

Б.А. Дворкин (Компания «Совзонд»)

В 1974 г. окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». Работал в ПКО «Картография», ООО «Картография Хубер», ГИС-Ассоциации, Научном геоинформационном центре РАН. В настоящее время — аналитик компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

Новый спутник NPP продолжит комплексное наблюдение за Землей

28 октября 2011 г. американское космическое агентство NASA вывело на орбиту спутник дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) нового поколения NPP (NPOESS Preparatory Project).

Космический аппарат планируется использовать для краткосрочного прогнозирования погоды и исследования климатических процессов. Спутник будет собирать данные об энергетическом балансе планеты, температуре, состоянии озонового слоя, загрязнении воздуха, а также наблюдать за ледовым покровом Арктики и Антарктики, растительностью и экстремальными погодными явлениями.

В последние десятилетия американское космическое агентство NASA запустило целую серию спутников, кото-

рые позволяют вести всеобъемлющие наблюдения Земли из космоса. Эти спутники все вместе составляют систему EOS (Earth Observing System). Однако космические аппараты EOS в основном уже выработали свой ресурс, поэтому им на смену готовится новая генерация полярно-орбитальных спутников, которые планируется запустить в рамках программы JPSS (Joint Polar Satellite System; прежнее ее название NPOESS — National Polarorbiting Operational Environmental Satellite System).

Система JPSS начнет в полном объеме разворачиваться в 2015 г.

Двухтонный спутник NPP (рис. 1) служит своеобразным мостиком между программами EOS и JPSS. С высоты орбиты 824 км он проводит съемку поверхности Земли практически в ежедневном режиме.

Данные со спутника NPP передаются на наземный комплекс, расположенный на норвежском архипелаге Шпицберген, а также на корпоративные станции приема в реальном режиме времени. Кроме того, доступ к переданным на Шпицберген данным возможен по сети Интернет.

Спутник оснащен пятью различными инструментами: для измерения температуры, влажности и давления атмосферы ATMS и CrIS; для сбора данных о вертикальном и горизонтальном распространении озона в атмосфере OMPS; для изучения электромагнитного излучения CERES; усовершенствованный аналог популярного сенсора MODIS радиометр VIIRS.

Все инструменты являются усовершенствованными аналогами приборов, установленных на борту спутников Terra, Aqua и Aura.



Рис. 1.
Спутник NPP

ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder)

22-канальный пассивный микроволновый радиометр, предназначенный для создания глобальных моделей температуры и профилей влажности, которые помогут метеорологам в прогнозировании погоды.

CrIS (Cross-track Infrared Sounder)

Инструмент представляет собой интерферометр Майкельсона, который будет отслеживать параметры атмосферы, такие, как влажность и давление, что послужит повышению достоверности краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды.

OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite)

Инструмент совмещает в себе усовершенствованный сенсор, предназначенный для долгосрочного непрерывного накопления данных из космоса о количестве озона.

CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)

3-канальный радиометр CERES, предназначенный для измерения отраженной солнечной радиации, излучения земной поверхности и суммарной радиации, будет осуществлять мониторинг природных и антропогенных воздействий на общее тепловое излучение Земли.

VIIRS (Visible/Infrared Imaging Radiometer Suite)

Особый интерес для съемки земной поверхности представляет сенсор VIIRS. Остановимся подробнее на его описании.

22-х канальный сканирующий радиометр VIIRS проводит съемку Земли в видимом и инфракрасном диапазонах, а также ведет радиометрические измерения земной поверхности, атмосферы, криосферы и океанов. Он расширит и улучшит возможности наблюдений и измерений, которые в настоящее время ведутся с помощью радиометров AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer; установлен на спутнике MetOp-A и других метеоспутниках NOAA) и MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; установлен на спутниках Aqua и Terra).

Данные VIIRS используются для измерения параметров облачности и атмосферных аэрозолей, температуры океанической и земной поверхности, цвета океанов, для наблюдения за движением льдов и их температурой, пожарами и альбедо Земли. Климатологи будут использовать данные VIIRS для улучшения понимания процессов глобального изменения климата. Ширина полосы съемки

VIIRS 3000 км, пространственное разрешение от 400 м в надири до 800 м на краях полосы съемки.

VIIRS и исследование Мирового океана. Радиометрические и высокоточные спутниковые океанические измерения цветовой насыщенности океанов и температуры поверхности воды были впервые проведены спутниками Nimbus-7 (инструмент CZCS – Coastal Zone Color Scanner) и NOAA-7 (инструмент AVHRR), запущенными соответственно в 1978 и 1981 гг. Последующие наблюдения с помощью приборов SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) и MODIS продолжили ряд высокоточных наблюдений за этими и другими параметрами, расширив данные о спектральных характеристиках за счет улучшенной калибровки инструментов и повышения качества алгоритмов обработки данных.

Как и MODIS, VIIRS обеспечивает данными о параметрах океанов, земной поверхности и атмосферы исследовательские и прикладные оперативные работы. Спектральный диапазон VIIRS позволяет получать данные, аналогичные SeaWiFS и SST (Sea Surface Temperature – стандартный продукт MODIS).

Двухдневная повторная съемка – одно из основных требований при наблюдении за экологией океанов и углекислым газом, потому что концентрация морского фитопланктона чрезвычайно изменчива, особенно в прибрежных зонах.

Улучшенное пространственное разрешение VIIRS обеспечивает в два раза больший охват съемкой, чем MODIS и SeaWiFS, что является существенным шагом вперед для исследований прибрежных зон в целом и устьев рек в частности. Радиометр VIIRS имеет также коротковолновый инфракрасный канал, который может использоваться при съемке замутненных вод.

Измерение концентрации пигмента, прозрачности воды, взвешенных частиц и других параметров в прибрежных районах имеет важное значение для решения задач в различных областях, в частности в рыбном хозяйстве, военно-морской сфере. Специальные задачи, которые VIIRS поможет решить, включают оперативный прогноз вредоносного цветения водорослей в Мексиканском заливе, выявление областей с высоким риском гибели кораллов, связанной с температурными колебаниями, оценку влияния климата на рыбные ресурсы, оценку продуктивности и здоровья экосистем в океанических бассейнах и прибрежных зонах.

Кроме того, точные оценки температуры поверхности воды (SST) имеют важное значение для решения многих

задач, таких, например, как предсказание ураганов. Данные SST VIIRS будут использоваться для продолжения десятилетнего ряда глобальных наблюдений, начатых AVHRR, MODIS и другими сенсорами, что крайне важно для исследований изменения климата.

Кроме того, данные SST сенсора VIIRS будут использоваться при моделировании глобальных и региональных океанических процессов, в том числе для прогнозирования течений.

VIIRS и наблюдения за облачностью. Облака покрывают около 70% планеты ежедневно. Они влияют на количество солнечного света, достигающего поверхности, и регулируют количество излучаемой в космическое пространство солнечной и тепловой энергии.

С 1980-х гг. полярно-орбитальные метеорологические спутники ведут непрерывную съемку в различных длинах волн для получения информации об облачности в глобальном масштабе. Они могут определять высоту верхней границы облаков, термодинамическое состояние (водяные или ледяные частицы), делать оценку микрофизических и оптических свойств, которые являются индикатором количества воды или льда в облачном слое.

Данные об облачности, полученные инструментами VIIRS и CrIS, служат для решения большого спектра задач. Например, информация об облачности нужна производителям энергии от солнечных батарей для оптимизации их работы. Информация об облачности все чаще используется для краткосрочного прогнозирования текущей погоды и моделирования климатических процессов, для определения вероятности осадков и неблагоприятных погодных условий.

Поскольку создание таких моделей требует, чтобы продукты были доступны сразу после получения данных, обработка этих данных должна быть оперативной и эффективной. Кроме того, данные об облачности используются для построения климатических моделей, и для этого нужны ряды наблюдений за десятилетия.

Исторически сложилось так, что информацию об облачности поставлял радиометр AVHRR и инфракрасный радар HIRS (High resolution InfraRed Sounder). Спутники NASA Aqua и Terra предоставляют такие данные с помощью сенсора MODIS и радара AIRS (Atmospheric Infrared Sounder). Со временем технология, лежащая в основе этих приборов совершенствовалась, и им на смену пришли VIIRS и CrIS.

VIIRS будет предоставлять информацию об облаках,

аэрозольных частицах и о земной поверхности с пространственным разрешением около 750 м для большинства спектральных каналов. Спектральный диапазон данных VIIRS включает в себя интервал от ультрафиолетовых волн (0,45 мкм) до инфракрасных (12 мкм).

CrIS — гиперспектральный (более 1000 спектральных каналов) сенсор, который предоставит дополнительную информацию об облаках, особенно в полярных районах.

VIIRS и наблюдения за земной поверхностью. VIIRS продолжит наблюдения за земной поверхностью, начатые радиометрами AVHRR и MODIS, существенно улучшив их параметры. Значимость этих систем заключается в постоянной ежедневной съемке Земли на протяжении длительного времени, данные которой используются для описания и мониторинга земной поверхности от регионального до глобального уровня. MODIS обеспечивает новый подход к дистанционному зондированию Земли из космоса с низким пространственным разрешением. Эта тенденция будет продолжена с использованием сенсора VIIRS. Хотя основная задача инструмента VIIRS заключается в удовлетворении потребностей метеорологов, большая часть возможностей MODIS для наблюдения за земной поверхностью сохранена.

Можно выделить четыре основные области использования данных VIIRS:

- энергетический и водный балансы;
- наблюдение за растительным покровом;
- земельные ресурсы и землепользование;
- криосфера.

Наблюдение за энергетическим и водным балансом включает измерение альбедо поверхности, фотосинтетически активной радиации, температуры земной поверхности, суммарного испарения и т. д. Эти данные используются при климатических исследованиях и создании гидрологических моделей.

По данным, получаемым с сенсора VIIRS, будут поставляться продукты для наблюдения за динамикой изменения растительности, в том числе за фенологией, такие, как Vegetation Index (Вегетационный индекс), Leaf Water Content (Содержание воды в листьях) и Leaf Area Index (LAI; Индекс листовой поверхности). Эти продукты используются для создания глобальных моделей динамики растительности, содержания углекислого газа, сельскохозяйственного производства.

Изучение почвенно-растительного покрова обеспечат продукты Land Cover (Почвенно-растительный покров) и Fire (Пожары). Вышеупомянутые продукты также могут использоваться в качестве основного источника данных для климатических моделей, количественной оценки нарушений растительного покрова, моделирования вредных выбросов в результате сгорания биомассы. Для из-

учения крио-сферы предусмотрены продукты Snow (Снег) и Ice (Лед), которые позволяют вести наблюдения за сезонной изменчивостью снежного и ледового (как наземного, так и морского) покровов, а также предоставлять данные для построения гидрологических моделей. Перечень продуктов на базе VIIRS, которые будут доступны пользователям, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень информационных продуктов сенсора VIIRS спутника NPP

Название продукта	Описание	Применение	Размер гранулы (байты)	Размер горизонтальной ячейки (км)	Диапазон измерений
Cloud Mask IP (Маска облачности)	Классифицирует пиксели изображения на: полностью чистый снимок, полностью облачный, возможно чистый, возможно облачный. Бинарная карта облачности включает в качестве подмножества продукта, только те пиксели, которые относятся либо к полностью облачным, либо к полностью чистым	Относит пиксели к классу облачных или чистых снимков, что является основной задачей для всех VIIRS EDRs	14 745 664	6 ± 1 км; бинарная карта 0,8 км (надир)	0 – 1,0 область (размер горизонтальной ячейки); Бинарная карта – облачность нет облачности
Active Fires ARP (Активные очаги возгораний)	Предоставляет данные о широте и долготе пикселей очагов возгорания	Применяется для быстрого реагирования в чрезвычайных ситуациях	2 457 600	От 0,75 км (надир) до 1,6 км (граница)	Широта (северная): 0–90° Долгота (восточная): 0–180°
Albedo (Альбедо)	Коэффициент отраженного от поверхности Земли солнечного излучения (в диапазоне от 0,4 до 4,0) к падающему излучению из атмосферы	Ключевая составляющая энергетического баланса поверхности Земли, необходимая для оценки изменения климата	12 289 311	От 0,75 км (надир) до 1,6 км (граница)	0 – 1,0 единиц измерения Альбедо
Cloud Base Height (Высота нижней границы облачности)	Высота нижней границы облаков над уровнем моря	Продукт применяется в вооруженных силах США для прогнозирования безоблачной погоды и хорошей видимости, а также для определения степени влияния облачности на изменения в климате	1 072 896	6 ± 1 км	0–20 км

Продолжение

Cloud Cover Layers (Слоистость облаков)	Классифицирует пиксели изображения на четыре слоя и определяет тип облачности	Применяется в авиации	1 267 968	6 ± 1 км	Высота (безразмерная величина): - низкая, - средняя, - высокая, - выше границы. Виды (безразмерные величины): - слоистые, - высокие кучевые, - кучевые, - перистые, - перисто-кучевые.
Cloud Effective Particle Size (Эффективный размер частицы)	Отношение третьего момента распределения капель ко второму моменту распределения, усредненное по всему пространству облака	Применяется для моделирования радиационного баланса атмосферы, а также для определения степени влияния облачности на изменения в климате	1 072 896	6 ± 1 км	0–50 мкм
Cloud Optical Thickness (Оптическая толщина облачности)	Величина, которая характеризует ослабление света при прохождении через аэрозоли за счет его поглощения и рассеивания. Определяется как интегрированный коэффициент для вертикального столба с сечением, равным горизонтальным размерам ячейки в узком спектральном канале с центром в заданной длине волны	Применяется вооруженными силами США при прогнозировании безоблачной погоды и хорошей видимости, а также для определения степени влияния облачности на изменения в климате	1 072 896	6 ± 1 км	От 0,1 до 30 (единица измерения т)
Cloud Top Height (Высота верхней границы облачности)	Высота верхней границы облаков всех слоев облачности	Используется вооруженными силами США при прогнозировании безоблачной погоды. Данные о высоте верхней границы облаков поступают из данных о температуре облаков. Высота верхней границы облачности является важным параметром, который используют для объединения облаков в облачный покров	1 072 896	6 ± 1 км	0–20 км

Продолжение

Cloud Top Pressure (Давление в верхней границе облачности)	Данные об атмосферном давлении в верхней границе облаков	Данные необходимы для моделирования радиационного баланса атмосферы, а также для определения влияния облачного покрова на изменения в климате	1 072 896	6 ± 1 км	От 50 до 1050 мб
Cloud Top Temperature (Температура в верхней границе облачности)	Данные о температуре в верхней границе облаков	Используется для моделирования радиационного баланса атмосферы, а также определения влияния облачности на изменения в климате. Температура в верхней границе облачности – это важный параметр, который используют для объединения облаков в облачный покров	1 072 896	6 ± 1 км	От 180 до 310 К
Land Surface Temperature (Температура земной поверхности)	Температура верхнего слоя поверхности Земли	Данные, необходимые для мониторинга зерновых культур, измерения парникового эффекта и обмена энергией между атмосферой и земной поверхностью. Ключевая составляющая радиационного баланса Земли	12 288 032	От 0,75 км (надир) до 1,6 км (граница)	213–343 К
Surface Type (Тип поверхности)	Один из 17 классов Международной программы Geosphere Biosphere Programm (IGBP)	Эти данные необходимы для землеустройства и мониторинга земельных ресурсов, выработки политики, касающейся изменения климата, а также для построения биохимических и гидрологических моделей	12 288 016	1 км	17 отдельных видов. Покрытие: 0–100%
Net Heat Flux (Поверхностный тепловой поток)	Тепловые потоки над поверхностью океанов	Проведение научно-исследовательских работ в области изменения климата, а также оценки потока энергии на границах между атмосферой	694 944	20 км	От -2000 до +2000 Вт/кв.м

		и водой имеют решающее значение в моделировании явления, известного как Эль-Ниньо			
Ocean Color Chlorophyll (Цвет хлорофилла в океане)	Цвет океана определяется как спектр нормированной яркости воды. Эти данные необходимы в геофизике, для определения содержания пигмента хлорофилла в фитопланктоне, также они используются для определения оптических свойств поглощения и рассеяния поверхностных вод	Определение роли океана в мировом углеродном цикле и различных биогеохимических циклах. Получение данных на весь мир об оптических свойствах морской поверхности, особое внимание уделяется фронтальным зонам и водоворотам, данные позволяют также выявлять потенциальные биолюминесценции в различных областях океана	174 489 644	1,6 км	Цвет океана: 0,1–40 Вт/м ² Оптическое поглощение: 0,01–10 м Оптическое рассеивание: 0,01–50 м Содержание хлорофилла: 0,05–50 мг/м ³
Suspended Matter (Взвеси)	Данные о содержании взвешенных веществ, таких как пыль, песок, вулканический пепел, оксид серы или дым, получаемые на любой высоте	Предоставляет информацию, помогающую улучшить систему по выявлению опасных взвесей для населения (вулканический пепел, дым и т.д.), а также информацию о снижении риска при военных операциях и угрозах человеческой жизни	14 742 979	1,6 км	Определение: ячейки атмосферы, в которых содержатся взвешенные вещества Виды: пыль, песок, вулканический пепел, морская соль, дым, Содержание оксида серы в дыме 0–1000 микрограмм/м ³
Vegetation Index (Вегетационный индекс)	Нормализованный вегетационный индекс (без учета влияния атмосферы) напрямую зависит от поглощения фотосинтетически активной радиации, но также коррелирует с биомассой или первичной продуктивностью. Этот продукт содержит в том числе улучшенный вегетационный индекс (с учетом влияния	Применяется в исследованиях по пространственному и временному изменению растительного покрова. NDVI обеспечивает связь с предыдущим сенсором AVHRR, в свою очередь TOC EVI обеспечивает	68 812 870	От 0,375 км (надир) до 0,8 км (граница)	Элементы NDVI: от –1 до +1 EVI

Продолжение

	атмосферы)	связь со спектро- радиометром MODIS. Осуществляется под- держка глобальной базы данных вегета- ционных индексов			
Aerosol Particle Size (Оптическая толщина аэро- золей)	Величина, которая характе- ризует ослабление света при прохождении через аэрозоли за счет его поглощения и рассеивания. Определяется как интегрированный коэф- фициент для вертикального столба с сечением, равным горизонтальным размерам ячейки в узком спектральном канале с центром в заданной длине волны	Оптическая толщина аэрозолей – инди- катор количества прямого радиаци- онного воздействия аэрозолей на климат, применяется для радиационных моделей, а также может быть исполь- зована в военных целях. Необходи- мый материал для работы с алгорит- мами атмосферной коррекции	1 152 048	От 6 км (надир) до 12,8 км (граница)	От 0,0 до 2,0 (единицы из- мерения т)
Aerosol Particle Size (Размер аэрозольных частиц)	Размер аэрозольной частицы рассчитывается по формуле Ангстрема для определенной длины волны: $\alpha = -(\ln t(\lambda_1) - \ln t(\lambda_2)) / (\ln \lambda_1 - \ln \lambda_2)$	Индикатор количе- ства прямого радиа- ционного воздей- ствия аэрозолей на климат, применяется в радиационных мо- делях, в том числе в военных целях, для ввода необходимой информации в алго- ритмы атмосферной коррекции	1 152 048	От 6 км (надир) до 12,8 км (граница)	-1 до +3 (единицы из- мерения а)
Ice Surface Temperature (Температура поверхности льдов)	Температура поверхности верхнего слоя льда	Данные за опреде- ленный временной период могут быть использованы для оценки парникового эффекта и из- менений климата в полярных широтах	12 288 032	От 0,8 км (надир) до 1,6 км (граница)	213–275 K
Imagery (Космические снимки)	Двумерный массив локально усредненных абсолютных значений яркости на верхней границе атмосферы в на- правлении обзора сенсора и соответствующий ему массив эквивалентной температуры абсолютного черного тела, если спектральные каналы фиксируют излучение или массив коэффициентов от-	Данные, необходи- мые для ручного или полуавтоматизиро- ванного создания приложения для по- лучения следующих продуктов: облачный покров, тип облач- ности, местополо- жение кромки льда и его мощность.	NCC (DNB): 9 643 * 148 M - диа- пазон: 12 857 520 I - диапа- зон: 63 543 707	Диапазон снимков: от < 0,4 км (надир) до < 0,8 км (граница) DNB: 0,82 км	DNB (Day & Night): 3x10-5- 176 W/(m2sr) I1 Band (Day Only): 5,0 -707 W/(m2sr) I2 Band (Day Only): 12,4 -345 W/(m2sr)

Продолжение

	ражения на верхней границе атмосферы, или если спектральные каналы фиксируют отражение в течение дневного времени суток	Продукт используется, в том числе в военных целях			I3 Band (Day Only): 1,5 (TBD) -68 W/(m2sr) I4 Band (Day & Night): 210(TBD) -498 K15 Band (Day & Night): 190(TBD) -459 K
Sea Ice Characterization (Характеристика морского льда)	Временные данные, полученные с момента формирования льда на морской поверхности	Данные, представляющие информацию о протяженности полярного льда, служат ценным индикатором глобального изменения климата. Точная модель общей циркуляции в полярных регионах зависит от правильного разграничения многолетнего и вновь образовавшегося льда. Продукт применяется в коммерческих и военных целях на территорию полярных регионов	19 660 800	2,4 км	– Безо льда; – Молодой лед; – Любой другой лед;
Snow Cover Depth (Глубина снежного покрова)	Горизонтальное и вертикальное измерение снежного покрова, получаемая бинарная карта определяет наличие снежного покрова или его отсутствие	Применяется для вычисления радиационного баланса Земли	Карта: 39 321 604 Часть: 14 745 622	От 0,8 км (надир) до 1,6 км (граница) (чистое небо)	0 – 100%
Sea Surface Temperature (Температура морской поверхности)	Измерение температуры поверхности граничных слоев, а также объема воды океана больше 1 м ³	Продукт применяется для прогнозирования погодных условий и исследований в области климатических изменений	19 660 848	От 0,75 км (надир) до 1,3 км (граница)	271–313 K

Оценивая планируемые оперативные продукты наблюдения за земной поверхностью, которые будут создаваться на базе данных VIIRS (Environmental Data Records), разработчики предполагают, что для научных исследований понадобятся новые и усовершенствованные продукты. Для этого обобщается опыт использования данных MODIS.

Данные VIIRS будут дополнять данные MODIS, касаю-

щиеся мониторинга пожаров и качества воздуха, сельскохозяйственного мониторинга, создания моделей содержания углекислого газа, наводнений, картографирования морских льдов.

При подготовке статьи использованы материалы веб-сайтов NASA (jointmission.gsfc.nasa.gov), NOAA и др. (www.nesdis.noaa.gov/jpss).