЗЗ, что позволит сформировать подробное техническое задание, отвечающее большинству требований. Предложенные меры, в конечном счете, могут способствовать росту степени удовлетворенности тематических потребителей оптических данных ДЗЗ среднего разрешения, косвенным индикатором чего может являться устойчивый рост объемов потребления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, по результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что в сегменте оптической съемки среднего разрешения существует значительное разнообразие тематических потребителей, учет требований которых обязателен для

Таблица 4. Требования к ЦА MSI КА Sentinel-2

| Канал | Центр канала (нм) | Ширина канала (нм) | L_{\min} W/m ² /sr/μm | L_{ref} W/m ² /sr/μm | L_{high} W/m ² /sr/μm | L_{\max} W/m ² /sr/μm | SNR @ L_{ref} | SNR @ L_{high} |
|-------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 443 | 20 | 15.97 | 129.11 | n/a | 587.87 | 129 | n/a |
| 2 | 490 | 65 | 11.70 | 128.00 | n/a | 615.48 | 154 | n/a |
| 3 | 560 | 35 | 6.49 | 128.00 | n/a | 559.01 | 168.4 | n/a |
| 4 | 665 | 30 | 3.31 | 108.00 | n/a | 484.13 | 142.1 | n/a |
| 5 | 705 | 15 | 2.61 | 74.60 | n/a | 449.55 | 117 | n/a |
| 6 | 740 | 15 | 2.06 | 68.23 | n/a | 412.92 | 89 | n/a |
| 7 | 775 | 20 | 1.67 | 66.70 | n/a | 387.08 | 105 | n/a |
| 8 | 842 | 115 | 0.95 | 103.00 | n/a | 307.80 | 174.6 | n/a |
| 8a | 865 | 20 | 0.95 | 52.39 | n/a | 307.80 | 72 | n/a |
| 9 | 940 | 20 | 0.51 | 8.77 | n/a | 232.91 | 114 | n/a |
| 10 | 1375 | 20 | 0.00 | 6.00 | n/a | 83.00 | 50 | n/a |
| 11 | 1610 | 90 | 0.40 | 4.00 | 32.00 | 69.78 | 100 | 510 |
| 12 | 2190 | 180 | 0.10 | 1.70 | 11.00 | 24.60 | 100 | 480 |

создания условий максимального прикладного использования исходных данных ДЗЗ.

В структуре требований по всем тематическим направлениям в настоящее время на первый план выходит географический охват, регулярность и периодичность съемки. Вторым по значимости приоритетом является обеспечение качества спектральных характеристик, вплоть до предоставления потребителям доступа к полному архиву съемки в значениях отраженной радиации/яркостной температуры. Требования к пространственному разрешению, а также к наличию панхроматического канала не являются значимыми для большинства респондентов.

Можно отметить, что в понимании тематических пользователей формируются опосредованные требования к характеристикам ЦА и КС ДЗЗ через прямые требования к исходным данным ДЗЗ. Поэтому при создании перспективных КС ДЗЗ со стороны распорядителя бюджетных средств целесообразно проведение регулярных опережающих исследований пользовательских ожиданий и предпочтений для того, чтобы в полной мере согласовать и интегрировать их в технические задания на различные изделия различных предприятий.

Учитывая положительный опыт рассмотрения проектных и перспективных характеристик ЦА и КС ДЗЗ в рамках специализированных рабочих групп с привлечением тематических заказчиков, можно сделать вывод о том, что синтезу различных, зачастую противоположных, функциональных ожиданий способствует проведение всестороннего обсуждения, обеспечивающего механизм обратной связи как от полномочных представителей основных потребителей, так и от разработчиков ЦА и КС ДЗЗ в целом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность всем участникам рабочих групп по оценке технических и потребительских характеристик российской ЦА среднего разрешения за активное участие, ценные предложения и замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисов А.В., Емельянов А.А., Емельянова В.Г.* Матрица целевых задач как информационная основа для определения перспективных направлений развития индустрии дистанционного зондирования Земли // Космонавтика и ракетостроение. 2013. № 4 (73). С. 61–68.
- Борисов А.В., Емельянов А.А., Силин Б.Г.* Модель оценки производительности перспективной космической системы дистанционного зондирования Земли // Космонавтика и ракетостроение. 2015. № 6 (85). С. 92–100.
- Сизов О.С., Кушнырь О.В.* Анализ подходов к систематизации тематических задач, решаемых с помощью данных ДЗЗ // Исследование Земли из космоса. 2018. № 2. С. 77–86.
- Техническое задание // Выполнение составной части опытно-конструкторской работы «Создание космического комплекса гидрометеорологического и океанографического обеспечения и космической системы на его основе в составе 4 космических аппаратов в части создания космических аппаратов «Метеор-М» № 2–3 и № 2–4 и доработки космического комплекса гидрометеорологического обеспечения», шифр СЧ ОКР: «Метеор-3М» (Метеор-М № 2–3, № 2–4)», закупка № 0173100007015000132, дата размещения 20.11.2015 [Электронный ресурс] URL: <http://www.zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ok44/view/documents.html?regNumber=0173100007015000132> (дата обращения: 04.07.2019).
- Analysis of Non-Federal Landsat User Requirements, National Geospatial Advisory Committee, Landsat Advisory Group, June 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/april-2016/landsat-user-requirements-analysis-ngac-june-2016.pdf> (дата обращения: 04.07.2019).
- Irons J.R., Masek J.G.* Requirements for a Landsat Data Continuity Mission//Photogrammetric engineering & remote sensing, October 2006 1102–1108 pp. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2006journal/october/highlight.pdf> (дата обращения: 04.07.2019).
- LDCM Requirements & Specifications. Landsat Science Team Meeting, January 09, 2007 [Электронный ресурс]. URL: https://landsat.usgs.gov/landsat/landsat_science_team/LST-2009-01-files.zip (дата обращения: 04.07.2019).
- Satellite value chain: the snapshot. A Euroconsult Executive Report [Электронный ресурс]. URL: <http://www.euroconsult-ec.com/svc/satellite-value-chain-2014-excerpt.pdf> (дата обращения: 04.07.2019).
- Sentinel-2 Mission Requirements Document (EOP-SM/1163/MR-dr). ESA Sentinel-2 Team. 30/01/2007 [Электронный ресурс]. URL: https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/GMES_Sentinel2_MRD_issue_2.0_update.pdf (дата обращения: 04.07.2019).
- USGS Land Remote Sensing (LRS) Program Tim Newman Department of the Interior October 5, 2016 [Электронный ресурс]. URL: https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/ssbsite/documents/webpage/ssb_174617.pdf (дата обращения: 04.07.2019).
- USGS Land Remote Sensing Program Update Briefing for the National Geospatial Advisory Committee Tim Newman Land Remote Sensing Program Coordinator U.S. Geological Survey April 7, 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/april-2016/landsat-program-update-ngac-apr-2016.pdf> (дата обращения: 04.07.2019).

Evaluation of Functional Expectations of Thematic Consumers from Optical Space Remote Sensing Systems of Medium Resolution

V. A. Selin, A. A. Emelyanov, O. S. Sizov, K. S. Emelyanov, A. V. Borisov

Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems", Moscow

According to the results of direct interaction with various groups of consumers, it was established that the structure of requirements in all thematic areas at the present time comes to the fore geographic coverage, regularity and frequency of shooting. The second priority is to ensure the quality of the spectroradiometric characteristics in the context of their absolute performance and stability in the time series of the entire archive of the survey with the ability to provide data in physical quantities of reflectivity, or spectral brightness of the reflected radiation / brightness temperature. The requirements for spatial resolution within a separately allocated class of data, as well as the presence of a panchromatic channel are not significant for the majority of respondents. In the understanding of thematic users, the mediated requirements for the characteristics of the target remote sensing equipment are formed through direct requirements for the initial remote sensing data. When creating a promising ERS satellite on the part of the state customer, it is advisable to conduct regular advanced studies of user expectations and preferences in order to fully coordinate and integrate them into technical specifications for various products of the space system. In general, for effective generalization of various, often opposite, functional expectations, it is advisable to conduct a comprehensive discussion that provides a feedback mechanism from both authorized representatives of main consumers and developers of target equipment and space remote sensing systems.

Keywords: space remote sensing systems, customer requirements, characteristics of remote sensing data, target application of remote sensing satellite, thematic tasks

REFERENCES

- Borisov A.V., Emel'yanov A.A., Emel'yanova V.G.* Matritsa tselevykh zadach kak informatsionnaya osnova dlya opredeleniya perspektivnykh napravleniy razvitiya industrii dstantsionno-go zondirovaniya Zemli [Matrix of Target Tasks as an Information Basis for the Determination of the Promising Trends of Remote Earth Sensing Industry Development] // *Kosmonavtika i raketostroenie* 2013. № 4 (73). P. 61-68. (in Russian).
- Borisov A.V., Emel'yanov A.A., Silin B.G.* Model' otsenki proizvoditel'nosti perspektivnoy kosmicheskoy sistemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli [A Model for Estimating the Productivity of an Advanced Space System for Earth Remote Observation] // *Kosmonavtika i raketostroenie*. 2015. № 6 (85). P. 92-100. (in Russian).
- Sizov O.S. Kushnyr' O.V.* Analiz podhodov k sistematizatsii tematicheskikh zadach, reshaemykh s pomosh'yu dannykh DZZ [Analysis of approaches to systematization of thematic tasks solved using remote sensing data] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2018. № 2. P. 77-86. (in Russian).
- Tekhnicheskoe zadanie // Vypolnenie sostavnoy chasti opytno-konstruktorskoy raboty «Sozdanie kosmicheskogo kompleksa gidrometeorologicheskogo i okeanograficheskogo obespecheniya i kosmicheskoy sistemy na ego osnove v sostave 4 kosmicheskikh apparatov v chasti sozdaniya kosmicheskikh apparatov «Meteor-M» № 2-3 i № 2-4 I dorabotki kosmicheskogo kompleksa gidrometeorologicheskogo obespecheniya», shifr SCH OKR «Meteor-3M» (Meteor-M № 2-3, № 2-4)», zakupka №0173100007015000132, data razmesheniya 20.11.2015 [Electronic source] URL: <http://www.zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ok44/view/documents.html?regNumber=0173100007015000132> (access date: 04.07.2019). (in Russian).
- Analysis of Non-Federal Landsat User Requirements, National Geospatial Advisory Committee, Land-sat Advisory Group, June 2016 [Electronic source]. URL: <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/april-2016/landsat-user-requirements-analysis-ngac-june-2016.pdf> (access date: 04.07.2019).
- Irons James R., Masek Jeffrey G.* Requirements for a Landsat Data Continuity Mission//Photogrammetric engineering & remote sensing, October 2006 1102-1108 pp. [Electronic source]. URL: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2006journal/october/highlight.pdf> (access date: 04.07.2019).
- LDCM Requirements & Specifications. Landsat Science Team Meeting, January 09, 2007 [Electronic source]. URL: https://landsat.usgs.gov/landsat/landsat_science_team/LST-2009-01-files.zip (access date: 04.07.2019).
- Satellite value chain: the snapshot. A Euroconsult Executive Report [Electronic source]. URL: <http://www.euroconsult-ec.com/svc/satellite-value-chain-2014-excerpt.pdf> (access date: 04.07.2019).
- Sentinel-2 Mission Requirements Document (EOP-SM/1163/MR-dr). ESA Sentinel-2 Team. 30/01/2007 [Electronic source]. URL: https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/GMES_Sentinel2_MRD_issue_2.0_update.pdf (access date: 04.07.2019).
- USGS Land Remote Sensing (LRS) Program Tim Newman Department of the Interior October 5, 2016 [Electronic source]. URL: https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/ssbsite/documents/webpage/ssb_174617.pdf (access date: 04.07.2019).
- USGS Land Remote Sensing Program Update Briefing for the National Geospatial Advisory Committee Tim Newman Land Remote Sensing Program Coordinator U.S. Geological Survey April 7, 2016 [Electronic source]. URL: <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/april-2016/landsat-program-update-ngac-apr-2016.pdf> (access date: 04.07.2019).