

УДК 528.88

**Федотов А.Л.**

*Московский государственный областной университет*

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ  
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**A. Fedotov**

*Moscow State Regional University*

**USE OF MODERN GEOSTATIONARY SATELLITES  
IN GEOGRAPHICAL RESEARCH**

*Аннотация.* В статье рассматриваются используемые в настоящее время геостационарные спутники и их технические характеристики. Геостационарные спутники движутся по геосинхронной орбите с таким же периодом вращения, как и у самой земли. Располагаются они на большой высоте, что позволяет наблюдать большую часть земли и получать снимки каждые 30 – 60 минут. Основное внимание уделено спектральному диапазону сенсоров, размещенных на каждом из аппаратов, и возможностям применения полученных данных в хозяйственной деятельности.

*Ключевые слова:* геостационарные спутники, спутники, географические исследования, спектральный диапазон, сенсоры.

*Abstract.* Modern geostationary satellites and their specifications are considered. A geosynchronous satellite is a satellite in geosynchronous orbit, with an orbital period the same as the Earth's rotation period. The advantage of their great height is that they can view the whole earth disk below them, rather than a small subsection, and they can scan the same area very frequently (typically every 30–60 minutes). The spectral range of the sensors mounted on each of the satellites and use of the obtained data in the economy are considered in detail.

*Key words:* geostationary satellites, satellites, geographical research, spectral range, sensors.

В настоящее время географические и экологические исследования не проводятся без использования современных технологий, к которым относится и дистанционное зондирование земли (ДЗЗ). Одним из инструментов ДЗЗ являются геостационарные спутники земли, обеспечивающие мониторинг локальных участков земли. Рассматриваемый вид спутников обеспечивает возможность мониторинга и прогноза погодных явлений, землетрясений и ряда других процессов, протекающих в географической оболочке. Основная цель данной работы – проанализировать современную отечественную и зарубежную литературу для обзора имеющихся в настоящее время геостационарных аппаратов и их возможностей, что позволит специалистам в области геоэкологии, географии и экологии выбрать тот инструмент, который будет подходить в наибольшей степени для их исследования. Геостационарные спутники расположены строго над экватором, на высоте приблизительно 35500 км над уровнем моря, в связи с этим для описания положения спутника достаточно указать, над каким меридианом он находится.

**Геостационарные метеорологические искусственные спутники земли (МИСЗ)** располагаются в экваториальной полосе и обеспечивают непрерывный обзор погоды от 70 град. ю.ш. до 70 град. с.ш. Меридианы 0–65 град. з.д. закреплены за европейским космическим агентством (EUMETSAT), 74 град. в.д. – за Индией (информация не транслируется через МЕТЕОСАТ-7), 140 град.в.д. – за Японией, 105 и 135 град. – за США (2 МИСЗ). Российская

Федерация осуществила запуск геостационарного МИСЗ на долготе 76 град. в.д. в 2006 г., характеристики аппаратуры будут аналогичны характеристикам аппаратуры МИСЗ МЕТЕОСАТ-8. Все 5 доступных для синоптического анализа геостационарных МИСЗ собирают данные в трех диапазонах (за исключением запущенного в 2002 г. MSG-1 или МЕТЕОСАТ-8). Практическое применение данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) зависит в первую очередь от типа измерений, т. е. спектрального диапазона ДЗЗ. В видимом диапазоне (аналог телевизионного сигнала – ТВ) электромагнитного спектра (ЭМГС) аппаратура МИСЗ фиксирует солнечную радиацию, отраженную от земной поверхности или от верхней границы облаков (ВГО). В этом «окне прозрачности» солнечная радиация незначительно поглощается газовыми составляющими тропосферы. Поэтому измерения практически соответствуют характеристикам отражения радиации от подстилающей поверхности и ВГО. Космические аппараты дистанционного зондирования осуществляют оперативное наблюдение за состоянием атмосферы, океанов и суши. Современная система таких аппаратов состоит из следующих геостационарных спутников: GOES-W, GOES-E (США), GOMS (Россия), INSAT (Индия), GMS (Япония) и МЕТЕОСАТ (Европейское космическое агентство).

**Спутники GOES.** Программа GOES в США является ключевым элементом прогнозирования погодных процессов. Каждый из космических аппаратов покрывает почти треть поверхности земли: один – Северную и Южную Америку и большую часть Атлантического океана, другой – Северную Америку и бассейн Тихого океана. GOES-East расположен на 75 восточной долготы, GOES-West на 135 западной долготы. Покрываемое распространяется от 20 з.д. до 165 в.д. Около 40 процентов поверхности земли приходится на 1 спутник. **GOES-11 (L)** - 135°з.д. После запуска был законсервирован. В настоящее время работает. **GOES-12 (M)** - 60°з.д. Работал до 2007 г. Запущен спутник был в 2001 году. Однако в результате произошедших аномалий в

электронном блоке позиционирования с 16 апреля 2007 г. данные с него не передаются. **GOES-13 (N)** – 75 з.д. Выведен на орбиту 24 мая 2006 года. 5 января 2007 г. законсервирован. Начиная с 14 апреля 2010 г. введен в эксплуатацию. **GOES-14 (O)** – 105 з.д. Выведен на орбиту 27 июня 2009 г. После 5 месяцев тестов будет отправлен в резерв. **GOES-15 (P)** – 89,5 з.д. Выведен на орбиту 4 марта 2010 г. После проведения тестовых испытаний законсервирован.

Спутники второго поколения оснащены двумя независимыми съемочными системами (табл.1). Первая ведет съемку в 5 спектральных диапазонах видимой и инфракрасной части спектра. Благодаря инфракрасному каналу можно получить снимки как в дневное, так и в ночное время. Возможность отклонения оси съемки и выбора параметров сканирования позволяет получать изображения как всей Земли, так и небольшой ее части [4]. Вторая съемочная система спутников GOES оснащена 19 каналами для съемки в одном диапазоне видимого спектра и 18 тепловых диапазонах с пространственным разрешением 8 км и радиометрическим разрешением 13 бит. Эти данные используют для наблюдения температуры земной поверхности и верхней части облачного покрова, а также для оценки профилей влажности и анализа распространения озона [3].

**Спутники Meteosat.** Meteosat-7 (первое поколение), Meteosat-8 (второе поколение – MSG-1), Meteosat-9 (второе поколение – MSG-2), MSG-3 (второе поколение Meteosat-10). Meteosat-7 обеспечивают просмотр территории Индийского океана 24 часа в сутки.

Простейшим метеосатовским инструментом является **MVIRI** (съемка каждые 30 минут). Этот радиометр работает в 3 спектральных диапазонах в зависимости от поставленной задачи по картографированию облаков или водяного пара. Видимый диапазон (VIS) (0.45 - 1.0  $\mu\text{m}$ ) используется в дневное время суток. Диапазон поглощения водяного пара (WV) (5.7 - 7.1  $\mu\text{m}$ ) используется для определения количества водяного пара в верхней тропосфере. Тепловой инфра-

Таблица 1

## Характеристики снимков GOES

Канал	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, км	Области применения
1	0,52 – 0,72 (видимый)	1	Наблюдение за облачностью и туманами, регистрация загрязнения атмосферы, наблюдение за сильными штормами
2	3,78 – 4,03 (коротковолновый ИК)	4	Распознавание тумана в ночное время суток; дождевых и снежных облаков в дневное время; борьба с пожарами, наблюдение за вулканами; определение температуры океанической поверхности в ночное время
3	6,47 – 7,02 (водные пары в верхних слоях атмосферы)	4	Оценка областей со средним уровнем влажности и адвекции; наблюдение за атмосферными движениями среднего масштаба
4	10,2 – 11,2 (длинноволновый ИК)	4	Определение воздушных потоков, ответственных за перемещение облачности, наблюдение за сильными штормами и ливневыми дождями
5	11,5 – 12,5 (ИК-диапазон, чувствительный к парам воды)	4	Определение влажности в нижних слоях атмосферы и температуры океанической поверхности; выявление мест концентрации пылевых облаков и вулканического пепла

красный диапазон позволяет использовать изображение и днем, и ночью и определять температуру облачной поверхности [6]. MSG система (MSG-1 в эксплуатации до 2018 г. – находится в резерве, MSG-2 в эксплуатации до 2022 г. – работает) обеспечивает погодный мониторинг на базе главного инструмента SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager), который может наблюдать землю в 12 спектральных каналах (табл. 2). С его помощью становится возможным не только получение более качественного изображения, но и псевдозондирование атмосферы. Оно особенно полезно для демонстраций в реальном времени и краткосрочного прогноза, а также имеет значение для глобального цифрового прогноза и климатических исследований. Восемь каналов из двенадцати работают в тепловом инфракрасном диапазоне спектра, обеспечивая получение постоянных данных о температуре облаков, земли и морской поверхности. Используя каналы в диапазонах, соответствующих длинам волн поглощения озона, водяного пара и углеродистого диоксида, SEVIRI также позволяет метеорологам анализировать характеристики атмосфер-

ных воздушных масс, восстанавливая трехмерный вид атмосферы. Частота передачи глобальных изображений Земли прибором – один раз в 15 мин. Разрешение в широкополосном видимом диапазоне высокого разрешения (HVR-диапазон) достигает 1 км. Скорость передачи данных с борта – 3,2 Мбит/с, скорость их распространения – 1 Мбит/с [1].

GERB (MSG-1 и 2) – основной целью этого сенсора является измерение радиационного баланса Земли, для поддержки исследований в мониторинге климата. Инструмент GERB является сканирующим радиометром с двумя широкополосными каналами, одни покрывают солнечную часть спектра (0,32 до 4,0 мкм), другие – более широкую ее часть (0,32 до 30 мкм). Вместе эти каналы используются для получения теплового излучения Земли в спектральном диапазоне 4,0 до 30 мкм. Данные откалибровываются на борту для поддержки поиска радиационных потоков отраженного солнечного излучения и излучения теплового излучения на верхней границе атмосферы с точностью до 1%. Таким образом, GERB заполняет пробелы в тепловом спектре излучения, пропущенные каналами SEVIRI [5]. Также на

MSG 1 установлен ретранслятор системы поиска и спасения **GEOSAR**. Он передает сигналы на частоте 406 МГц от аварийных буев и маяков на центральную европейскую станцию приема сигналов бедствия международной спутниковой системы COSPAS-SARSAT, которая транслирует информацию для быстрой организации спасательных операций.

Таблица 2

**Meteosat 8 и 9: MSG-1 и 2 (Meteosat Second Generation)**

Канал	Длина волны (µm)	Разрешение
VIS 0.6	0,56 - 0,71	3 км
VIS 0.8	0,74 - 0,88	3 км
NIR 1.6	1,50 - 1,78	3 км
IR 3.9	3,48 - 4,36	3 км
WV 6.2	5,35 - 7,15	3 км
WV 7.3	6,85 - 7,85	3 км
IR 8.7	8,30 - 9,1	3 км
IR 9.7	9,38 - 9,94	3 км
IR 10.8	9,80 - 11,80	3 км
IR 12.0	11,00 - 13,00	3 км
IR 13.4	12,40 - 14,40	3 км
HRV	0,4 - 1,1	1 км

Метеорологический спутник MSG-3 (второе поколение) будет запущен в 2012 г.

**Спутники INSAT.** Многоцелевые спутники INSAT используются в трех различных областях: в теле- и радиовещании, для обеспече-

ния связи и в интересах службы погоды (табл. 3). Запуски этих спутников осуществляются в рамках совместного проекта Министерства телекоммуникации Индии, Индийской метеорологической службы, телевизионной компании «Дурдаршан» и национального радио Индии.

**Спутники MTSAT.** Спутники первой серии GMS (Geostationary Meteorological Satellite) в настоящее время не используются. Используются спутники второй серии: MTSAT (Multi-functional Transport Satellite) – MTSAT-1R (резервный) и MTSAT-2 (рабочий). Спутник MTSAT-1R значительно превышает по размерам своего предшественника GMS-5 и даже американские прототипы серии GOES (табл. 4). Комплекс метеоаппаратуры предназначен для решения следующих основных задач:

- получение многоспектральных изображений облачного покрова, определение температуры поверхности воды и концентрации водяного пара;
- сбор и ретрансляция данных от автоматических измерительных платформ DCP (Data Collection Platform), в т. ч. данных системы оповещения о цунами;
- ретрансляция обработанных метеоизображений из центра обработки на станции потребителей (метеоинформация используется в 27 странах региона).

Таблица 3

**Серия геостационарных спутников INSAT-3**

Спутник	Дата запуска	Съемочная система и спектральные диапазоны	Основные области применения
INSAT-3A (аналог INSAT-2E)	Апрель 2003 г.	1) VHRR Каналы: 0,55 – 0,75 мкм 10,5 – 12,5 мкм 5,0-7,1 мкм 2) Каналы ПЗС-съемки: 0,63-0,79 мкм 0,77-0,86 мкм 1,55-1,70 мкм	Наблюдение за циклонами, муссонами и ветрами, ответственными за направление движения облаков, оценка длинноволновой части излучения и уровня выпадения осадков. Изучение явлений среднего масштаба, борьба с наводнениями, определение границ снежного покрова, проведение границ между различными видами растительного покрова, исследование аэрозолей, построение температурных профилей и профилей влажности (совместно с INSAT-3D)

Бортовой радиометр JAMI оснащен трехзеркальным оптическим телескопом. Особенности радиометра являются увеличенное число детекторов, что позволяет снизить скорость сканирования, улучшить соотношение сигнал/шум и пространственное разрешение, и система бортовой калибровки всех спектральных каналов. Относительно GMS-5 новый спутник имеет существенные преимущества:

- улучшенное пространственное и радиометрическое разрешение;
- дополнительный канал средневолновой части ИК-спектра (3,8 - 4,0 мкм) для ночной съемки облачного покрова, наблюдения за пожарами и вулканами;
- повышенная чувствительность ИК-каналов (благодаря усовершенствованной системе охлаждения);
- более частая съемка Северного полушария, что позволит точнее отслеживать зарождение и развитие опасных явлений (тайфунов, ураганов).

Лучшее пространственное разрешение позволяет повысить точность координатной привязки изображений, точнее рассчитать скорость ветра (по перемещению облаков). А благодаря улучшенному радиометрическому разрешению можно точнее определять температуру морской поверхности и верхней кромки облаков, а также повысить точность

численных оценок осадков в морских и авиационных прогнозах, особенно вне зоны действия наземных метеорадаров.

В настоящее время работают 2 спутника MTSAT-1R и MTSAT-2.

MTSAT-2 является многофункциональным спутником с двойной целью. С одной стороны, это неотъемлемая часть нового поколения глобальной безопасности воздушного и автомобильного движения, состоящая из систем связи, навигации, слежения и управления воздушным движением. Основной целью в этой связи является уменьшение автомобильных пробок, безопасность авиаперевозок и обеспечение безопасности в Азиатско-Тихоокеанском регионе. С другой стороны, MTSAT-2 используется в метеорологических целях для сбора и доставки метеорологических данных. В этом качестве он наследует и расширяет миссию предыдущего спутника.

Границы спектральных каналов (все инфракрасные каналы имеют пространственное разрешение 5,0 км.) следующие:

1. видимый диапазон в 0,55-0,80 мкм, с разрешением 1,25 км;
2. 10,3-11,3 микрон инфракрасный канал (IR1),
3. 11,5-12,5 микрон инфракрасный канал (IR2),

Таблица 4

#### Параметры MTSAT-1R

Параметр	MTSAT-1R
Радиометр	JAMI (Japanese Advanced Meteorological Imager)
Число спектральных каналов	5 (VIS, IR1, IR2, IR3, IR4)
Границы спектральных каналов, мкм:	
- VIS	0,55 - 0,90
- IR1	10,3 - 11,3
- IR2	11,5 - 12,5
- IR3	6,5 - 7,0
- IR4	3,5 - 4,0
Пространств. разрешение в подспутниковой точке (видимый канал/ИК), км	1 (до 0,5)/4 (до 2)
Периодичность съемки, мин	60 (30 - Северное полушарие)

4. 4,65-7,0 микрон канал водяного пара (IR3),

5. 5,35-4,0 микрона ближний ИК-канал.

MTSAT-1R будет использоваться в качестве резервных спутников для метеорологических целей после активизации MTSAT-2.

**Спутники FENG-YUN. Feng-Yun-2 (табл.5) – первая серия китайских геостационарных метеорологических спутников, построенных при Шанхайском институте спутниковой инженерии. Основная полезная нагрузка FY-2 – это Visible and Infrared Spin Scan Radiometer (VISSR), который получает ежедневно полное изображение Земли и имеет 3 канала: видимый (0,55-1,05 микрометра), инфракрасный (10,5-12,5 микрометра) и водяного пара (6,2-7,6 микрометра). Разрешение: 1,25 км – для видимого диапазона и 5 км для инфракрасного и водяного пара.**

FY-2 управляется из Национального метеорологического спутникового центра Китайской метеорологической администрации. FY-2В был запущен 25 июня 2000 г. Спутник занял орбиту 105 восточной долготы в июле. Затем было 6 месяцев тестирования спутника перед его введением в эксплуатацию. Период его жизни составляет 3 года. В августе 2004 г. он был отправлен на хранение на 123,5 восточной долготы. FY-2С был запущен 19 октября 2004 г. Активирован спутник был в июле 2005 г. на 105 восточной долготы. 25 ноября 2009 г. его миссия закончилась, и он был перемещен на хранение. FY-2D был запущен в декабре 2006 г., активирован в июне 2007 г. на долготе 86,5. Образована конфигура-

ция наблюдательной системы под названием «двойная звезда» с FY-2С. **Каждый из спутников** имеет свою область задач, но они могут также заменять друг друга, если какой-то из них выйдет из строя. Спутники сканируют Землю каждые 30 минут. FY-2D заканчивает свою работу в декабре 2010 г. FY-2Е был запущен 23 декабря 2008 г. и содержался на хранении до замены FY-2С 25 ноября 2009 г. FY-2G и FY-2H планируется запустить в 2012 и 2014 гг. соответственно [5].

#### Спектральные каналы VISSR на FY-2

Каналы	Длина волны (микрометр)	
	FY-2 A,B	FY-2 C,D,E
VIS	0,50-1,05	0,50-0,75
IR1	10,5-12,5	10,3-11,3
IR2		11,5-12,5
IR3		3,5-4,0
WV	6,3-7,6	6,3-7,6

**Feng-yun-4** (табл. 6) будут китайскими геостационарными спутниками второй серии, похожими на американские GOES -13/15. **Feng-Yun-4 будут предоставлять 14-канальное** изображение с периодом сканирования территории Китая каждые 5 минут [2].

Из обзора действующих спутниковых систем ДЭЗ следует, что благодаря достаточно широкому спектральному диапазону большинства спутников, их можно использовать в различных сферах деятельности, но по причине низкого разрешения области использования сужаются до климатологии, отслеживания лесных пожаров и прочих видов деятельности,

Таблица 5

#### Основные характеристики FY-2

<b>Позиция устойчивости</b>		Стабильность спина (100 оборотов/мин)	
<b>Высота орбиты</b>		35800 км	
<b>Сенсоры</b>		S-VISSR, L-Fax, etc.	
<b>Параметры радиометра</b>			
<b>Каналы</b>	<b>Диапазон волн</b>	<b>Разрешение в надире</b>	<b>Временное разрешение</b>
Видимый	0,55-1,05 микрон	1,25 x 1,25 (км x км)	1 час
Водяной пар	6,2 - 7,6 микрон	5 x 5 (км x км)	1 час
Инфракрасный	10,5-12,5 микрон	5 x 5 (км x км)	1 час

Основные характеристики FENG-YUN-4

Каналы	Диапазон (микрон)	Разрешение (км)	Описание
Видимый и ближний инфракрасный	0,45-0,49	1	Аэрозоли
	0,55-0,75	0,5-1	Облака, туман
	0,75-0,90	1	Растительность
Коротковолновый инфракрасный	1,36-1,39	2	Перистые облака
	1,58-1,64	2	Облака, снег
	2,10-2,35	2-4	Перистые облака, аэрозоли
Средневолновой инфракрасный	3,5-4,0 (высокий)	2	Огонь
	3,5-4,0 (низкий)	4	Земная поверхность
Водяные пары	5,8-6,7	4	Водяные пары
	6,9-7,3	4	Водяные пары
Длинноволновой инфракрасный	8,0-9,0	4	Водяной пар, облака
	10,3-11,3	4	Температура поверхности океана
	11,5-12,5	4	Температура поверхности океана
	13,2-13,8	4	Облака, водяные пары

не требующих высокой детализации исследуемой территории. Еще одно направление использования подобного вида спутников – это спутниковая связь и телевидение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. FY-2D / MISSION SUMMARY. CEOS EO HANDBOOK [сайт] --. URL: <http://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=364> (дата обращения: 01.08.2012).
2. GEO-NEWS AROUND THE WORLD / GEOS Project Science [сайт]. URL: <http://goes.gsfc.nasa.gov/text/geonews.html#FENGYUN2> (дата обращения: 01.08.2012).
3. GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 2nd Generation Serie / EO: Sharing Earth Observation Resources [сайт]. URL: [http://www.eoportal.org/directory/pres\\_GOESGeostationaryOperationalEnvironmentalSatellite2ndGenerationSeries.html](http://www.eoportal.org/directory/pres_GOESGeostationaryOperationalEnvironmentalSatellite2ndGenerationSeries.html) (дата обращения: 01.08.2012).
4. Goes Status / Office of Satellite Operations [сайт]. URL: <http://www.oso.noaa.gov/goesstatus/> (дата обращения: 01.08.2012).
5. METEOSAT – Meteorological Satellite / Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial [сайт]. URL: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/meteosat.htm> (дата обращения: 01.08.2012).
6. Satellite / EUMETSAT [сайт]. URL: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/index.htm?l=> (дата обращения: 17.08.2012).