

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СПУТНИКОВ NOAA

Пашенко Р.Э., Марюшко М.В., Коблюк Н.С.

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", г. Харьков, Украина, e-mail: rus.paschenko@yandex.ua,
max.maryshko@gmail.com, nataly.koblyuk@gmail.com*

Разработанная информационная технология (ИТ) предназначена для приема, предварительной обработки и оперативного анализа космических снимков NOAA заданной территории (например, территории Белоруссии или Украины). Станция приема расположена в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт" (станция приема ХАИ). Данная технология реализована на базе аппаратно-программного комплекса, который позволяет решать следующие задачи:

прием в реальном масштабе времени и запись на дисковый накопитель информации, получаемой со спутников NOAA;

осуществление предварительной обработки данных для определения участков подстилающей поверхности, над которыми отсутствует облачный покров;

подготовка и предоставление потребителям данных, которые могут использоваться для формирования фонда космических снимков высокого разрешения, при их заказе в сети Internet. При этом потребитель может заказывать снимки с учетом наличия или отсутствия над заданной территорией облачного покрова;

ведение долговременного архива космических снимков NOAA и его каталогизация.

Структурно ИТ состоит из следующих компонент:

аппаратное обеспечение приема информации со спутников NOAA;

программное обеспечение приема исходной информации и подготовки ее к визуализации;

программное обеспечение предварительной обработки и визуализации ее результатов.

На выходе ИТ формируется визуальное представление результатов обработки космических снимков NOAA и эта информация передается потребителям. Также могут формироваться данные о наличии или отсутствии над заданной территорией облачного покрова (название района и процент территории, покрытой облаками).

1. Основные компоненты информационной технологии

Аппаратные средства ИТ позволяют осуществлять прием и обработку данных, получаемых с радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), установленного на борту спутников NOAA-18, -19 [1, 2]. Информация с борта спутников NOAA непрерывно передается на наземные приемные станции в диапазоне 1700 МГц в режиме прямого вещания. При этом во время сеанса передачи данные приемная аппаратура непрерывно формирует изображение полосы земной поверхности шириной около 2800 км с пространственным разрешением 1,1 км в двух спектральных диапазонах: видимом (в дневное время суток) или среднем инфракрасном (ИК) (ночью) и тепловом ИК (круглосуточно). Открытость информации о параметрах системы и отсутствии ограничений на прием передаваемых данных позволяют любой организации вести прием и сбор этих данных при наличии соответствующих аппаратных средств.

Оборудование спутников NOAA позволяет получать изображения пяти спектральных каналов [2]: 1 канал – 0,58 – 0,68 мкм; 2 – 0,725 – 1,1 мкм; 3 – 1,58 – 1,640 мкм (3,55 – 3,93 мкм); 4 – 10,3 – 11,3 мкм; 5 – 11,5 – 12,5 мкм. Это позволяет с высоким качеством решать задачи мониторинга атмосферы и погодных явлений, однако не всегда обеспечивают решение задач дистанционного зондирования Земли. Как правило, данные 1-го канала используются для исследования дневной облачности и решения картографических задач, 2-го –

для определения границ вода-земля, 3-го – для мониторинга снежной обстановки и обнаружения льда, 4-ый – для исследования ночной облачности и температуры морской поверхности, 5-ый – для определения температуры морской поверхности.

Повторяемость приема космических снимков близких территорий составляет 3 – 4 раза в сутки для одного спутника. На ноябрь 2018 года на орбите находятся два спутника NOAA, работающих в режиме HRPT: NOAA-18 – рабочая частота $f = 1707,0$ МГц; NOAA-19 – рабочая частота $f = 1698,0$ МГц. Также в ноябре 2017 года был запущен спутник нового поколения NOAA-20, который передает информацию на наземные станции на рабочей частоте 7812 МГц в режиме HRD (High Rate Data) [3]. В настоящее время станция приема ХАИ обеспечивает получение данных только со спутников NOAA-18 и NOAA-19 в режиме HRPT.

На рис. 1 показаны элементы станции приема ХАИ, расположенные в лаборатории: генератор (декодер) RIG-65 (слева); приемник HRPT 137 (в центре); блок дистанционного управления поворотным устройством G-5500 (справа); персональный компьютер (ПЭВМ). Станция приема ХАИ также содержит: однозеркальную параболическую антенну с конвертером (“тарелка”); поворотное устройство G-5500; понижающий преобразователь частоты с 1700 МГц до 137 МГц. Эти элементы расположены на крыше учебного корпуса.



Рисунок 1 – Станция приема космических снимков со спутников NOAA

Станция приема следующим образом. Параболическая антенна настраивается в ручном режиме (наводится по азимуту и углу места) с помощью поворотного устройства G-5500 с дистанционным управлением на действующий спутник NOAA, находящийся в данный момент времени в зоне радиовидимости станции приема. Принятый со спутника сигнал поступает на конвертер, который находится в фокусе антенны и обеспечивает его предварительное усиление. Затем сигнал поступает на вход понижающего преобразователя частоты, в котором она понижается с 1700 МГц до 137 МГц. В приемнике HRPT 137 осуществляется усиление и преобразование радиосигнала в звуковые тона (аналоговые величины напряжений). Генератор RIG-65 преобразует звуковые тона в цифровые данные необходимого формата. Эти данные передаются на линейный вход звуковой карты ПЭВМ. Программное обеспечение осуществляет преобразование этих данных в цифровое изображение. Далее изображение записывается на жесткий диск ПЭВМ для последующей обработки и анализа.

Программное обеспечение приема исходной информации и подготовки ее к визуализации содержит две специализированные программы:

программа WXtrack [4] предназначена для расчета расписания прохождения спутников через зону видимости станции приема с использованием орбитальных элементов спутников, которые периодически обновляются в сети Internet. Кроме того, программа обеспечивает контроль характеристик действующих спутников;

программа WXSat [5] предназначена для записи информации со спутников NOAA в форматах HRPT, HRI, Raw с последующим сохранением ее в файле типа *.dat, а также для предварительного просмотра записанных изображений.

Программное обеспечение программы предварительной обработки и визуализации ее результатов содержит одну специализированную программу – HRPT Reader [6], которая предназначена для загрузки снимков со спутников NOAA (файлов типа *.dat) для последующей их обработки и анализа.

Таким образом, программное обеспечение позволяет настраивать параметры приема и получать первичную информацию со спутников NOAA, а также осуществлять анализ полученных изображений для решения тематических задач. Кроме того, программное обеспечение позволяет проводить архивацию космических снимков и их каталогизацию.

2. Технологический процесс получения и обработки космических снимков NOAA

В начале сеанса приема снимков оператор включает станцию приема. В первую очередь включается ПЭВМ для обеспечения работы линейного входа звуковой карты ПЭВМ. Затем поочередно подается напряжение (включается соответствующий тумблер) на: пульт дистанционного управления поворотным устройством G-5500 (клавиша POWER в положение ON); приемник HRPT 137 (тумблер (ON, OFF) в положение ON); генератор RIG-65 (красная клавиша включения и выключения).

С помощью программы WXtrack оператор создает и изучает график прохождения спутников через зону действия станции приема. График создается на сутки в порядке времени прохождения спутников. Для каждого спутника указывается месяц, день, час, минута, секунда, долгота входа в зону действия станции, длительность пребывания в зоне действия станции (в секундах) и название спутника. Далее оператор выбирает спутник, например, NOAA-19, с которого будет приниматься информация. При этом в нижней части интерфейса программы WXtrack оператор анализирует информацию о расположении выбранного спутника: азимут (Az), угол места (El), долгота (Lon), широта (Lat), дальность от станции приема (Range) и высота над уровнем моря (Alt) в данный момент времени. Кроме того, в нижней части интерфейса программы WXtrack оператор может проанализировать информацию о длительности съемки, максимальном отклонении угла места выбранного спутника, а также о начале, конце и угле места следующего сеанса с этим спутником.

На основании проанализированной информации оператор наводит антенну по азимуту и углу места на точку входа спутника в зону радиовидимости станции приема. Для поворота антенны по азимуту оператору необходимо нажать клавишу LEFT, или клавишу RIGHT на пульте дистанционного управления, а для поворота по углу места оператору – клавишу UP, или клавишу DOWN.

Так как каждый спутник передает информацию на конкретной частоте, то оператор должен на передней панели приемника HRPT 137 с помощью ручки CHANNEL выбрать один из пяти частотных каналов (1, 2, 3, 4, 5), например, для спутника NOAA-19 это второй частотный канал (2). Кроме того, оператору необходимо выбрать формат сигнала, который обрабатывается PDUS или HRPT с помощью тумблера (PDUS, HRPT).

После контроля готовности аппаратуры к сеансу, оператор запускает программу WXSat., с помощью которой осуществляется запись информации. Вход спутника в зону радиовидимости станции приема оператор контролирует на фоне карты интерфейса программы WXtrack. При этом, когда точка расположения станции приема (крест) попадает во внутрь сплошной линии синего цвета вокруг отметки спутника начинается сеанс приема информации. Если сигнал со спутника начинает поступать на станцию приема, то на передней панели генератора RIG-65 индикатор Sync изменяет красный цвет на зеленый, что свидетельствует о появлении синхронизации со спутником, а индикатор Err перестает гореть, что указывает на отсутствие ошибки принятия информации. После установления устойчивой связи со спутником оператор нажимает кнопку Start в окне Record HRPT программы WXSat, и запись информации начинается.

Во время записи информации оператор контролирует на передней панели приемника HRPT 137 уровень сигнала на индикаторе Signal, качество согласования на индикаторе Tune, а также цвет индикаторов Sync и Err на передней панели генератора RIG-65. Если уровень сигнала будет малым или согласование не качественным, то возможно искажение изображения (поперечные полосы). Отсутствие синхронизации или наличие ошибки принятия информации также приводит к искажениям (отсутствию) изображения, которое принимается.

Выход спутника из зоны радиовидимости станции приема оператор контролирует на фоне карты интерфейса программы WXtrack.

После окончания приема снимка NOAA начинается технологический процесс его обработки и анализа с использованием программ WXSat и HRPT Reader. На первом этапе проводится оценка качества записанного изображения. Для этого целесообразно использовать программу WXSat, с помощью которой и было записано изображение. При этом оператор, выбрав вкладку Open, загружает на экран монитора записанное изображение. С помощью вкладки Channel оператор проводит оценку качества записанного изображения в пяти каналах приема. Возможность пересмотра изображений в разных каналах позволяет оператору выбрать наиболее информативный снимок для проведения последующего анализа. Для анализа мелких элементов изображения оператор выбирает вкладку Zoom и осуществляет равномерное увеличение масштаба снимка (вкладка In (i)).

На втором этапе осуществляется решение тематических задач. При этом большие возможности, чем программа WXSat, предоставляет программа HRPT Reader. При этом, последовательно выбрав вкладки File и Open данной программы, оператор загружает записанное изображение на экран монитора. Предварительный анализ информативности изображения оператор проводит, выбрав вкладку All. В результате чего на экране монитора отображается пять полос изображения пяти спектральных каналов. С помощью вкладок Ch1 – Ch5 оператор также может просмотреть все снимки пяти спектральных каналов.

Для изменения масштаба изображения оператор на панели Zoom может выбирать одну из трех отметок: Full, 1:1 или 2:1. Особенности на изображении, также можно обнаружить, если анализировать изображение с синтезированными цветами, которое открывается при выборе вкладки False colour. В программе также предусмотрен ряд инструментов для улучшения качества изображения. Например, на панели Bright adjust можно растянуть диапазон яркости, обозначив Stretch, а также провести эквализацию гистограммы яркости, выбрав одну из трех отметок: Hist eq., Hist eq. illum или Hist eq. full. Подчеркнуть контуры изображения оператор может на панели Crispen, обозначив Crispen или More. Для ручного раскрашивания изображения оператор использует или вкладку RGB или вкладку User. Кроме того, полученное изображение может быть обработано одним из тринадцати реализованных в программе алгоритмов (Snow (3a), BD, CC, EC, HE, HF, JF, JJ, MB, MD, WV (-10..-60), WV (-5..-90), ZA). Для этого оператор выбирает вкладку NOAA и на панели Algorithm ставит отметку слева от названия алгоритма.

Для создания карты температур земной и водной поверхности оператор использует или вкладку Temperature или вкладку SST. С помощью вкладки Temperature отображается шкала температур подстилающей поверхности в диапазоне от -50°C до $+30^{\circ}\text{C}$ (по умолчанию). Низким температурам соответствуют более темные синие цвета, средним – зеленые, а высоким – желтые и красные. С помощью вкладки SST отображается шкала температуры водной поверхности в диапазоне от 0°C до $+30^{\circ}\text{C}$ (по умолчанию). Кроме того, можно проанализировать температуру (в градусах по Цельсию, или по Фаренгейту) в точке, на которую наведен курсор мышки, а также время в формате UTC, когда эта информация была записана.

Для пересмотра индекса вегетации (NDVI) оператор выбирает вкладку Vegetation и в окне, которое открывается, анализирует в градациях серого этот индекс. Более темные цвета отображают большие значения вегетационного индекса, а светлые – маленькие.

Таким образом, технологический процесс получения и обработки космических снимков NOAA позволяет осуществить запись данных, формируемых радиометром AVHRR на борту спутника NOAA и проводить их анализ для решения тематических задач.

3. Характеристика информационных ресурсов

Информационная продукция со спутников NOAA формируется на основе первичных данных, к которым можно отнести данные, формируемые радиометром на борту спутника, и записанные на наземной станции в формате .dat, а также массивы значений широты и долготы, а также другая информация для географической привязки полученных данных.

На основе первичных данных формируются тематические продукты для проведения дальнейших научных исследований. С использованием данных радиометра AVHRR наиболее эффективными являются исследования [7, 8]:

температуры земной и водной поверхности с пространственным разрешением 1,1 км. При этом точность определения температуры составляет для суши 1°C , а для водных объектов – $0,3^{\circ}\text{C} - 0,5^{\circ}\text{C}$;

температуры снежного и ледового покрова;

распределения облачного покрова в дневное и ночное время суток с пространственным разрешением 1,1 км;

вегетационных индексов (NDVI) земной поверхности.

С использованием станции приема ХАИ и разработанной информационной технологии эти исследования можно проводить оперативно, через 1 – 1,5 часа после пролета спутника NOAA.

При решении рассмотренных выше задач пользователю может быть предоставлена следующая информационная продукция:

изображения в видимом и ИК диапазонах, полученные со спутников NOAA-18, -19 в течение суток (5 каналов);

для видимого диапазона – цветные синтезированные изображения (RGB) для выбранных пользователем каналов синтеза;

для теплового ИК диапазона (каналы 4-5) – изображения в градациях серого;

цветные изображения распределения температур подстилающей поверхности;

изображения распределения индекса NDVI в градациях серого.

Перечисленную информационную продукцию пользователь также может получать на заданный район в границах космического изображения, получаемого станцией приема ХАИ.

На рис. 2 показан пример космического синтезированного изображения (RGB, каналы: 1-2-5), полученного со спутника NOAA-18 09 ноября 2018 года в 06:48 по всемирному координированному времени – UTC (08:48 по киевскому времени), для заданной территории – территории Украины и Белоруссии.

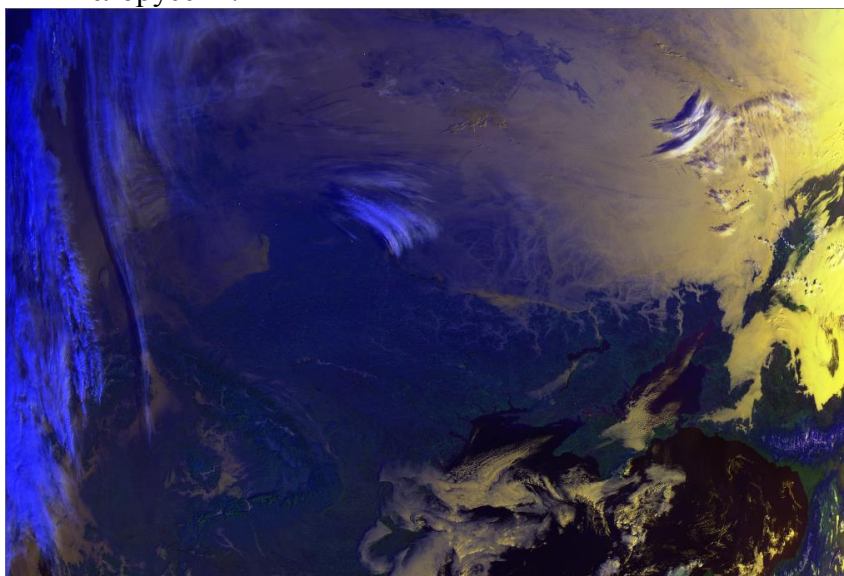


Рисунок 2 – Пример снимка NOAA-18, 09.11.2018, 06:48 UTC, RGB (каналы 1-2-5)

На рис. 3 и 4 показаны соответственно распределение температуры подстилающей поверхности (по шкале температур подстилающей поверхности) и распределение индекса

NDVI (в градациях серого) для заданной территории. Все представленные изображения получены с помощью программы HRPT Reader.

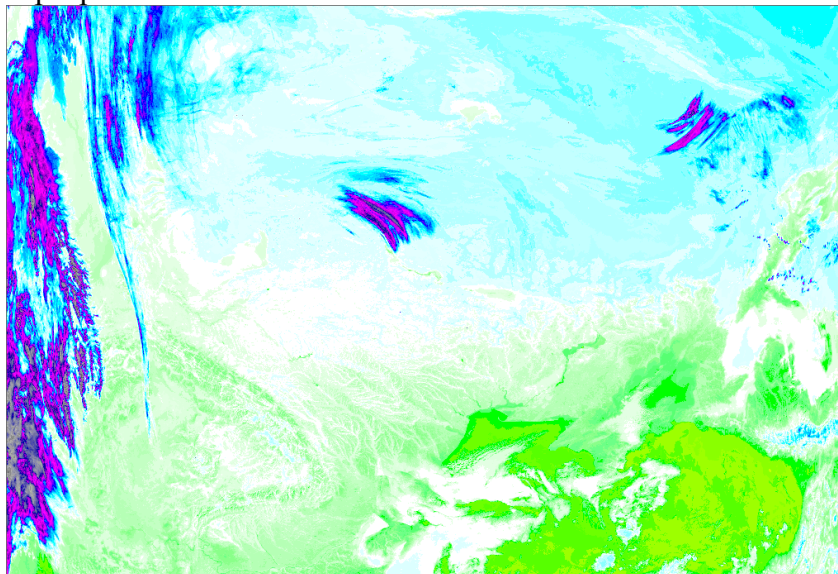


Рисунок 3 – Пример распределения температуры подстилающей поверхности (NOAA-18, 09.11.2018, 06:48 UTC)



Рисунок 4 – Пример распределения индекса NDVI (NOAA-18, 09.11.2018, 06:48 UTC)

Как уже отмечалось выше, полученные космические снимки NOAA могут использоваться для формирования фонда космических снимков высокого разрешения, при их заказе через сеть Internet. Критерием заказа (получения) снимков может быть наличие или отсутствие над заданной территорией облачного покрова.

Как видно на рис.2, 9 ноября 2018 года в утренние часы над всей территорией Белоруссии наблюдалась сплошная облачность, и заказывать космические снимки высокого разрешения в видимом диапазоне для данной территории нецелесообразно, если только не исследуется облачный покров. В тоже время над западными, центральными и южными областями территории Украины облака отсутствуют и для этих областей можно осуществить заказ (получение) космических снимков высокого разрешения.

Кроме оперативного анализа космических снимков NOAA, разработанная технология предполагает создание архива космических снимков NOAA. При этом записанные данные (файлы в формате .dat) ежедневно пополняют архив. Информация сохраняется в отдельных папках с отметкой даты, месяца и года, когда было записано изображение, например,

09.11.2018. Также существует возможность создания архива снимков NOAA по территориальному принципу, т.е. информация сохраняется в отдельных папках с отметкой заданного района, например, Украина или Белоруссия.

На базе созданного архива возможно ведение тематического каталога по признаку наличия над заданной территорией облачного покрова. В настоящий момент процент территории, которая занята облаками, определяется визуально (приблизительная оценка), но ведутся работы над созданием специальной программы для автоматического решения данной задачи. Пример ведения тематического каталога для территории Украины показан в табл. 1.

Таблица 1 – Тематический каталог космических снимков NOAA

Название спутника	Наличие снимка	Время получения снимка (UTC)	Процент облачности	Качество снимка, комментарии
09 ноября 2018 год (09.11.2018)				
NOAA-18	+	06:48	< 50%, небольшая облачность	Хорошее, 100% территории
NOAA-19	+	12:30	< 50%, небольшая облачность	Хорошее, 90% территории, кроме Закарпатской обл.

Как видно в табл. 1, 9 ноября 2018 года было принято два космических снимка со спутников NOAA-18 и NOAA-19 хорошего качества, на которых отображена практически вся территория Украины. При ведении каталога используются четыре градации облачности: ясно, облака полностью отсутствуют или ими занято менее 20% заданной территории; небольшая облачность, от 20 до 50% покрытия облаками; значительная облачность – от 50 до 80% покрытия; сплошная облачность – больше 80% покрыто облаками.

Таким образом, разработанная информационная технология позволяет осуществлять прием в реальном масштабе времени и предварительную обработку данных, получаемых с радиометров спутников NOAA. С использованием полученных космических снимков возможно проведение научных исследований для решения различных тематических задач, в частности определение участков подстилающей поверхности, над которыми отсутствует облачный покров, для заказов космических снимков высокого разрешения. Кроме того, данная информационная технология обеспечивает ведение долговременного архива космических снимков NOAA и его каталогизацию.

Список литературы:

1. Спутниковая система NOAA [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://planet.iitp.ru/spacecraft/noaa_rus.htm.
2. Спутники серии NOAA (AVHRR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mapexpert.com.ua>.
3. JPSS-1/NOAA-20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-20>.
4. WXtrack – Satellite tracking [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.satsignal.eu/software/wxtrack.htm>.
5. WXSat Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.hffax.de/html/hauptteil_wxsat.htm.
6. HRPT Programs [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.satsignal.eu/software/hrpt.htm>.
7. Калинин Н.А. Космические методы исследований в метеорологии / Н.А. Калинин, Н.И. Толмачева. – Пермь: Перм. ун-т, 2005. – 348 с.
8. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / Пащенко Р.Е., Радчук В.В., Красовський Г.Я. та ін. // Під ред. С.О. Довгого. – К.: ФОП Пономаренко Є.В., 2013. – 316 с.