

УДК 629.783, 004.932.72

**В.Ю. ВИШНЯКОВ, В.М. НАГАЄВСЬКИЙ, Ю.О. ШЕЛЕСТЮК**

## **АНАЛІЗ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ МОНІТОРИНГУ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДАНИМИ SUOMI NPP**

***Анотація.** В статті представлено основні характеристики космічного апарату SUOMI NPP та його сканерів в порівнянні зі сканерами апаратів NOAA, AQUA и TERRA, а також їх призначення. Проаналізовані рівні оброблення цих даних та описані моделі моніторингу підстильної поверхні з вказанням існуючих програм їх реалізації.*

***Ключові слова:** моніторинг, дистанційне зондування Землі, Suomi NPP.*

На сьогоднішній день в Україні недостатньо висвітлено можливості та характеристики нового космічного апарату дистанційного зондування Землі Suomi NPP, який вільно надає свою інформацію та має достатньо потужну програмну підтримку.

Метою цієї роботи є дослідження інформації, яку можливо отримувати за даними зі сканерів Suomi NPP та оцінка її якості.

Апарат NPP (National Polar-orbiting Partnership – Національне полярно-орбітальне партнерство) був створений компанією-виробником космічних апаратів, систем і агрегатів для оборонного та комерційного застосування «Болл Аероспейс Технолоджис» (Ball Aerospace) на базі супутникової платформи серії BCP (Ball Configurable Platform) за контрактом з Годдардським космічним центром польотів GSFC NASA (Goddard Space Flight Center National Aeronautics and Space Administration). Очікувалося, що досвід, отриманий в результаті виробництва й експлуатації цього супутника, буде використаний Ball Aerospace при розробці перспективного низькоорбітального космічного апарату JPSS-1 для національної метеорологічної системи США. Космічні апарати цієї серії повинні замінити супутники серії NOAA, що використовуються в даний час [1].

На орбіту апарат був виведений 28 жовтня 2011 року за допомогою ракетносія United Launch Alliance Delta II, запущеного з авіабази Ванденберг (США). Супутник було розташовано на сонячно-синхронній орбіті висотою 824 км над поверхнею Землі з нахиленням орбіти 98,8° та періодом обертання 101,4 хвилини. Він призначений для отримання оперативної інформації про стан хмарного покриву, концентрацію зважених часток, розподіл водяної пари в атмосфері, а також для моніторингу небезпечних атмосферних явищ, лісових пожеж, змін ландшафту, льодової обстановки в північних морях та збору інших даних.

В кінці січня 2012 року керівництво NASA прийняло рішення перейменувати супутник NPP в Suomi NPP, на знак визнання заслуг Вернера Едварда Суомі (Verner Edward Suomi) – метеоролога з університету штату Вісконсін [2]. Таким чином, надалі будемо йменувати супутник Suomi NPP.

На супутнику Suomi NPP встановлено п'ять приладів для дистанційного зондування Землі. Їх розміщення на борту Suomi NPP представлено на рис. 1.

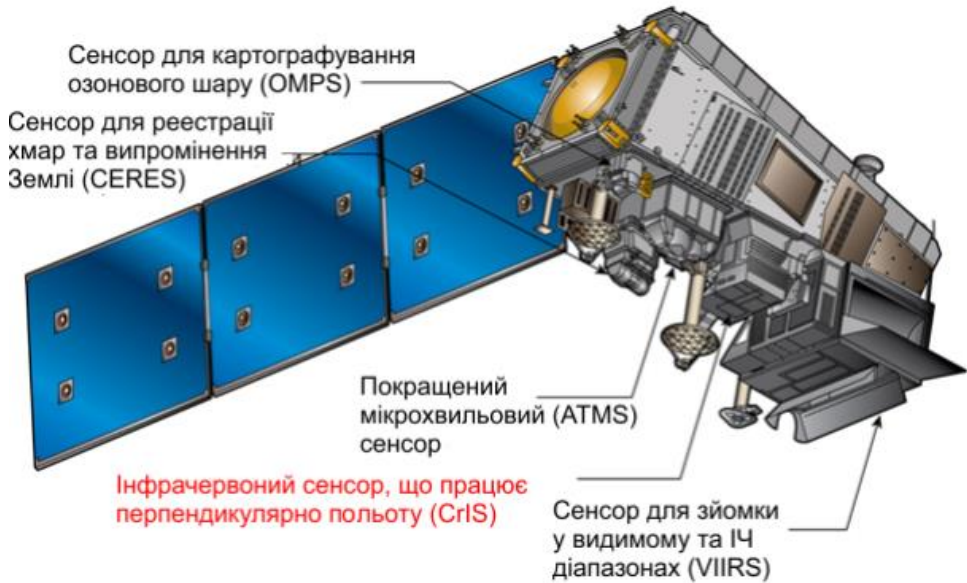


Рис. 1 – Прилади ДЗЗ космічного апарату Suomi NPP

1. **ATMS** (Advanced Technology Microwave Sounder) – 22-канальний пасивний мікрохвильовий радіометр з шириною смуги захоплення 2300 км, який дозволяє створювати глобальні моделі температур та профілів вологості, що допомагають метеорологам в прогнозуванні погоди;

2. **CrIS** (Cross-track Infrared Sounder) – спектрометр з 1305 інфрачервоними спектральними каналами у діапазонах LWIR (9,14–15,38  $\mu\text{m}$ ); MWIR (5,71–8,26  $\mu\text{m}$ ) і SWIR (3,92–4,64  $\mu\text{m}$ ) з шириною смуги захоплення 2200 км, який дозволяє відслідковувати параметри атмосфери, такі як вологість та тиск, що допомагає підвищити достовірність короткострокових та довгострокових прогнозів погоди;

3. **OMPS** (Ozone Mapper Profiler Suite) – інструмент з удосконаленим сенсором, що призначений для довгострокового безперервного накопичення даних з космосу про вертикальне та горизонтальне поширення озону в атмосфері;

4. **CERES** (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) – 3-канальний радіометр, призначений для вимірювання відбитої сонячної радіації, випромінення земної поверхні та сумарної радіації;

5. **VIIRS** (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) – 22-канальний скануючий радіометр, який дозволяє отримувати зображення Землі у видимому і інфрачервоному діапазонах і здійснює радіометрію суші, атмосфери, криосфери і океанів.

Особливий інтерес для зйомки земної поверхні має сканер VIIRS, який створено з урахуванням досвіду експлуатації сканерів MODIS на супутниках AQUA і TERRA. Він обладнаний оптичною системою з апертурою 19,1 см, фокусом 114 см, середньою оптичною потужністю 200 Вт. Вага сканеру складає 275 кг. Максимальна швидкість передачі даних складає 10,5 Мбіт.

За характеристиками він істотно перевершує датчики AVHRR супутників серії NOAA та майже повторює датчик MODIS супутника TERRA (таблиця 1).

Таблиця 1. Технічні характеристики сканерів MODIS, AVHRR та VIIRS

Прилад/супутник	Кількість спектральних каналів	Розподільча здатність, м	Ширина смуги захоплення	Квантування даних
MODIS/TERRA, AQUA	2	250	2300 км	12 біт
	5	500		
	31	1000		
AVHRR/NOAA	5	1100	3000 км	10 біт
VIIRS/ Suomi NPP	5	375	2300 км	12 біт–14 біт
	17	750		

На сьогоднішній день цей сканер розширює і покращує серії вимірів, отриманих приладами AVHRR і MODIS. Дані VIIRS використовуються для вивчення властивостей хмар і аерозолів, кольору океану, температури земної поверхні, пересувань і температури льоду, детектування пожеж та вимірювання альbedo поверхні Землі. Кліматологи можуть використовувати дані VIIRS для вивчення глобальних змін клімату.

VIIRS – це багатоспектральний 22-полосний оптико-механічний радіометр, що використовує обертовий телескоп крос-трек за принципом сканера мітла. В ньому сцена спостереження проектується на трьох основних площинах, які охоплюють спектральний діапазон 0,4–12,5 мкм. Видима та ближня інфрачервона площина (БІЧ) має **дев'ять** спектральних каналів, коротка та середня інфрачервона площини (КІЧ / СІЧ) мають **вісім** спектральних каналів, термальна інфрачервона площина (ТІЧ) містить **чотири** спектральні канали. Також в сканері інтегровано так звану День Ніч площину (DNB) – **один** спектральний канал, яка має великий динамічний діапазон, що забезпечує можливість визначення такого показника, як освітленість. Лінійки детекторів сканера, а саме: 16 детекторів в кожному масиві для КІЧ / СІЧ та ТІЧ, 32 детектори для БІЧ і DNB орієнтовані в напрямку вздовж лінії шляху прольоту. Таке розташування забезпечує паралельне охоплення 11,87 км уздовж лінії шляху за один прохід сканування. Широке охоплення забезпечує достатній час інтегрування всіх осередків у кожній розгортці сканування. Період сканування становить 1 786 строк у довжину. При цьому квантування даних становить 12 біт або 14 біт (в разі низького рівня шуму) [4].

Спектральні діапазони цього сканеру представлено в таблиці 2.

Таблиця 2. Спектральні діапазони сканеру VIIRS

Канал	Спектральний діапазон, нм		Середнє значення, нм
I1 (B)	600	680	640
I2 (G)	850	880	865
I3 (R)	1580	1640	1610
I4	3550	3930	3740
I5	10500	12400	11450
M1	402	422	412
M2	436	454	445
M3	478	488	488

Продовження таблиці 2

Канал	Спектральний діапазон, нм		Середнє значення, нм
M4	545	565	555
M5 (B)	662	682	672
M6	739	754	746
M7 (G)	846	885	865
M8	1230	1250	1240
M9	1371	1386	1378
M10 (R)	1580	1640	1610
M11	2230	2280	2250
M12	3610	3790	3700
M13	3970	4130	4050
M14	8400	8700	8550
M15	10260	11260	10763
M16	11540	12490	12013
DNB	500	900	700

де M – смуги меншого розрізнення (750 м);

I – смуги більшого розрізнення (375 м);

DNB – канали день-ніч;

R, G, і B – природно-колірні смуги червоного, зеленого та блакитного.

Ресурси операційних даних Suomi NPP, Raw Data Record (RDR), Sensor Data Records (SDRs) і Environmental Data Records (EDRs), для VIIRS, Cris, ATMS and OMPS обробляються з використанням сегмента інтегрованої обробки даних Integrated Data Processing Segment (IDPS). Дослідження алгоритмів 1 рівня, 2 рівня (CDRs) та вище виконуються в межах наукового сегмента даних SDS (Science Data Segment).

**1-й рівень обробки (1B)** є базовим, він сформований з необроблених зображень VIIRS, CrIS, ATMS та OMPS, включаючи радіометричні та геометричні калібрувальні коефіцієнти з географічною прив'язкою параметрів відповідно до ефемерид платформи.

**2-й рівень обробки** вироблятиме ряд екологічних даних про навколишнє середовище EDRs, які є складовою Національної полярно-орбітальної оперативної системи екологічного моніторингу NPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System). Всі 29 екологічних продуктів Suomi NPP обробляються на інтерфейсному сегменті оброблення даних і являють собою зареєстровані кліматичні дані (Climate Data Records CDR). Ці EDRs і CDR, відповідають різним вимогам. У разі оперативного оброблення, акцент робиться на продуктах, які можливо отримувати з більшою швидкістю, що обов'язково включає наявність алгоритмів, які забезпечують високошвидкісне оброблення даних для виконання державних замовлень для цивільних і військових організацій. Для дослідницьких кліматичних даних вимоги до швидкості можуть бути послаблені, що надає можливість реалізації складних алгоритмів, які використовують різні додаткові дані. З урахуванням

проблем калібрування датчиків і розповсюдження випромінення від Землі через атмосферу, алгоритми можуть бути покращені, внаслідок чого продукти отримуються більш якісними [5].

На сьогоднішній день дані Suomi NPP застосовують для досліджень: кліматичних процесів, енергетичного балансу планети, екстремальних погодних умов, прогнозування погоди, стану озонового шару, забруднення повітря, виверження вулканів, стану температури, льодового покриття, рослинності, пилових бур, пожеж, повеней, засухи, тайфунів.

Для отримання цих даних, за підтримки агентств NASA і NOAA, які відповідають за експлуатацію супутника, а також за збір і централізоване поширення результатів зйомки, розроблено та вільно поширюються програми обробки інформації з наукової апаратури Suomi NPP, адаптовані для роботи з даними, що приймаються локальними станціями. Ці розробки ведуться в лабораторії DRL центру ім. Годдарда NASA (пакели RT-STPS і IPOP) та в Космічному науково-інженерному центрі (SSEC) Вісконсинського університету (пакели програм CSPP). Після остаточного налагодження та тестування на реальних даних випущені перші версії цих програм. 5 квітня 2012 року центром SSEC був анонсований випуск першої версії нового пакету CSPP з підтримкою первинної обробки даних приладів VIIRS і ATMS. А 24 квітня фахівці DRL оголосили про готовність до поширення оновлених випусків пакетів VIIRS-SDR SPA і RT-STPS [6].

RT-STPS (the Real-time Software Telemetry Processing System) – програма розробки лабораторії DRL агентства NASA, яка використовується для обробки даних із супутників AQUA / TERRA, що була доопрацьована також для обробки даних Suomi NPP, які істотно відрізняються за форматом.

CSPP (the Community Satellite Processing Package) – розробка Космічного науково-інженерного центру (SSEC) Вісконсинського університету (США).

Налаштування цих програм та їх використання дозволяють користувачам отримувати наступні інформаційні продукти, які являють собою моделі:

- маски хмарності (Cloud Mask IP) – бінарну карту хмарності, класифіковану на: повністю чисту від хмар, хмарну, можливо чисту, можливо хмарну;

- активних осередків загорянь (Active Fires ARP) – дані про широту і довготу пікселів вогнищ загоряння;

- альbedo (Albedo) – коефіцієнт відбитого від поверхні Землі сонячного випромінювання (в діапазоні від 0,4 до 4,0) до падаючого випромінення з атмосфери;

- висоти нижньої межі хмарності (Cloud Base Height) – значення висоти нижньої межі хмар над рівнем моря;

- шаровості хмар (Cloud Cover Layers) – класифікація пікселів зображення на чотири типи шарів хмар;

- ефективного розміру часток (Cloud Effective Particle Size) – значення відношень третього моменту розподілу крапель до другого моменту розподілу, усереднені по всьому простору хмар (рис. 2);

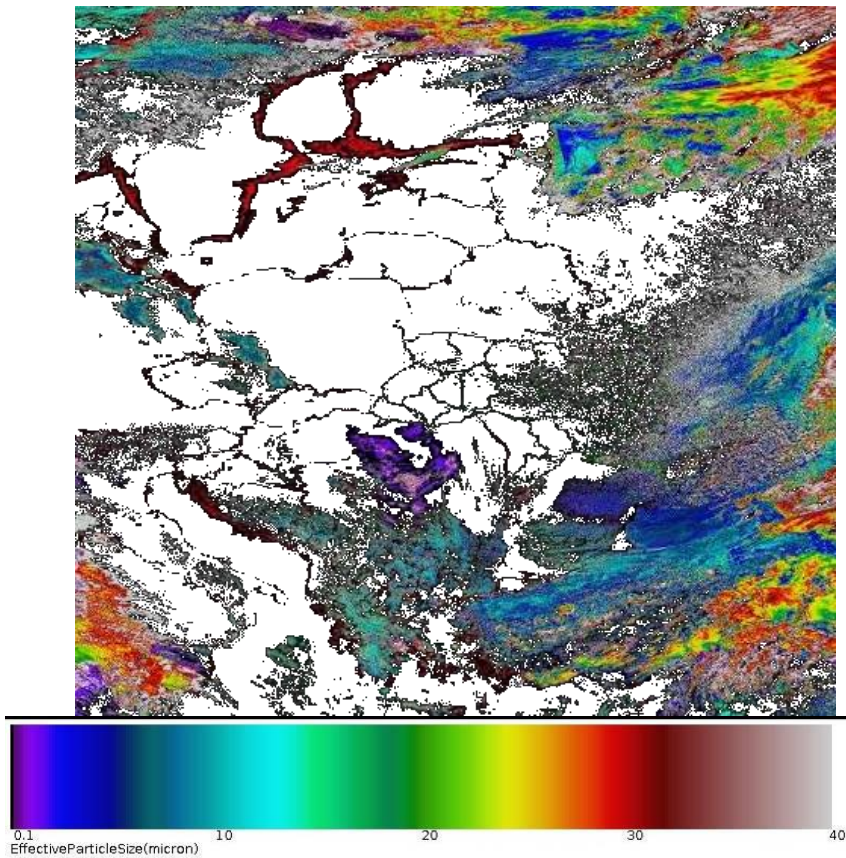


Рис. 2 – Ефективний розмір часток хмарності

- оптичної товщини хмарності (Cloud Optical Thickness) – значення величини, яка характеризує ослаблення світла при проходженні через аерозолі за рахунок його поглинання і розсіювання. Визначається як інтегрований коефіцієнт для вертикального стовпа з перетином, рівним горизонтальним розмірам осередку у вузькому спектральному каналі з центром в заданій довжині хвилі;
- висоти верхньої межі хмарності (Cloud Top Height) – висота верхньої межі хмар, усіх типів хмарності;
- тиску у верхній межі хмарності (Cloud Top Pressure) – дані про атмосферний тиск у верхній межі хмар;
- температури у верхній межі хмарності (Cloud Top Temperature) – дані про температуру у верхній межі хмар;
- температури земної поверхні (Land Surface Temperature) – температура верхнього шару поверхні Землі;
- глибини снігового покриву (Snow Cover Depth) – горизонтальний і вертикальний вимір снігового покриву, одержувана бінарна карта визначає наявність снігового покриву або його відсутність (рис. 3);

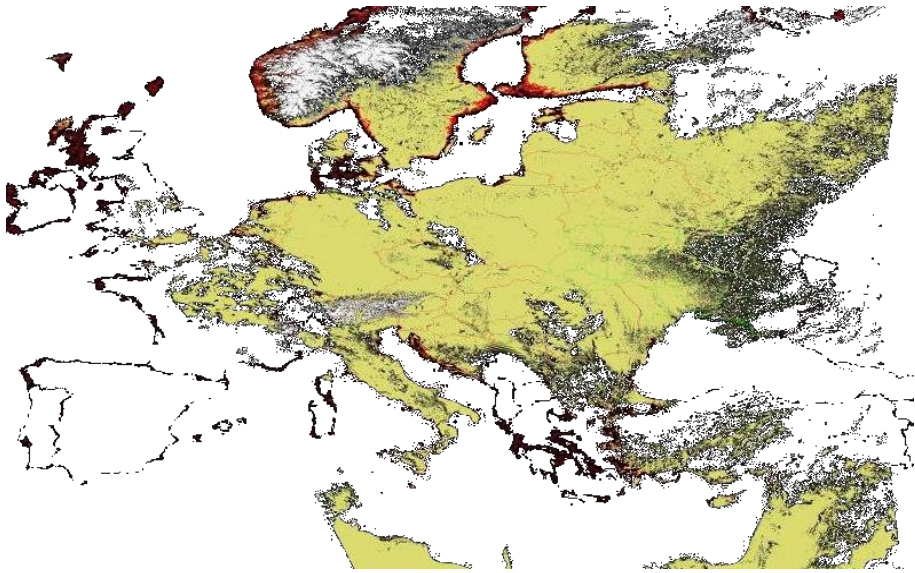


Рис. 3 – Бінарна карта снігового покриву

- типу поверхні (Surface Type) – один з 17 класів Міжнародної програми Geosphere Biosphere Programm (IGBP);
- поверхневого теплового потоку (Net Heat Flux) – напрямок теплових потоків над поверхнею океанів;
- цвітіння хлорофілу в океані (Ocean Color Chlorophyll) – значення показника цвітіння океану. Визначається як спектр нормованої яскравості води. Ці дані необхідні в геофізиці для визначення вмісту пігменту хлорофілу у фітопланктоні, також вони використовуються для визначення оптичних властивостей поглинання і розсіяння поверхневих вод;
- суспензії (Suspended Matter) – дані про вміст зважених речовин, таких як пил, пісок, вулканічний попел, оксид сірки або дим, одержувані на будь-якій висоті;
- вегетаційного індексу (Vegetation Index) – показник нормалізованого вегетаційного індексу (без урахування впливу атмосфери);
- оптичної товщини аерозолів (Aerosol Particle Size) – показник величини, яка характеризує ослаблення світла при проходженні через аерозолі за рахунок його поглинання і розсіювання. Визначається як інтегрований коефіцієнт для вертикального стовпа з перетином, рівним горизонтальним розмірам осередку у вузькому спектральному каналі з центром в заданій довжині хвилі;
- розміру аерозольних частинок (Aerosol Particle Size) – розмір аерозольної частинки, розрахований за формулою Ангстрема для певної довжини хвилі (рис. 4):

$$\alpha = - (\ln t (\lambda_1) - \ln t (\lambda_2)) / (\ln \lambda_1 - \ln \lambda_2) \quad (1);$$

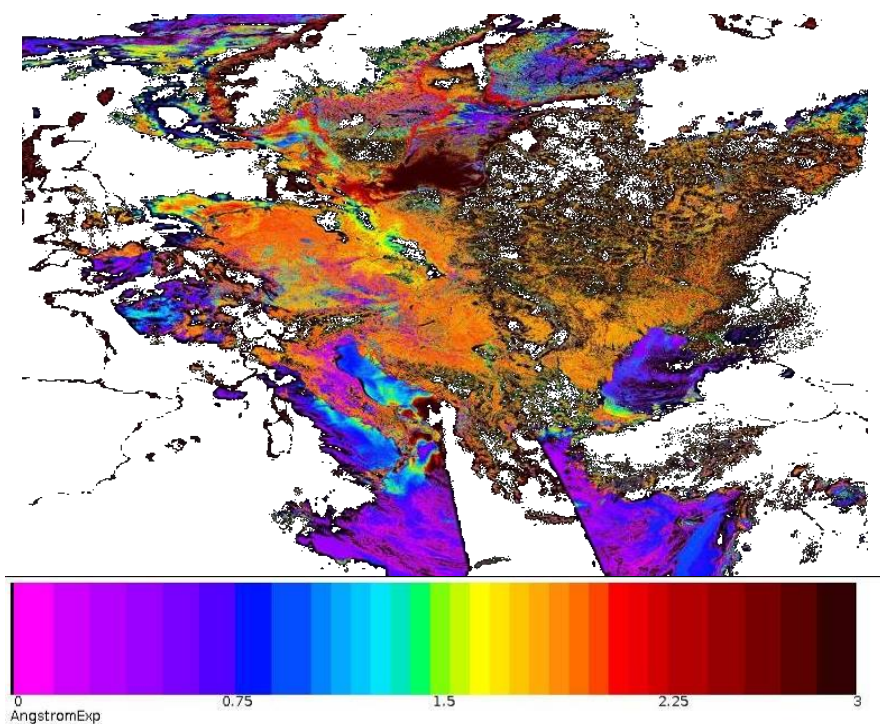


Рис. 4 – Розмір часток аерозолю

- температури поверхні криги (Ice Surface Temperature) – температура поверхні верхнього шару льоду;
- характеристики морського льоду (Sea Ice Characterization) – тимчасові дані, отримані з моменту формування льоду на морській поверхні;
- температури морської поверхні (Sea Surface Temperature) – вимірювання температури поверхні граничних шарів, а також обсягу води океану більше 1 м.

На сьогоднішній день цей перелік поширюється з виходом нових версій вищевказаного програмного забезпечення.

В результаті проведеної роботи доведено можливість налаштування вищевказаного програмного забезпечення та отримання відповідних моделей моніторингу підстильної поверхні за даними з апарату Suomi NPP.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Режим доступу: <http://press.scanex.ru/index.php/ru/news/item/3669-npp>
2. Режим доступу: <http://press.scanex.ru/index.php/ru/news/item/3669-npp>
3. Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ball\\_Aerospace\\_%26\\_Technologies](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ball_Aerospace_%26_Technologies)
4. Режим доступу: <http://gis-lab.info/qa/npp-suomi.html>
5. Режим доступу: <http://npp.gsfc.nasa.gov/datasystems.html>
6. Режим доступу: [http://club.cnews.ru/blogs/entry/stantsii\\_uniskan\\_gotovy\\_k\\_regulyarnomu\\_priemu\\_dannyh\\_so\\_sputnika\\_suomi\\_npp](http://club.cnews.ru/blogs/entry/stantsii_uniskan_gotovy_k_regulyarnomu_priemu_dannyh_so_sputnika_suomi_npp)

*Стаття надійшла до редакції 26.03.2015*