Изучение современного состояния зарубежных гиперспектральных космических аппаратов и применения полученных с них данных в рамках мониторинга окружающей среды









Астахова Е.И., Терентьева В.В.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Санкт-Петербург, Россия

2026

Индия

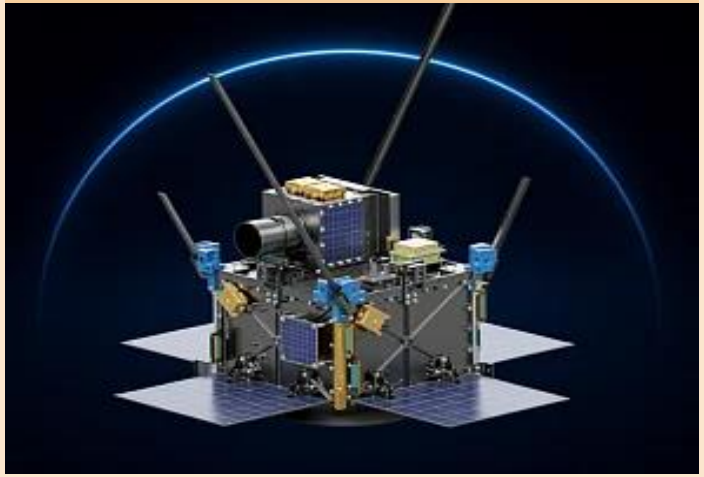
В Индии первый КА **HySIS**, оснащенный гиперспектральной аппаратурой (ГА), был запущен в 2018 году. Он обеспечил получение изображений поверхности Земли в спектральной области VNIR (0,4-0,95 мкм) и SWIR (0,9-2,5 мкм), пространственное разрешение – 30 м. К концу 2027 года индийская компания «Pixxel» планирует увеличение числа спутников в **группировке Firefly** до 18-24
(в январе 2025 года запущены 3 первых КА)



Технические характеристики КА HYSIS

Тип съёмки	**Оптико-электронная**
Режим съёмки	Моно
Количество каналов	55
Набор каналов	VNIR, SWIR
Разрешение на местности MS, м	50
Ширина полосы захвата	30
Точность привязки CE90, м	50
Метод получения стереопары	съемка с двух орбит для создания стереопар
Динамический диапазон, бит/пиксель	12 бит/пиксель

Спутники компании **«Pixxel»** (основана в 2019 году) были созданы для гиперспектрального наблюдения Земли с целью мониторинга сельского хозяйства, энергетики, окружающей среды, горнодобывающей промышленности, а также для оборонных и климатических исследований. Они предоставляют высокодетализированные данные, которые позволяют выявлять проблемы, невидимые для традиционных спутников дистанционного зондирования.

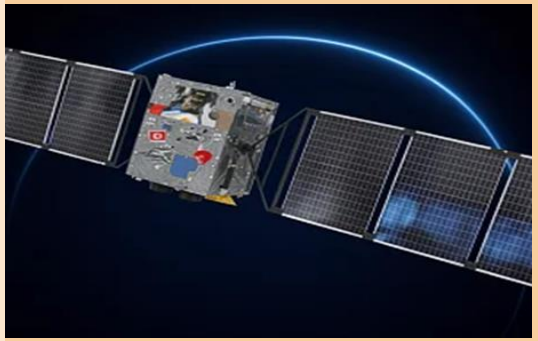


Первый спутник Pixxel, названный «Shakuntala» (TD-2), был запущен 1 апреля 2022 года с помощью ракеты-носителя Falcon 9 компании SpaceX. Второй спутник («Anand») был выведен на орбиту 26 ноября 2022 года с помощью индийской ракеты PSLV-C54. В январе 2025 года Pixxel успешно запустила три спутника своей группировки **Firefly** на ракете Falcon 9 с базы космических сил Ванденберг в Калифорнии. Спутники «Pixxel» работают на солнечно-синхронной орбите на высоте около 550 километров. Они оснащены гиперспектральными сенсорами, способными получать изображения с разрешением 5 метров на пиксель. «Pixxel» функционируют в более чем 250 спектральных диапазонах, охватывающих видимый и ближний инфракрасный спектры. Ключевой особенностью спутников является их способность собирать до 50 раз больше информации по сравнению с традиционными мультиспектральными спутниками. Это позволяет проводить точный анализ сельскохозяйственных культур, выявлять загрязнения, контролировать разливы нефти и мониторить состояние природных ресурсов. Полученные данные используются в аналитической платформе Aurora, разработанной компанией «Pixxel», для поддержки принятия решений.

Китай

В последнее время Китай активно проводит гиперспектральные исследования. 22 декабря 2016 года с помощью КА TanSat были запущены широкополосные гиперспектральные микроспутники **SPARK-01** и **SPARK-02**. Успешно работают **КА FY-3B, FY-3C** с ГА MERSI-1 и **FY-3D, FY-3E** с ГА MERSI-2 (2021 год). 12 сентября 2019 года был осуществлен запуск коммерческого **КА ZY-1 02D**, являющегося преемником **ZY-1 02 C**. В 2022 году Китай вывел на орбиту КА модели «**Gaofen-5 01A**». Он оснащен ГА, данные с которой могут использоваться в экологическом мониторинге атмосферы, разведке минеральных ресурсов, оценке урожайности сельскохозяйственных культур, исследовании климата.

SPARK-01 и **SPARK-02** – были созданы и эксплуатируются Шанхайским центром малых спутников Китайской академии наук на базе платформы WN5000. Спутники оснащены широкодиапазонным гиперспектральным датчиком. Разрешение на местности составляет 50 м, диапазон спектральной чувствительности – от видимого до ближнего инфракрасного излучения (420–1000 нм), а ширина полосы обзора – 100 км. Датчик имеет среднее спектральное разрешение 148 каналов по 5 нм, и один спутник может получать гиперспектральные изображения площади 2,5 млн км^2 в день, обеспечивая глобальный охват каждые 16 дней.



Спутник **ZY-1 02C** (Ziyuan-1 02C) запущен 22 декабря 2011 года Китайским национальным космическим управлением (CNSA) с космодрома Тайюань с помощью ракеты-носителя Long March 4B. Спутник оснащён оптическими сенсорами, обеспечивающими пространственное разрешение до 2,36 метра в панхроматическом режиме и до 10 метров в многоспектральном. Он работает в панхроматическом и четырёх многоспектральных диапазонах, включая красный, зелёный, синий и ближний инфракрасный. Основные особенности включают возможность получения снимков с высокой геометрической точностью, что делает его полезным для топографического картографирования, оценки состояния сельскохозяйственных угодий и мониторинга изменений окружающей среды. Разработчиком спутника является Китайская академия космических технологий (CAST).

ZY-1 02D (Ziyuan-1 02D) – спутник ДЗЗ, аналогичный китайско-бразильскому CBERS 2B / ZY-1 02B, но оснащенный только китайскими приборами. Основная цель – получение панхроматических, мульти- и гиперспектральных изображений высокого разрешения для изучения земельных ресурсов, мониторинга стихийных бедствий, лесного и экологического мониторинга. Спутник оснащен 9-канальной камерой ближнего инфракрасного диапазона и 166-канальной гиперспектральной камерой. Видимая NIR-камера имеет разрешение на местности 5 м и ширину обзора 115 км. Изображение с камеры имеет высокую геометрическую точность и спектральное разрешение, а точность позиционирования изображения составляет более 50 метров. Гиперспектральная камера может одновременно регистрировать данные в 166 каналах, что позволяет получать информацию о составе и других характеристиках объектов на Земле. Спутник обеспечивает скорость передачи данных 900 мегабит в секунду и емкость хранения данных 2Т бит. Система высокоскоростной передачи данных и двухлучевые антенны расширяют возможности нисходящей линии связи и помогают спутникам эффективно и стабильно работать на орбите.



Китай

Gaofen 5-01A представляет собой модифицированную версию спутников Gaofen 5 и 5-02, оснащенных тремя типами полезной нагрузки, включая инфракрасный сканер с шириной полосы обзора 1500 км, коротковолновый инфракрасный гиперспектральный сканер со спектральным разрешением 2,5 нм и дифференциальный абсорбционный гиперспектральный тепловизор - спектрометр для выявления примесей атмосферных газов. Спутник создан на базе платформы SAST-5000B, расчетный срок службы – 8 лет. Инструменты: усовершенствованный гиперспектральный сканер (AHSI), визуальный и инфракрасный мультиспектральный датчик (VIMS), прибор мониторинга парниковых газов (GMI), атмосферный инфракрасный ультраспектральный анализатор (AIUS), инструмент мониторинга окружающей среды (EMI), камера направленной поляризации (DPC). Модифицированная версия Gaofen 5-01A была запущена в эксплуатацию в декабре 2022 года. Технические характеристики: 330 каналов, спектральный диапазон – 0.39-2.513 нм, спектральное разрешение – 4 нм (VNIR) и 8 нм (SWIR), пространственное разрешение – 30 м, ширина полосы съемки – 60 км.





5 августа 2026 года состоялся запуск гиперспектрального КА **Samarkand-2028** в рамках сотрудничества Узбекистана и Китая, ключевой особенностью которого является встроенный модуль искусственного интеллекта. Пространственное разрешение – 3–5 м; ширина полосы захвата – 30–50 км; орбита – солнечно-синхронная (важно для сравнения снимков); срок активного существования – 5–7 лет; разработчик и партнеры: китайская компания StarVision (платформа, бортовые системы), агентство «Узбеккосмос» (координация, целевые алгоритмы и ПО для анализа данных). Корпорация Great Wall Industry Corporation (CGWIC) (Китай) подписала контракт с компанией «Satellogic» (США) на запуск целой серии гиперспектральных КА, более 10 из которых уже находятся в космосе.

Канада

До конца 2026 года канадская компания «Wyvern» планирует запустить гиперспектральный спутник **Dragonette-006** (в 2025 году уже успешно отправлены **Dragonette-004** и **Dragonette-005**).

Dragonette-004 и **Dragonette-005** представляют собой спутники со схожими техническими характеристиками: количество спектральных каналов – до 31 непрерывной полосы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне; диапазон длин волн расширен в синюю область – примерно 445-869 нм; пространственное разрешение – 5,3 метра; ширина полосы захвата – 20 км. Это дает преимущества для прибрежного и батиметрического мониторинга (оценка глубины мелководий), улучшения атмосферной коррекции и анализа компонентов воды (взвешенные частицы, фитопланктон). Такая аппаратура также отлично подходит для точного сельского хозяйства, минералогической разведки, обнаружения лесных пожаров и картографирования.

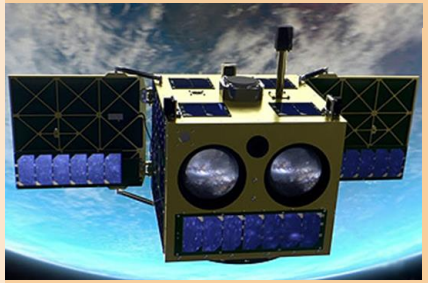


США

Некоторые гиперспектральные КА США, работающие на сегодняшний день: **GHOSt** – группировка из шести идентичных КА американской компании «Orbital Sidekick» (запущены 15 апреля 2023 года); **HyperSat** – серия из шести КА на низкой околоземной орбите американской компании «HyperSat»; **Tanager-1** – КА, разработанный компанией «Planet Technology Corporation».



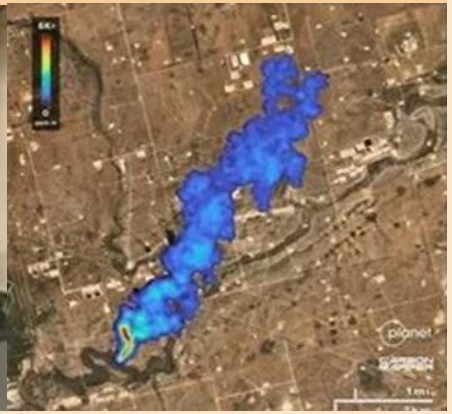
Спутники GHOSt 1-6 были созданы для высокоточного наблюдения Земли, картографирования, мониторинга природных ресурсов, городского планирования, управления земельными угодьями и стратегических оборонных задач. Спутники оснащены оптическими сенсорами сверхвысокого разрешения, обеспечивающими пространственное разрешение до 0,1 метра в панхроматическом режиме и до 0,4 метра в многоспектральном. Они работают в панхроматическом и нескольких многоспектральных диапазонах, включая красный, зелёный, синий и ближний инфракрасный. Основные особенности включают возможность получения снимков с экстремально высокой детализацией, оперативную передачу данных, гибкость в программировании задач наблюдения, а также частое обновление данных, что делает спутники полезными для городского планирования, инфраструктурного мониторинга и аналитики изменений земной поверхности. Разработчиком спутников является американская компания Albedo.



HyperSat – серия из шести гиперспектральных спутников на низкой околоземной орбите американской компании HyperSat. QinetiQ возглавит команду специализированных инженерных и технологических организаций по всей территории США, в которую входят Redwire, Millennium Engineering and Integration, LLC и Brandywine Photonics. Это позволяет с высокой точностью идентифицировать объекты на изображении (больные посевы в пределах урожая; утечка газов из трубопровода). Первый спутник имел 500 спектральных диапазонов в видимом и коротковолновом инфракрасном диапазоне и разрешение 6 м – почти вдвое больше, чем у существующих гиперспектральных спутников ДЗЗ.

Tanager-1 – это первый спутник, созданный в рамках инициативы Carbon Mapper Coalition для мониторинга выбросов парниковых газов, в частности метана и углекислого газа (CO_2), с высокой точностью (вплоть до отдельных промышленных объектов и установок). Характеристики спутника: диапазон длин волн – от 400 до 2500 нанометров; количество спектральных каналов – более 400; высота орбиты – около 522 км; способен сканировать около 130 тысяч квадратных километров земной поверхности в день; запущен 16 августа 2024 года на ракете Falcon 9 в рамках миссии SpaceX Transporter-11 с базы Ванденберг (Калифорния, США). Первые научные данные со спутника были получены 19 сентября 2024 года над городом Карачи (Пакистан), на них был зафиксирован шлейф метана, протянувшийся почти на 4 километра от свалки. Позже были обнаружены шлейфы CO_2 от угольной электростанции в Кендале (ЮАР).





Австралия, Пакистан

Первой запущенной в космос в Австралии гиперспектральной камерой является **CyanoSat** (12 июня 2023 года), размещенная на одном из малых КА компании «Skykraft». ГА, разработанная специалистами Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), обеспечивает пространственное разрешение 50 м при высоте орбиты 600 км.
В конце 2025 года стало известно о запуске первого КА Пакистана **HS-1** с китайского космодрома Цзюцюань.

CyanoSat – гиперспектральная камера (более 30 спектральных каналов), разработанная для мониторинга качества вод из космоса. Ее главная задача – обнаруживать сине-зеленые водоросли(цианобактерии) в прибрежных и внутренних водоемах, что служит ранним индикатором потенциально опасных цветений. Система способна к перепрограммированию прямо на орбите. Встроенные алгоритмы уменьшают объем данных и приоритизируют их передачу на Землю. Команда CSIRO уже работает над версией CyanoSat 2.0 (камера будет иметь более широкое поле зрения).

КА **HS-1** разработан Комиссией по исследованию космического пространства верхних слоев атмосферы Пакистана (SUPARCO). Пространственное разрешение спутника HS-1 составляет около 30 м при высоте орбиты 650-700 км. В его задачи входит мониторинг сельского хозяйства, водных ресурсов, выявление геологических особенностей, поддержка управления чрезвычайными ситуациями, планирование городской инфраструктуры.

Финляндия

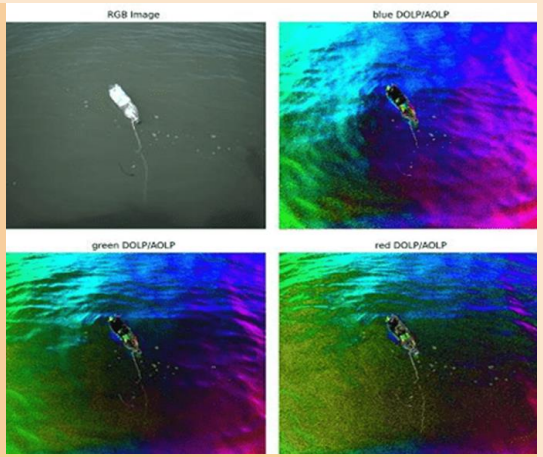
В 2027 году планируется отправка в космос КА второго поколения **Hyperfield-2** (ракета-носитель SpaceX Falcon9) с расширенным спектральным охватом и улучшенным пространственным разрешением.

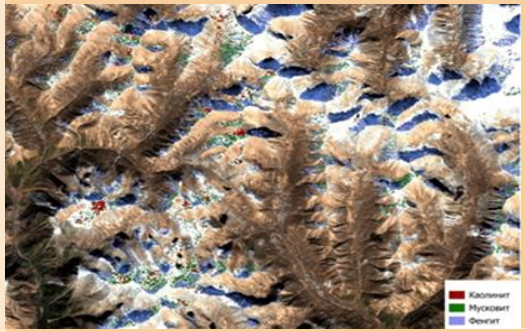
Финская компания «Kuva Space» является единственным в мире поставщиком услуг гиперспектральных данных, присоединившимся к программе Европейской комиссии Copernicus Contributor Missions (CCM), целью которой является предоставление дополнительных данных наблюдения Земли для решения некоторых из наиболее насущных мировых проблем, таких как изменение климата, проверка улавливания углерода и продовольственная безопасность.
Hyperfield-2 – микроспутник (не CubeSat, в отличие от Hyperfield-1) спектрального диапазона от 400 до 1650 нм, пространственное разрешение составляет 15 м (улучшено по сравнению с 25 м у Hyperfield-1), ориентировочный срок службы – 5 лет. В Hyperfield-2 используют усовершенствованную версию технологии, которая применялась в Hyperfield-1. Там был 2D-снэпшотный гиперспектральный имиджер с настраиваемым в полете интерферометром Фабри-Перо. Он работает как перестраиваемый полосовой фильтр: позволяет программно выбирать диапазон длин волн для съемки, чтобы сфокусироваться на интересующих задачах и улучшить качество данных. КА сможет детальнее различать типы поверхностей, определять влажность почвы, выявлять стрессовые состояния растений, отслеживать суда. Бортовой GPU позволит формировать готовые аналитические продукты в течение нескольких минут после съемки – это важно для оперативных задач.



Применение гиперспектральных данных в рамках мониторинга окружающей среды

- **Качество воды.** Помогают выявлять загрязнители: тяжёлые металлы, органические вещества, избыток питательных элементов (например, при цветении водорослей). У каждого загрязнителя есть свой «отпечаток» в спектре — анализируя его, можно определить тип и концентрацию. Также технология позволяет оценивать прозрачность воды, мутность и уровень растворённого кислорода.
- **Состояние растительности.** Разные растения, стадии их развития, стресс или болезни меняют спектральные характеристики (например, положение «красной границы» полосы поглощения хлорофилла). Это позволяет точно рассчитывать индексы здоровья экосистемы, выявлять очаги поражения вредителями (как короедом) или последствия пожаров.
- **Мониторинг почв.** Оценивают влажность, солёность, содержание органических и минеральных веществ. Это полезно для выявления зон эрозии, контроля за рекультивацией земель или поиска утечек из промышленных объектов.





- **Контроль антропогенного воздействия.** Помогают отслеживать последствия добычи полезных ископаемых: выявлять геохимические аномалии, контролировать состояние отвалов, предотвращать незаконную деятельность.
- **Мониторинг атмосферы.** Используют для отслеживания концентраций загрязнителей (диоксид серы, оксиды азота, озон), а также для идентификации типов аэрозолей и оценки распределения парниковых газов (CO_2, CH_4).
- **Геологическое картирование и поиск месторождений.** Спектральные подписи минералов и гидротермальных изменений пород позволяют выделять перспективные участки для разведки.

Преимущества гиперспектральных данных: большее количество спектральных полос, лучшая способность различения объектов, более точный анализ химического состава, более широкая сфера использования. *Недостатки гиперспектральных данных:* высокие требования к вычислительной мощности, дорогостоящее оборудование, ограниченное пространственное разрешение изображений, требуется экспертиза для интерпретации данных.

Выводы

- Рассмотрено современное состояние гиперспектральных космических аппаратов за рубежом, отмечены их основные характеристики.
- Выявлены основные направления использования гиперспектральных данных в настоящее время.

Перспективы развития КА связаны с их возможностями для оценки состояния элементов ландшафта, геологоразведки и даже для контроля выброса парниковых газов, орошения. Это обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования технического оснащения аппаратуры данного вида.