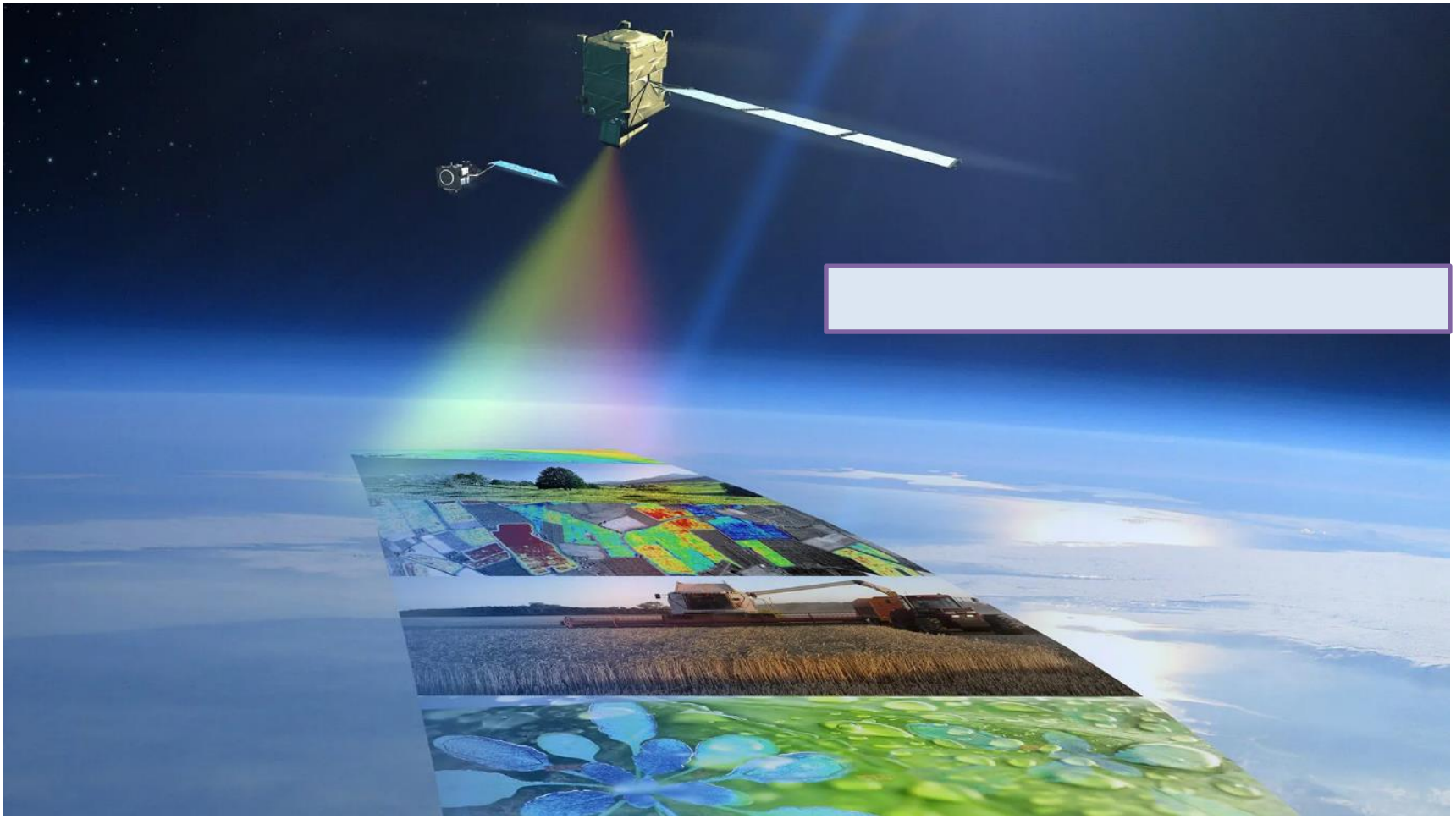
Л4. Гиперспектральная аппаратура космических систем
ДЗ3. Аппаратные комплексы: TERRA/ASTER, AQUA /MODIS, HYPERION, ALI



Лектор Кенесбаева А.

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ

Общие тенденции расширения электромагнитного диапазона в длинноволновую часть до среднего и дальнего ИК области с разбиением их на большое количество интервалов привели к концепции построения гиперспектральных (видеоспектрометрических) систем ДЗЗ.

При этом, особое внимание было сфокусировано на наблюдения в оптическом и ближнем ИК-диапазонах (0.4 – 2 мкм).

Традиционно, здесь широко применялись многоспектральные (мультиспектральные) системы, которые имели 3 – 7 спектральных каналов со спектральным разрешение не более 25 нм.

При переходе к гиперспектральным технологиям дистанционного зондирования число спектральных каналов может достигать 128 – 512 при очень высоком спектральном разрешении (от 0,1 – 10 нм) и достаточно хорошим пространственным разрешением (до нескольких метров), что обеспечит совершенно новый, уникальный качественный характер данных дистанционных наблюдений.

Разрешение – количественные показатели, характеризующие изобразительное качество снимков, их детальность.

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ

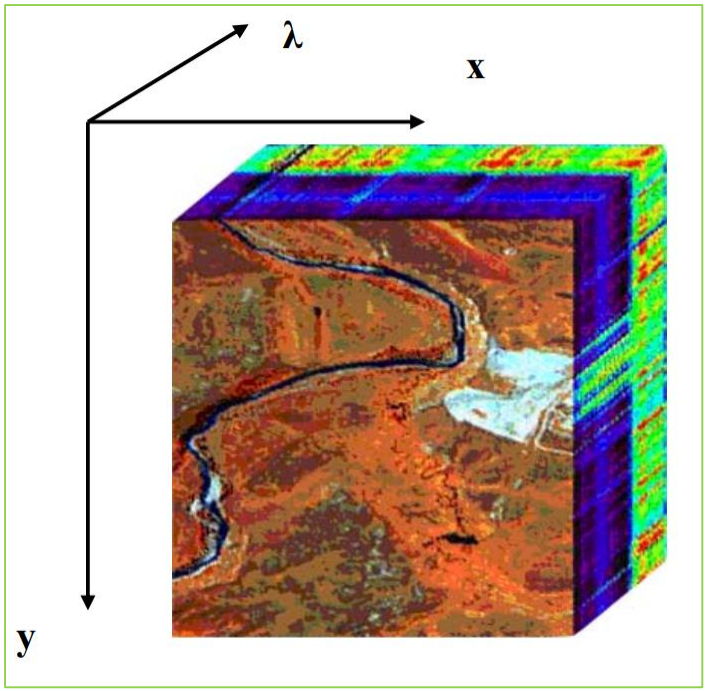
Под пространственным разрешением цифровых снимков понимают размер на местности минимального элемента изображения – пиксела.

- Помимо пространственного, используют и другие виды разрешения.
- *Радиометрическое (яркостное) разрешение* определяется числом уровней яркости, регистрируемых приемником излучения. Используются приемники, регистрирующие 64, 256, 1024 уровней яркости.
- *Спектральное разрешение* определяется шириной спектральных зон съемки при многозональной и гиперспектральной съемке и измеряется в нанометрах или микрометрах. Наиболее низкое спектральное разрешение в сотни нанометров имеют панхроматические снимки, а наиболее высокое, до 10 нанометров – гиперспектральные.
- *Тепловое разрешение* характеризуется величиной разности температур различных объектов, которые удается зарегистрировать тепловым снимком. У лучших снимков оно составляет десятые градуса.
- Иногда понятие разрешение, т.н. *временное разрешение* применяют для характеристики периодичности повторных аэрокосмических съемок, осуществляемых для мониторинга изменяющихся объектов.

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ

Гиперспектральные изображения сходны с мультиспектральными, но отличаются от последних тем, что у съемочной системы количество информационных каналов не ограничивается несколькими спектральными диапазонами.

При формировании гиперспектрального изображения из собранных данных создается «куб данных» или «кубическая модель изображения», которая отображает объекты и спектральную информацию, не доступную для обычных мультиспектральных сканнеров. Схематично это можно представить в виде спектрального куба.

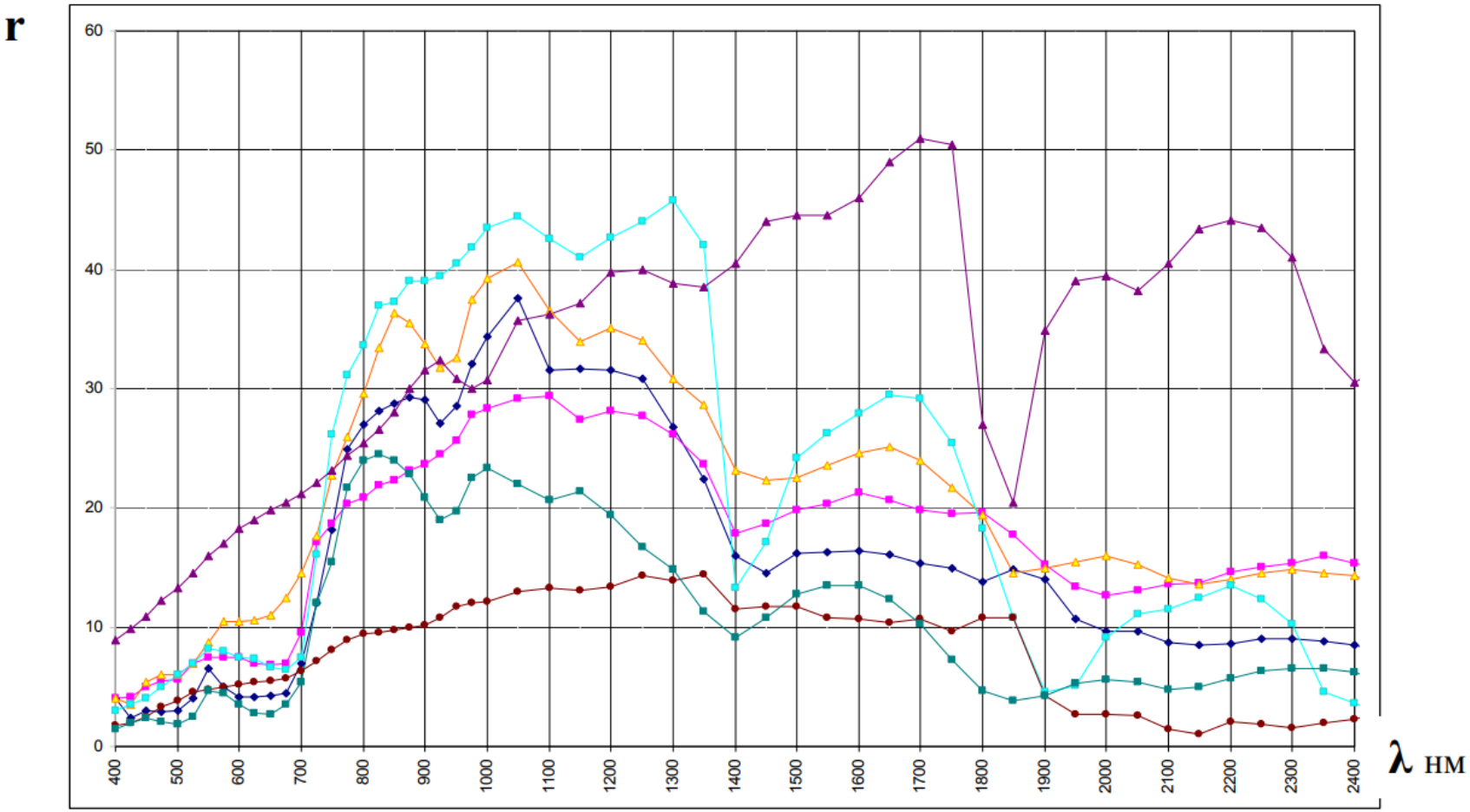


Здесь x, y – пространственные координаты изображения объектов местности, а λi – число спектральных каналов, каждый из которых дает собственное спектральное значение элементам изображения местности.

Кубическая модель гиперспектрального изображения

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ

Основным информационным показателем является спектральная кривая, которая отражает зависимость между длиной волны и отражательной способностью исследуемого типа объекта.



Спектральные сигнатуры 7 объектов ландшафта в 55 каналах, спектральное разрешение 25 нм

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ

По форме спектральной кривой можно различать объекты.
Например, растительность имеет высокую отражательную способность в ближнем инфракрасном диапазоне и низкую отражательную способность в среднем инфракрасном по сравнению с почвами.

На разных спектральных каналах каждый элемент изображения, в зависимости от своей отражательной способности соответствующего элемента ландшафта, оставляет уникальную спектральную сигнатуру, которую также называют кривой спектрального отражения.

Разные материалы распознаются по общей форме спектральной кривой, а также расположению и яркости полос поглощения.
Спектры отражения материалов, чей состав известен, рассчитываются в лабораторных условиях, а затем собираются в библиотеку спектров, что облегчает анализ гиперспектральных снимков.
В открытом доступе находится несколько библиотек, содержащих спектры отражения природных и искусственных материалов. Эти библиотеки дают сведения, облегчающие дешифрирование гипер– и мультиспектральных снимков.

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ

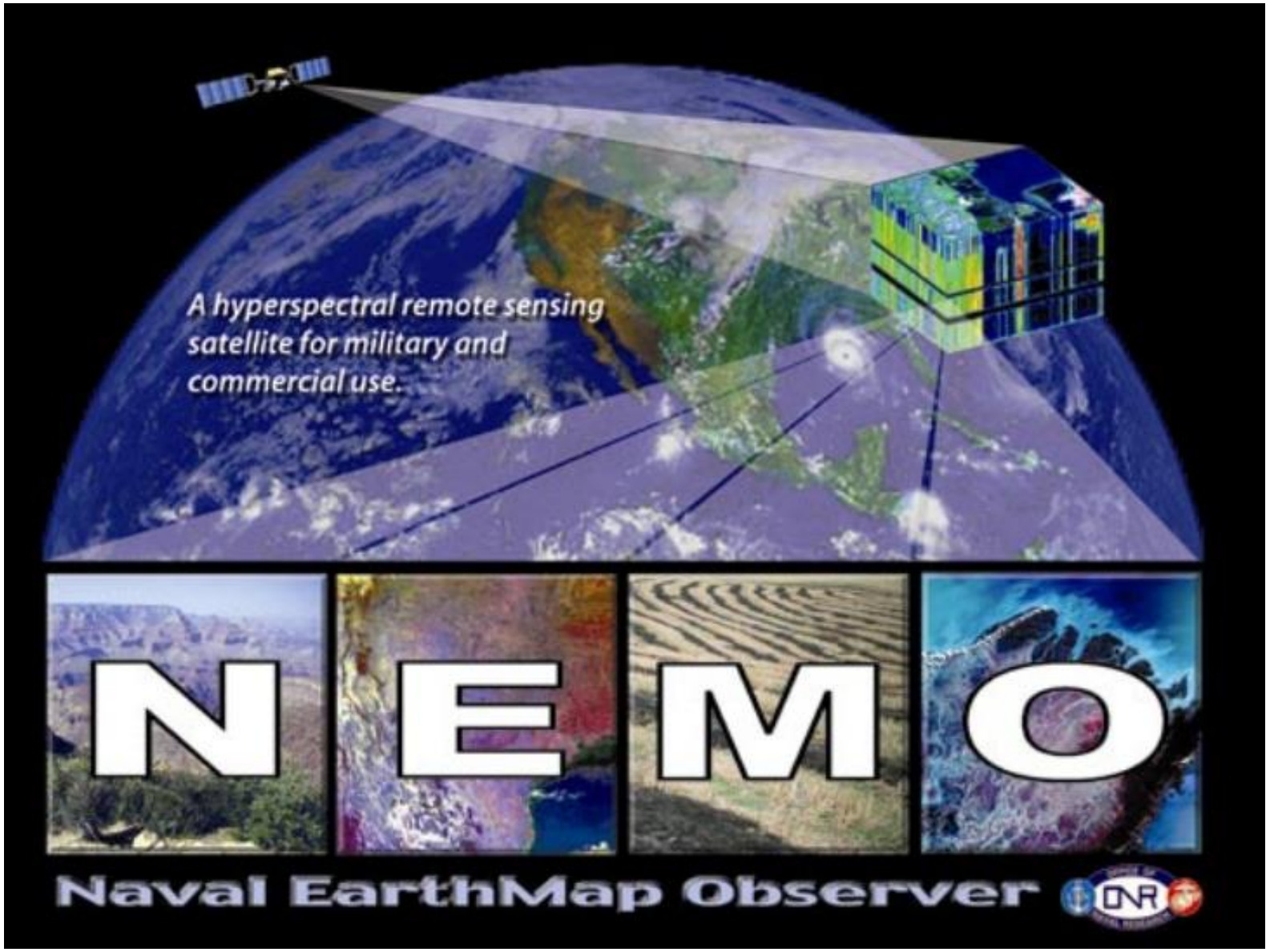
Первый проект гиперспектральной съемки был реализован запуском в 2002 году экспериментального КА EO-1, на борту которого работал гиперспектрометр Hyperion (съемочная система имела 220 каналов в видимой и ИК-области диапазона электромагнитных колебаний (0,4 – 2,5 мкм). Пространственное разрешение снимков прибора – 30 м.

Второй космический гиперспектрометр FTHSI был установлен на борту КА MightySat II. Камера FTHSI работает в диапазоне 0,45 – 1,05 мкм, разделенном на 145 каналов и позволяет получать снимки с пространственным разрешением лучше 30 м. Несмотря на то, что гиперспектральная камера FTHSI была создана по заказу ВВС США, было достигнуто соглашение с фирмой Kesler Corp. на открытие доступа экологических и коммерческих организаций к некоторым изображениям, а также на выполнение ряда заказов на съемку в гражданских целях.

В настоящее время разработан целый ряд видео- или гиперспектрометров высокого спектрального и пространственного разрешения. На околоземных орбитах работают более десятка космических аппаратов, на борту которых имеются гиперспектральные сенсоры.

Надо отметить проект гиперспектрального спутника NEMO – Naval Earth Map Observer, разрабатываемый в интересах Военно-морских сил США, а также для гражданских потребителей на коммерческой основе.

Гиперспектральная аппаратура космических систем ДЗЗ



Проект - Naval Earth Map Observer

NEMO имеет долгосрочную цель - охарактеризовать динамику прибрежной среды посредством использования гиперспектральных изображений (HSI) и разработки связанных физических и биооптических моделей прибрежного океана.

Собранные изображения предоставляют критическую феноменологию для моделирования прибрежной среды.
Конкретные области исследований ВМФ включают прозрачность воды, батиметрию, подводные опасности, течения, нефтяные пятна, тип дна, видимость атмосферы, приливы, потенциал биолюминесценции, характеристики пляжей, водяной пар в атмосфере и невидимые перистые облака, а также наземные изображения растительности и почвы.

Эти данные подтверждают установленные требования к совместному удару и совместной прибрежной войне, в частности, к характеристике окружающей среды прибрежного океана и интеллектуальной подготовке боевого пространства к морскому нападению.

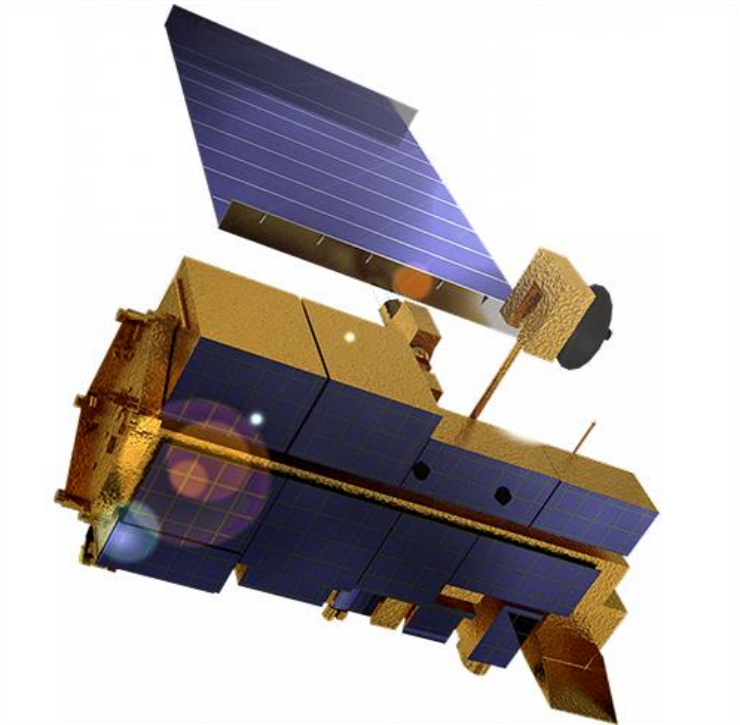
Запуск NEMO планировался в 2000 году, но программа была приостановлена и с тех пор отменена. https://space.skyrocket.de/doc_sdat/nemo.htm

Аппаратный комплекс TERRA/ASTER

Рассмотрим целевую аппаратуру, чьи данные приносят реальный результат при мониторинге природной среды, в частности, слежением за изменчивостью лесного фонда, поиске полезных ископаемых и др.

Космический аппарат TERRA был запущен NASA 18 декабря 1999 года с авиабазы Ванденберг (США).

Аппаратура ДЗЗ спутника TERRA - это пять съемочных систем, предназначенных для одновременного согласованного сбора информации о радиационном балансе Земли, атмосферной циркуляции, взаимодействии суши и океанов, биопродуктивности, свойствах поверхности суши. На его борту функционирует 5 сенсоров: ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT.



TERRA/AQUA

Аппаратный комплекс TERRA/ASTER

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – усовершенствованный термально-оптический радиометр космического базирования). Совместный проект NASA, японского министерства экономики, торговли и промышленности (METI) и японского Центра анализа данных ДЗЗ Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC).

КА выведен на солнечно-синхронную круговую орбиту высотой 705 км с периодом обращения 98,9 мин (периодичность съемки одного участка земли - 16 дней). Расчетный срок пребывания на орбите составляет 6-7 лет.

Собственно комплекс ASTER состоит из трех различных подсистем: VNIR (видимый диапазон и ближний ИК), позволяет получать данные с разрешением до 15 м, SWIR (коротковолновый ИК диапазон) с пространственным разрешением 30 м и TIR (тепловой ИК диапазон) с пространственным разрешением 90 м.
Основным преимуществом является широкий спектральный диапазон и возможность стереосъемки. Сегодня материалы съемок с борта спутника ASTER интенсивно используется, чтобы получить детальные карты температуры поверхности земли, коэффициента излучения, отражательной способности и превышения. Радиометр был построен в Японии для Министерства экономики, торговли и промышлен ности (Ministry of Economy Trade and Industry – METI).

Аппаратный комплекс TERRA/ASTER

Из всех датчиков, установленных на спутнике TERRA, ASTER - единственный радиометр с высоким пространственным разрешением. Он воспринимает излучения в видимом, ближнем, среднем ИК (или тепловом) диапазонах, размер сцены 60х60 км.

В целом, области применения данных дистанционного зондирования, полученных со спутника ASTER направлено на:

- ✓ детальное картографирование и обновление картографического материала масштаба до 1:100 000;
- ✓ создание ЦМР с точностью порядка 25 – 30 м и детальное изучение рельефа и морфологии элементов земной поверхности;
- ✓ исследование глобальных изменений больших территориальных комплексов; мониторинг природных катастроф;
- ✓ геологические, гидрологические, климатологические, почвенные исследования.

Аппаратный комплекс TERRA/ASTER



Изображения земной поверхности, полученные КА TERRA (радиометр ASTER), разрешение 15 м

Аппаратный комплекс TERRA/ASTER



Изображения земной поверхности, полученные КА TERRA (радиометр ASTER), разрешение 15 м

Аппаратный комплекс TERRA/MODIS и AQUA /MODIS

Космический аппарат Aqua был запущен 4 мая 2002 года с авиабазы Ванденберг (США).

Спутник Aqua является частью комплексной программы НАСА EOA (Earth Observing System), направленной на исследование Земли и состоящей из трех специализированных спутников TERRA (EOS-AM1), AQUA (EOS-PM1) (Aqua) и AURA (EOS-AM1), предназначенных для исследования суши, воды и атмосферы соответственно.

Спутник AQUA как и спутник TERRA имеет солнечно-синхронные полярные орбиты (высота – 705 км, период обращения – 99 мин, наклонение – 98,2°. Но спутник EOS-AM, двигаясь по орбите пересекает экватор, с севера на юг в 10.30 по местному времени, а спутник EOS-PM – с юга на север – в 13.30).

Срок службы каждого спутника 5 лет, по его истечении планируются дальнейшие запуски. Вся программа рассчитана на 15 лет.

На борту спутника Aqua установлены шесть научных инструментов, часть из которых предназначена для изучения свойств облачного покрова и определения температуры воды в морях, другая – для определения температуры атмосферы Земли и ее влажности.

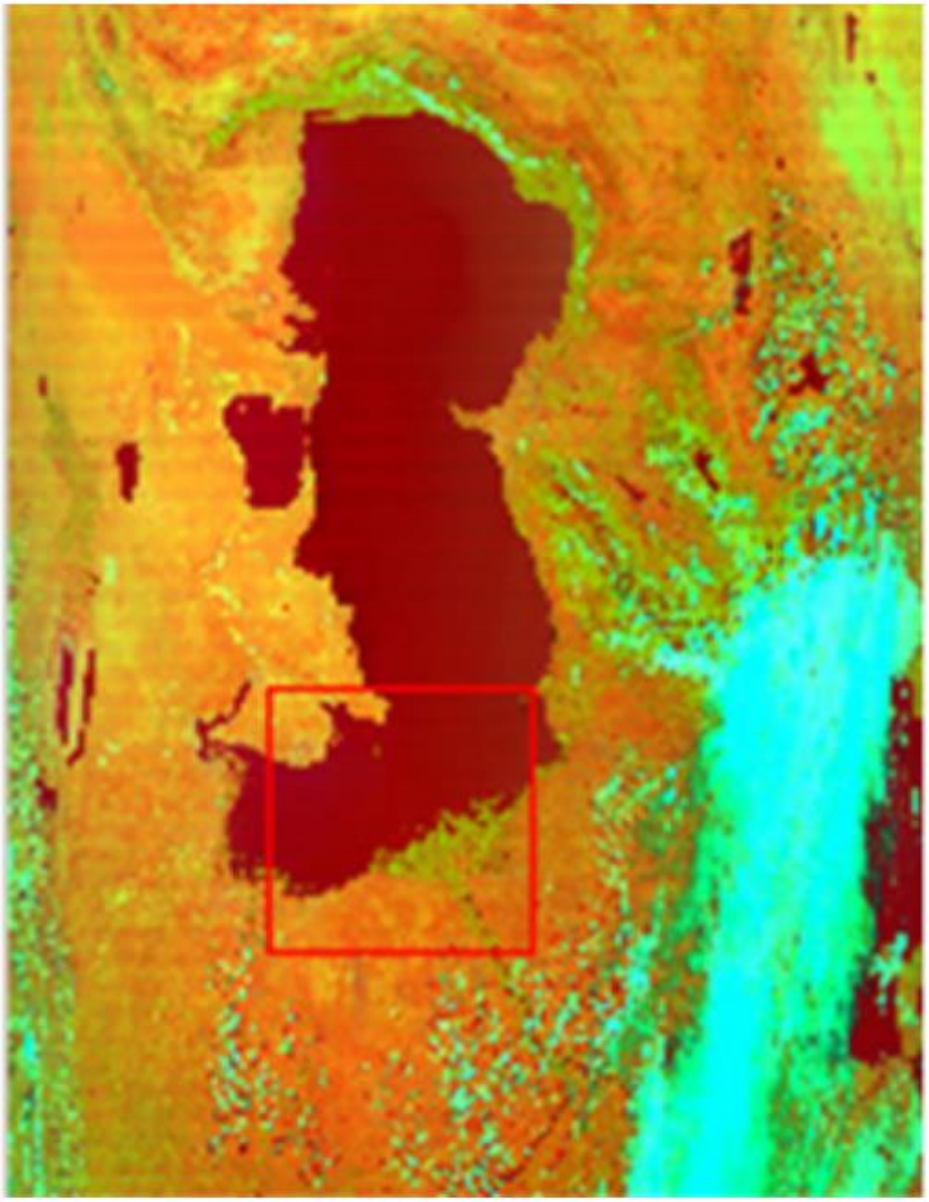
Аппаратный комплекс TERRA/MODIS и AQUA /MODIS

Одним из ключевых инструментов американских спутников серии EOS является спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).
MODIS имеет 36 спектральных каналов с 12-битным радиометрическим разрешением в видимом, ближнем и ИК диапазонах и позволяет производить регулярную съемку одной территории с пространственным разрешением до 250м.

Области применения данных дистанционного зондирования, полученных со спутника Aqua:

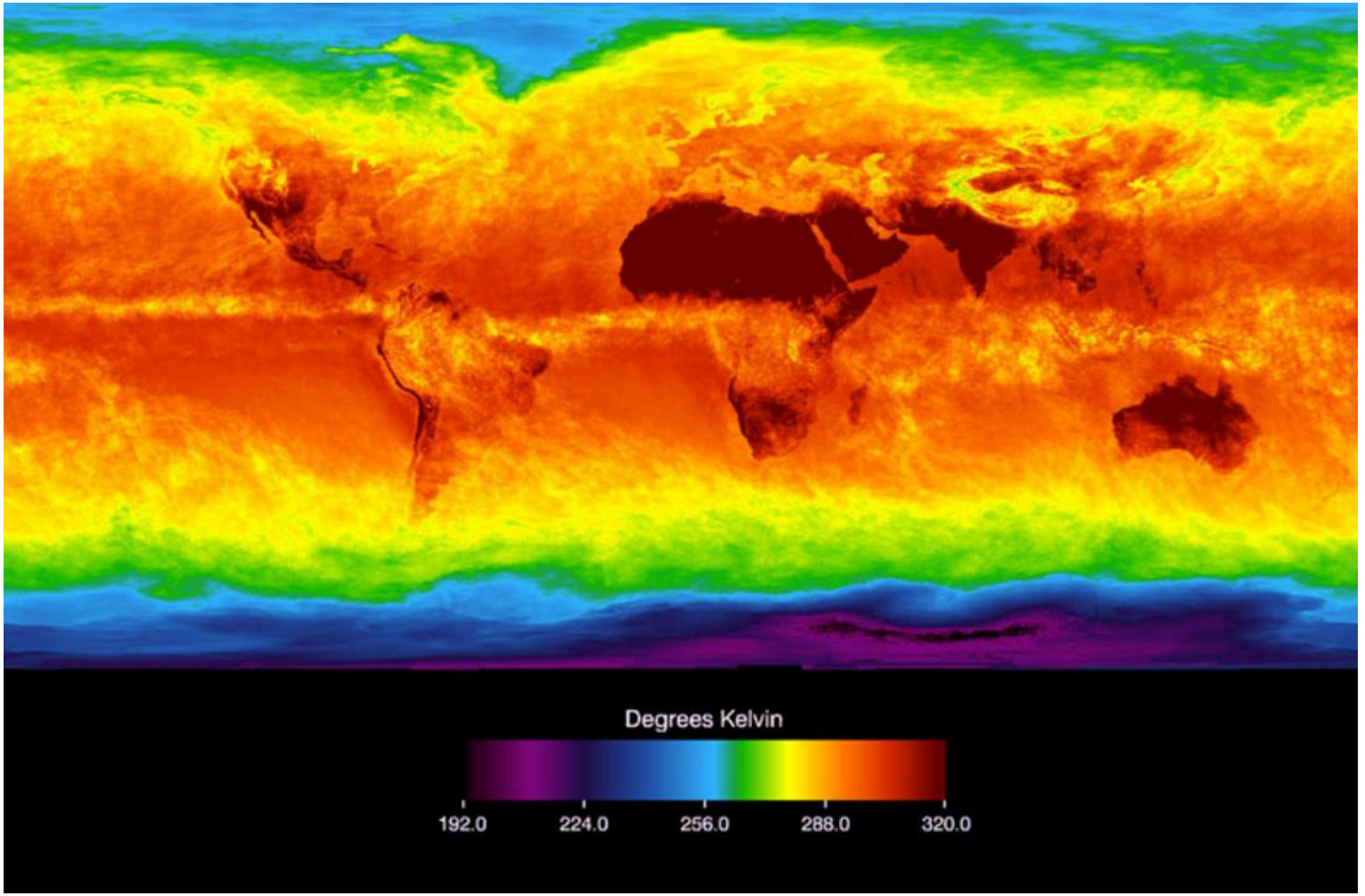
- гидрометеорология, океанография и океанология; экологический мониторинг территории;
- мониторинг снежного и ледового покрова;
- обнаружение лесных пожаров и оценка причиненного ущерба;
- исследования почв и растительности;
- исследования озонового слоя; решение прикладных задач.

Аппаратный комплекс TERRA/MODIS и AQUA /MODIS



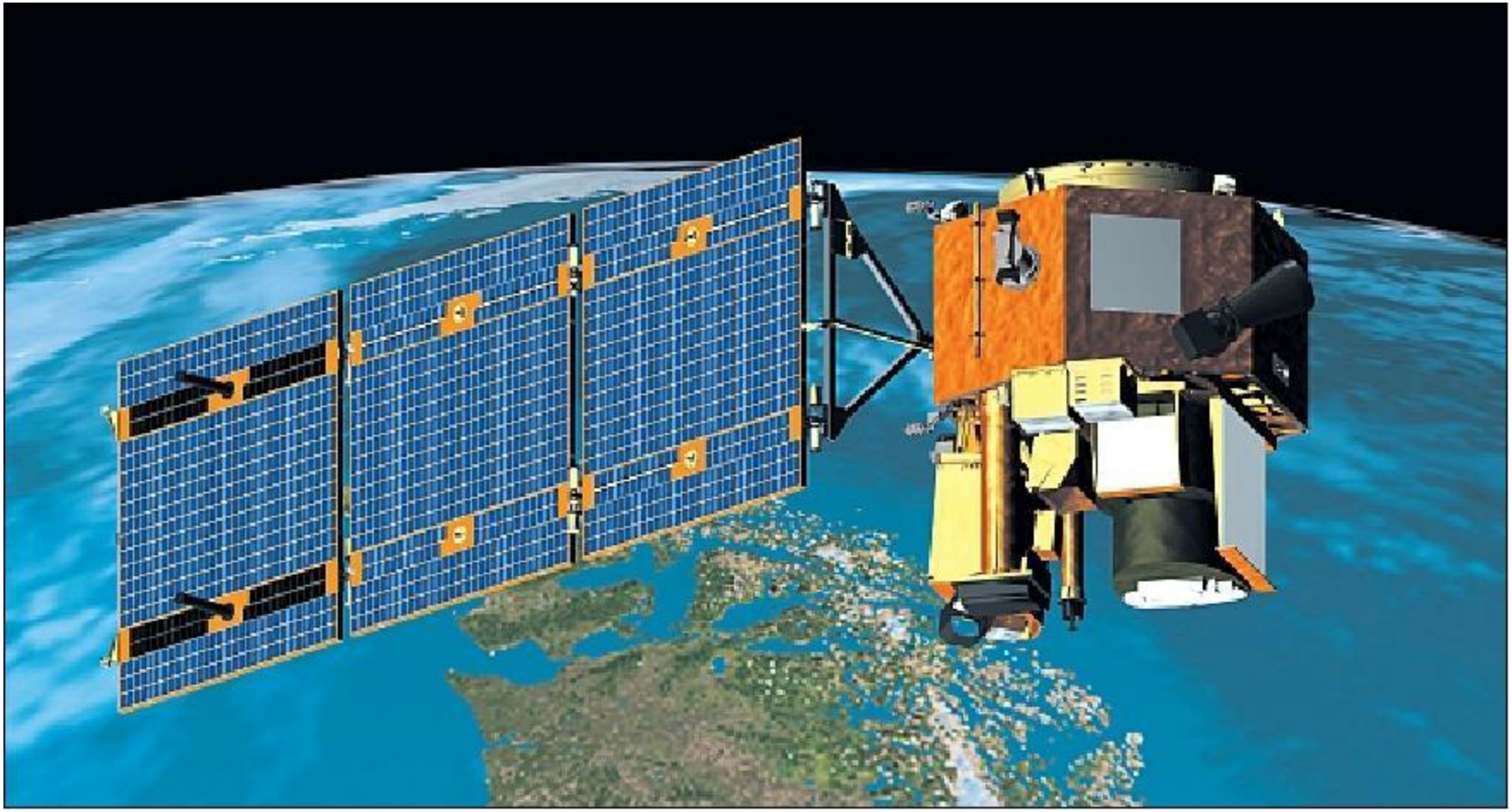
Прибор TERRA/MODIS, гиперспектральное изображение акватории Каспийского моря, разрешение 30 м

Аппаратный комплекс TERRA/MODIS и AQUA /MODIS



Синтезированное изображение земной поверхности,
полученные КА TERRA/MODIS

Аппаратный комплекс ДЗЗ КА EO-1 (HYPERION, ALI)



Аппаратный комплекс ДЗЗ КА EO-1 (HYPERION, ALI

Космический аппарат EO-1 (Earth Observing-1) был запущен 21 ноября 2000 года с авиабазы Ванденберг (США).

Спутник EO-1 стал первым спутником программы «Новое тысячелетие», проводимой NASA.

Основная идея разработки спутника состояла в поиске замены космического аппарата Landsat-7, действующего на орбите начиная с 1999 года.

Спутник EO-1 был выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км (в плоскость орбиты Landsat-7, но с отставанием на одну минуту).

EO-1 несет на своем борту полезную нагрузку в виде приборов ALI, Hyperion и дополнительно – аппаратуру LAC, которая позволяет установить и исключить возмущающее влияние атмосферы.

Гиперспектральный сенсор Hyperion предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 134 до 30 метров в 220 спектральных диапазонах видимой и инфракрасной области.

КА EO-1 со съемочной аппаратурой движется по той же самой орбите, что и Landsat 7, отставая от последнего на 1 минуту, что позволяет проводить сравнительный анализ снимков, полученных этими двумя космическими аппаратами.

Аппаратный комплекс ДЗЗ КА ЕО-1 (HYPERION, ALI

Изначально планировался годовой орбитальный полет спутника, но после успешного завершения этого периода было принято решение о продлении пребывания ЕО-1 на орбите на неопределенный срок.

Гиперспектрометр Hyperion снимает территорию размером 7.5x100 км, фиксируя ее спектральные особенности во всех 220 диапазонах с высокой радиометрической точностью.

Использование нескольких сотен спектральных диапазонов вместо традиционных десяти позволяет детально изучить сложные экосистемы (береговые линии, леса, города, сельскохозяйственные области).

Как показывает опыт, гиперспектральная съемка чрезвычайно эффективна в геологии и горном деле, для оценки и прогноза урожая и т.п.

В состав системы Hyperion а входят оптическая система с телескопом, основой для которой стала аппаратура ЕОС спутника Kompsat и два видовых спектрометра. Кроме того, узел приемников излучения фокальной плоскости с отдельными коротковолновыми и длинноволновыми детекторами (запасной комплект от Lewis) и криохолодильник для охлаждения коротковолновых детекторов, идентичный установленному на КА Lewis.

Аппаратный комплекс ДЗЗ КА EO-1 (HYPERION, ALI

На борту EO-1 впервые была установлена и успешно внедрена аппаратура коррекции изображений, искажаемых поглощением и рассеянием света в атмосфере – главным образом из-за водяного пара. Прибор LAC (Linear Etalon Imaging Spectrometer Array Atmospheric Corrector) разработан Директоратом прикладной техники и технологии Центра Годдарда NASA.

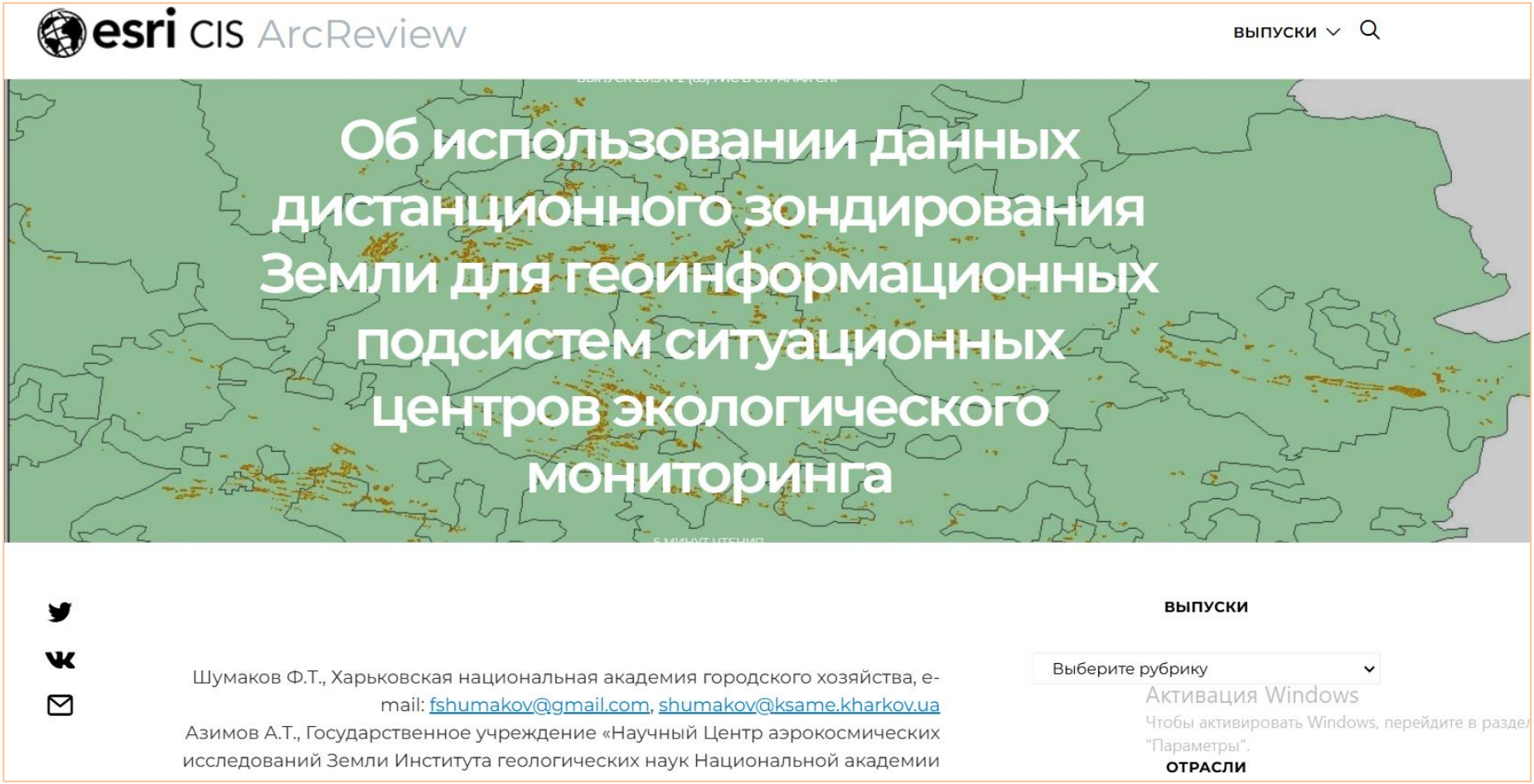
Это так же гиперспектральный инструмент умеренного пространственного разрешения с клиновидным фильтром. Рабочие диапазоны выбраны в пределах 0,85 – 1,5 мкм так, чтобы обеспечивать оптимальную коррекцию снимков с высоким пространственным разрешением.

Коррекция данных осуществляется за счет измерения фактических, а не модельных уровней поглощения.
Ожидается, что работа LAC позволит повысить точность оценки отражающих свойств поверхности. Такая аппаратура может быть установлена на любом научном или коммерческом аппарате ДЗЗ.

Аппаратный комплекс ДЗЗ КА EO-1 (HYPERION, ALI



Сенсор Hyperion. США, штаты Канзас и Оклахома.
Многозональное изображение в естественных цветах (каналы 30,20,10)



- https://arcreview.esri-cis.ru/2013/05/14/ukrainian-situational-centres/

Спасибо за внимание!



Галапагосские острова