

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.

Европейская программа GMES и перспективная группировка спутников ДЗЗ Sentinel

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг окружающей среды имеет важнейшее значение в современном мире для обеспечения безопасного и комфортного проживания людей. Он позволяет понять, как меняется наша планета и ее климат, какую роль в этих изменениях играют антропогенные и техногенные факторы.

В 1998 г. для обеспечения всеобъемлющего мониторинга окружающей среды руководящими органами Европейского Союза было принято решение о развертывании программы GMES (Global Monitoring for Environment and Security), которая должна осуществляться под эгидой Еврокомиссии в партнерстве с Европейским космическим агентством (European Space Agency, ESA) и Европейским агентством по окружающей среде (European Environment Agency, EEA). Являясь на сегодняшний день наиболее масштабной программой наблюдения Земли, GMES обеспечит государственные органы и других пользователей высокоточной, современной и доступной информацией для улучшения контроля изменений окружающей среды, понимания причин изменения климата, обеспечения безопасности жизни людей и решения других задач.

Ввод в действие программы GMES будет осуществляться в три этапа:

- 2008–2010 гг.: начало работы предварительных (пилотных) сервисов GMES.
- 2011–2013 гг.: начало функционирования большинства сервисов GMES.
- С 2014 г.: работа в полном объеме всех сервисов GMES.

На практике GMES будет состоять из сложного комплекса систем наблюдения: спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наземных станций, морских судов, атмосферных зондов и т.д.

КОСМИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ GMES

Европейское агентство по окружающей среде (EEA) опирается на данные, полученные от множества источников наблюдений на суше, море или в атмосфере. Эти данные поступают от европейских и неевропейских организаций. GMES обеспечит единую систему, которая позволит свести это многообразие информации с данными, получаемыми с космических аппаратов, обеспечив целый ряд тематических информационных сервисов, призванных помочь в решении задач улучшения окружающей среды и условий жизни, гуманитарных проблем, а также поддержать принятие политических решений в интересах более устойчивого развития общества.

Будущий успех GMES базируется на хорошо продуманном космическом компоненте, которому мы и уделим основное внимание в этом обзоре.

GMES будет опираться на два типа систем ДЗЗ: спутники Sentinel, специально предназначенные для программы GMES (их оператором будет ESA), и национальные (или международные) спутниковые системы ДЗЗ, включенные в так называемые **миссии содействия GMES** (GMES Contributing Missions; GCMS). В космический компонент GMES войдет единый наземный сегмент, посред-



Рис. 1.
Спутник Sentinel-1

ством которого будет обеспечиваться свободный доступ к сервисам GMES.

Название спутников Sentinel символично – его можно перевести с английского языка как «Страж», что как нельзя лучше раскрывает суть этой системы, специально предназначенной для обеспечения программы безопасного и комфортного проживания людей. Запуск спутников Sentinel начнется с 2013 г. Они будут вести съемки с использованием различных технологий, например с помощью радаров и оптико-электронных мультиспектральных сенсоров.

Для реализации программы GMES под общим руководством ESA ведется разработка пяти типов спутников ДЗЗ Sentinel, каждый из которых будет осуществлять определенную миссию, связанную с мониторингом Земли.

Каждая миссия Sentinel будет включать в себя группировку из двух спутников для обеспечения наилучшего охвата территории и ускорения повторных съемок, что послужит повышению надежности получения и полноте данных для GMES.

Sentinel-1

Миссия Sentinel-1 будет представлять собой группировку из двух радарных спутников (рис. 1) на полярной орбите, оснащенных радаром с синтезированной апертурой (SAR) для съемок в С-диапазоне.

Съемки радарных спутников Sentinel-1 не будут зависеть от погоды и времени суток. Первый спутник миссии планируется запустить в 2013 г., а второй – в 2016 г. Предназначенная специально для программы GMES, миссия Sentinel-1 продолжит радарные съемки С-диапазона, начатые и продолжаемые спутниковыми системами ERS-1, ERS-2, Envisat (оператор – ESA) и RADARSAT-1,2 (оператор – компания MDA, Канада).

Радар SAR будет работать в двух основных режимах: Interferometric Wide Swath и Wave. Первый имеет ширину полосы охвата 250 км и пространственное разрешение 5х20 м. Эти два режима удовлетворяют большинство требований, предусмотренных сервисами GMES. Два других режима (Stripmap, Extra Wide Swath) являются дополнительными.

Таблица 1

Основные характеристики спутника Sentinel-1

Даты запуска спутников (планируемые): 2013 г. (Sentinel-1A), 2016 г. (Sentinel-1B)		
Стартовая площадка: космодром Куру (Франция)		
Средство выведения: РН «Союз» (Россия)		
Разработчики: Thales Alenia Space Italy (Италия), EADS Astrium GmbH (Германия), Astrium UK (Великобритания)		
Оператор: Европейское космическое агентство		
Масса, кг	2280	
Орбита	Тип	Полярная солнечно-синхронная
	Высота, км	693
Расчетный срок функционирования, лет	7	

Таблица 2

Основные технические характеристики съемочной аппаратуры Sentinel-1

Спектральный диапазон	С-диапазон		
Периодичность съемки, сутки	1-3		
Режим	Номинальное пространственное разрешение, м	Ширина полосы съемки, км	Поляризация
Interferometric Wide Swath	5x20	250	Двойная (по выбору – HH/HV или W/VH)
Extra Wide Swath	20x40	400	
Stripmap	5x5	80	
Wave	20x5	20x20	Одинарная (по выбору – W или HH)

Группировка Sentinel-1, как ожидается, будет обеспечивать съемками всю территорию Европы, Канады, а также основные морские судходные пути каждые 1–3 дня, независимо от погодных условий. Радарные данные будут поставляться в течение часа после проведения съемки – это большой шаг вперед по сравнению с существующими радарными спутниковыми системами.

Миссия будет обеспечивать многие сервисы GMES, например мониторинг покрытых льдом арктических морей, картографирование ледовых полей, мониторинг нефтяных разливов и обнаружение кораблей с целью обеспечения безопасности, мониторинг подвижек земной поверхности, картографирование лесов, внутренних вод и почв, поддержка гуманитарных операций и управления кризисными ситуациями.

Миссия Sentinel-1 с акцентом на надежность, стабильность работы, глобальное покрытие съемками, обеспечение быстрой поставки данных, как ожидается, будет способствовать развитию новых технологий для удовлетворения возрастающих потребностей программы GMES.

Работа над созданием спутников Sentinel-1 в настоящее время осуществляется консорциумом во главе с компанией Thales Alenia Space Italy в качестве генерального подрядчика, Astrium Germany (радар C-SAR), Astrium UK (электронное оборудование).

В табл. 1,2 приведены основные характеристики спутников Sentinel-1.

Sentinel-2

Пара спутников Sentinel-2 (рис. 2) будет регулярно поставлять космические снимки высокого разрешения на всю Землю, обеспечивая непрерывность получения данных с аналогичными характеристиками, как в программах SPOT и Landsat.

Sentinel-2 будет оснащен оптико-электронным мультиспектральным сенсором для съемок с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра, включающих в себя 13 спектральных каналов, что гарантирует отображение различий в состоянии растительно-

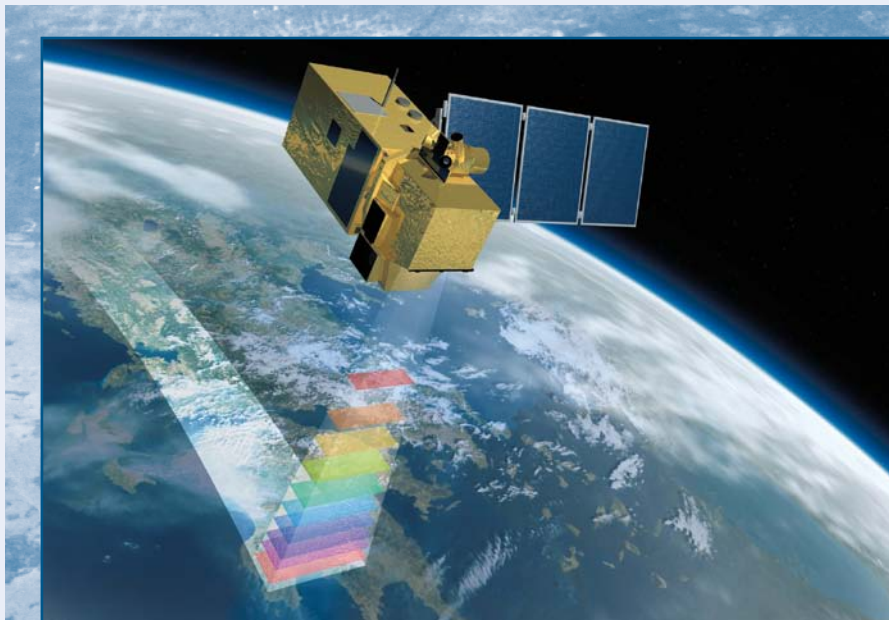


Рис. 2.
Спутник Sentinel-2

сти, в том числе и временные изменения, а также сводит к минимуму влияние на качество съемки атмосферы.

Орбита высотой в среднем 785 км, наличие в миссии двух спутников позволит проводить повторные съемки каждые 5 дней на экваторе и каждые 2–3 дня в средних широтах. Первый спутник планируется запустить в 2013 г.

Увеличение ширины полосы обзора наряду с высокой повторяемостью съемок позволит отслеживать быстро

изменяющиеся процессы, например изменение характера растительности в течение вегетационного периода.

Данные Sentinel-2 будут обеспечивать сервисы GMES, связанные, например, с управлением земельными ресурсами, сельскохозяйственным производством и лесным хозяйством, а также мониторингом стихийных бедствий и гуманитарных операций.

Уникальность миссии Sentinel-2 связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных

Таблица 3

Основные характеристики спутника Sentinel-2

Даты запуска спутников (планируемые): 2013 г. (Sentinel-2A), 2015 г. (Sentinel-2B)		
Стартовая площадка: космодром Куру (Франция)		
Средство выведения: РН «Рокот» (Россия)		
Разработчик: EADS Astrium Satellites (Франция)		
Оператор: Европейское космическое агентство		
Масса, кг	1100	
Орбита	Тип	Солнечно-синхронная
	Высота, км	785
Расчетный срок функционирования, лет		7

Таблица 4

Основные технические характеристики съемочной аппаратуры Sentinel-2

Режим съемки	VNIR										SWIR		
	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	9	10	11	12
Спектральные каналы													
Спектральный диапазон, мкм	0,44	0,49	0,56	0,66	0,70	0,74	0,78	0,84	0,86	0,94	1,38	1,61	2,19
Пространственное разрешение (в надире), м	60	10	10	10	20	20	20	10	20	60	60	20	20
Ширина полосы съемки, км	290												
Периодичность съемки, сутки	От 5 (на экваторе) до 2–3 (в средних широтах)												

съемок и, как следствие, систематическим получением полного покрытия всей Земли мультиспектральной съемкой высокого разрешения.

В табл. 3,4 приведены основные характеристики спутников Sentinel-2.

Sentinel-3

Основной целью миссии Sentinel-3 является наблюдение за топографией поверхности океана, температурой поверхности моря и суши, цветом океана и суши с высокой степенью точности и надежности для поддержки систем прогнозирования состояния океана, а также для мониторинга окружающей среды и климата.

Sentinel-3 (рис. 3) – наследник хорошо себя зарекомендовавших спутников ERS-2 и Envisat. Его инновационное оборудование включает в себя:

- **SLSTR** (*Sea and Land Surface Temperature Radiometer*) – аналог радиометра AATSR (*Advanced Along Track Scanning Radiometer*), которым оснащен спутник Envisat. Он измеряет температуры с точностью не хуже 0,3 К и имеет улучшенные характеристики по сравнению с AATSR, в том числе и по учету атмосферной коррекции. SLSTR будет проводить измерения в 9 спектральных каналах и 2 дополнительных каналах, оптимизированных для мониторинга пожаров. Пространственное разрешение в видимой и инфракрасной коротковолновой зоне спектра – 500 м, а в тепловых инфракрасных каналах – 1 км.
- **OLCI** (*Ocean and Land Colour Instrument*) – аналог спектрометра MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*), которым оснащен спутник Envisat. Число спектральных каналов в OLCI увеличено с 15 до 21, конструкция прибора оптимизирована для

минимизации влияния солнечных лучей, пространственное разрешение – 300 м. OLCI – новое поколение инструментов для измерения параметров океанов и суши. Полосы охвата OLCI и SLSTR (в надире) полностью перекрываются.

- Двухчастотный (Ku- и С-диапазон) радар SRAL (*Synthetic Aperture Radar Altimeter*) базируется на разработках для спутниковой системы CryoSat и обеспечит измерения с разрешением ~ 300 м в режиме SAR вдоль маршрута. Он будет поставлять точные данные о топографии поверхности океана, которые имеют существенное значение для океанографических задач и мониторинга климата. SRAL также будет осуществлять точные измерения топографии морского льда, ледовых щитов и т. д.

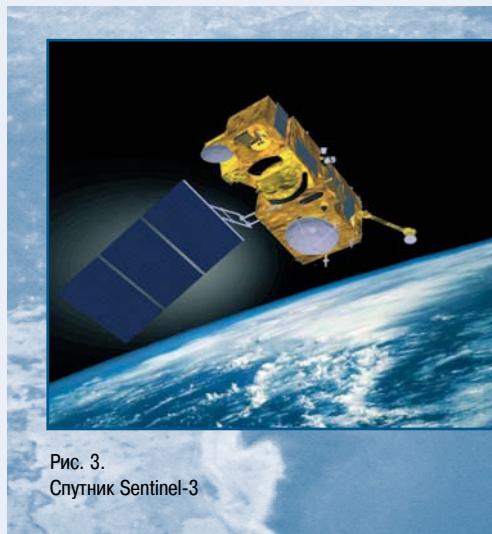


Рис. 3.
Спутник Sentinel-3

Пара спутников Sentinel-3 будет иметь высокую повторяемость съемок: менее двух дней для OLCI и менее одного дня для SLSTR на экваторе. Орбиты спутников (815 км) обеспечат получение полного пакета топографических данных каждые 27 дней.

Запуск первого спутника миссии Sentinel-3 запланирован на 2013 г., сразу же после Sentinel-2, что обеспечит выполнение предусмотренных программой GMES соответствующих сервисов. Спутник Sentinel-3B планируется запустить в 2018 г.

Данные, получаемые практически в реальном режиме времени, будут использоваться для прогнозирования океанических процессов, картографирования морских льдов. Спутники обеспечат информацией службы, наблюдающие за экологическим состоянием морей и нуждающиеся в точных и оперативных данных о состоянии поверхности океанов, в том числе о температуре воды, океанических экосистемах, качестве воды и мониторинге загрязнения окружающей среды. Сервисы GMES, связанные с наблюдением за земной поверхностью, также будут получать полезную информацию со спутников Sentinel-3, связанную с мониторингом изменений земной поверхности, лесного покрова, качества почвы, выявлением природных пожаров.

Sentinel-4 и Sentinel-5

Миссии Sentinel-4 и Sentinel-5 предназначены для обеспечения данными о составе атмосферы соответствующих сервисов GMES. Обе миссии будут реализовываться на платформе метеорологических спутников, оператором которых является Европейская организация спутниковой метеорологии EUMETSAT.

Установленное на геостационарном спутнике MTG (Meteosat Third Generation) -Sounder (MTG-S) оборудование миссии Sentinel-4 будет состоять из спектрометра UVN (Ultraviolet Visible Near-infrared) и теплового сенсора IRS (InfraRed Sounder). После его запуска и вывода на орбиту миссия Sentinel-4 будет также оперировать данными с сенсора FCI (Flexible Combined Imager), установленного на спутнике MTG-Imager (MTG-I).

Первый спутник MTG-S планируется запустить в 2019 г., а первый спутник MTG-I в 2017 г.

Оборудование миссии Sentinel-5 будет состоять из спектрометра UVNS (Ultraviolet Visible Near-infrared Shortwave), теплового сенсора Eumetsat IRS, камер VII (Visible Infrared Imager) и 3MI (Multi-viewing Multi-channel Multi-polarization Imager). Этим оборудованием будет

оснащен спутник MetOp Second Generation, который будет находиться на полярной орбите.

Первый спутник MetOp Second Generation предполагается запустить в 2020 г.

Чтобы избежать перерывов в поставке данных по наблюдению за атмосферой и по окончании программы Envisat и до начала миссии Sentinel-5 планируется запуск спутника-предвестника в 2014 г. — это совместная инициатива ESA и Нидерландов. Спутник будет оснащен спектрометром UVNS (TROPOMI).

Сервисы, поддерживаемые миссиями Sentinel-4 и Sentinel-5, будут включать мониторинг качества воздуха, стратосферного озона и солнечной радиации, а также изменений климата.

Наземный сегмент космического компонента GMES

Наземный сегмент GMES обеспечит доступ к данным Sentinel. Он также будет взаимодействовать с миссиями содействия для координации потока данных.

Наземный сегмент будет включать в себя центр оперативного управления спутниками Sentinel и средства для обработки данных и создания производных продуктов для программы GMES. Специальный документ (Data Access Portfolio) определяет все наборы данных и продуктов, а также условия доступа к ним, такие, как порядок, уровень обработки, время поставки, лицензирование, в соответствии с которыми эти данные доступны для использования.

Для доступа к данным космического компонента GMES создан специальный веб-сайт.

МИССИИ СОДЕЙСТВИЯ GMES

Как уже упоминалось выше, GMES будет опираться не только на спутники Sentinel, но и на спутниковые системы D33, включенные в миссии содействия GMES.

До момента запуска спутников Sentinel миссии содействия играют решающую роль в обеспечении сервисов программы GMES данными D33. Однако даже тогда, когда спутники Sentinel начнут функционировать, миссии содействия будут по-прежнему необходимы для обеспечения всеобъемлющей полноты данных.

В настоящее время имеется около 30 функционирующих или планируемых к запуску спутников и спутниковых систем, составляющих миссии содействия GMES. К ним относятся космические аппараты, принадлежащие непо-

средственно ESA, государствам-членам ESA, другим странам, метеоспутники EUMETSAT и др. Представим краткий обзор спутников, данные с которых используются сервисами GMES.

Оптические спутники

Оптико-электронные системы способны распознавать пассивное отраженное излучение земной поверхности в видимом, ближнем инфракрасном диапазонах. В таких системах излучение попадает на соответствующие датчики, генерирующие электрические сигналы в зависимости от интенсивности излучения. Для получения изображения необходимо объединить большое количество одноэлементных датчиков или сканировать цель одним датчиком. Устройство такого типа называется прибором с зарядовой связью (ПЗС).

Оптико-электронные сенсоры – наиболее распространенные инструменты, используемые для ДЗЗ. Они, как правило, проводят съемку в надире с разрешением от 0,5 до 300 м и с полосой обзора шириной от десятков до сотен километров.

Оптические съемки применяются для решения задач в разных областях, таких, как сельское хозяйство, градостроительное планирование, ландшафтное картографирование, оценка ущерба, связанного с опасными природными явлениями. Они, однако, возможны только в безоблачную погоду и в дневное время суток.

Данные могут быть использованы для анализа широкого диапазона параметров, в том числе температуры поверхности океанов и суши, снежного покрова и морских льдов, облачности. Они являются важным источником информации о растительности и ее сезонных изменениях, что важно для выявления районов засухи и раннего предупреждения о возможном возникновении голода.

Миссии содействия GMES включают в себя следующие спутники с оптико-электронными сенсорами.

ERS-2/ATSR-2 (ESA). Спутниковая система ERS разрабатывалась ESA с начала 1980-х гг. На спутнике ERS-1 было установлено 5, на спутнике ERS-2 – 6 разнообразных инструментов ДЗЗ, включая оптические ультрафиолетовые и инфракрасные сканеры, радарные альтиметры и др. Запущенный в 1995 г. спутник ERS-2 оснащен в т. ч., инструментом ATSR (Along Track Scanning Radiometer), который включает в себя инфракрасный радиометр и сверхвысокочастотный зонд.

ATSR используется для измерения температуры поверхности океана и верхней границы облаков, мониторинга растительности. Ширина полосы съемки – 500 км, пространственное разрешение – 1 км. Эксплуатация спутника была прекращена в июле 2011 г., поэтому для нужд GMES будут использоваться только архивные данные.

Envisat / MERIS, AATSR (ESA). Запущенный в 2002 г., спутник Envisat – один из самых больших спутников ДЗЗ (его масса составляет 8211 кг). Спутник является многоцелевым – на нем установлено 9 разнообразных инструментов ДЗЗ, включая оптические сканеры, ультрафиолетовые и инфракрасные спектрометры, радарный альтиметр и т. д. Спектрометр MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) ведет съемку в 15 спектральных каналах с пространственным разрешением 300 м. Он покрывает съемкой всю Землю каждые 3 дня. Envisat также оснащен прибором AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer), ведущим съемку с шириной полосы 500 км и разрешением 1 км. AATSR был специально разработан для измерения температуры поверхности моря.

RapidEye (Германия). Группировка из пяти миниспутников RapidEye, запущенная в 2008 г., предназначена для решения мониторинговых задач во многих отраслях. Параметры спутников (высокое пространственное разрешение, пять спектральных каналов, отличные геометрические и радиометрические характеристики, возможность ежесуточных повторных съемок) особенно подходят для использования данных в сельском и лесном хозяйстве, нефтегазовом комплексе, энергетике, телекоммуникации, тематическом и специальном картографировании, экологии и охране окружающей среды, управлении чрезвычайными ситуациями. Съемка земной поверхности ведется в пяти каналах. Уникальным для спутников высокого разрешения является канал red-edge (крайний красный), который оптимально подходит для наблюдения и измерения изменений состояния растительного покрова. Группировка обеспечивает ежедневное покрытие съемками площадь в 4 млн кв. км. Периодичность съемки одного и того же района Земли – 24 часа. Пространственное разрешение снимков – 6,5 м (после обработки – 5 м). Ширина полосы съемки – 77 км.

SPOT (Франция). Спутниковая система наблюдения за поверхностью Земли SPOT (Satellite Pour L'Observation de la Terre) начала съемки в 1986 г. Последний спутник серии, SPOT-5, был запущен в

2002 г. Он оснащен двумя камерами высокого разрешения, позволяющими получать панхроматические изображения с разрешением 5 м (в режиме SuperMode – до 2,5 м) и мультиспектральные – с разрешением 10 м; ширина полосы съемки – 60 км. Кроме того, на SPOT-5 установлена камера Vegetation 2, позволяющая получать практически ежедневно снимки всей поверхности Земли с разрешением 1 км.

Prisma (Швеция) – система наблюдения Земли из двух мини-спутников (Tango и Mango), запущенных в 2010 г., с инновационными оптико-электронными приборами, включающими в себя гиперспектральный сенсор (пространственное разрешение – 20–30 м) и панхроматическую камеру (разрешение 2,5–5 м). Ширина полосы съемки – 30–60 км.

DMC (Disaster Monitoring Constellation) представляет собой группировку спутников, предназначенных для оперативной оптической мультиспектральной съемки районов стихийных бедствий для государственных агентств и коммерческого использования. Создание группировки DMC началось в 2001 г., первым в 2002 г. был запущен спутник Alsat-1 (Алжир). В настоящее время на орбите функционирует 6 спутников, принадлежащих Алжиру, Великобритании, Испании, Китаю и Нигерии. Все спутники находятся на солнечно-синхронной орбите для обеспечения ежедневных глобальных покрытий съемками. Спутники Alsat-1, Beijing-1 (Китай), Nigeriasat-1 (Нигерия) и UK-DMC (Великобритания), запущенные в 2002–2005 гг., имеют пространственное разрешение 32 м и ширину полосы съемки 600 км. Второе поколение спутников – UK-DMC-2 (Великобритания), Deimos-1 (Испания), Nigeriasat-X (Нигерия) – были запущены в 2009–2011 гг., их пространственное разрешение улучшилось до 22 м. Спутник Nigeriasat-2 (Нигерия), запущенный в августе 2011 г., принадлежит к третьему поколению спутников DMC. Он ведет съемку с разрешением 2,5 м в панхроматическом и 5 м в мультиспектральном режимах; ширина полосы съемки – 20 км.

Proba-V (ESA). Мини-спутник Proba-V, запуск которого запланирован на 2012 г., будет оснащен камерой Vegetation, аналогичной установленной на спутнике SPOT. Он будет иметь более высокое, чем у спутников SPOT-4 и SPOT-5, разрешение – 300 м (вместо 1000 м) и ширину полосы съемки 2250 км.

Deimos-2 (Испания). Спутник ДЗЗ высокого разрешения запланирован к запуску в 2013 г. Он будет иметь

разрешение 1 м (в панхроматическом режиме) и 4 м (в мультиспектральном); ширина полосы съемки – 12 км.

SEOSat-Ingenio (Испания). Спутник класса SPOT SEOSat-Ingenio планируется запустить в 2013 г. Он будет передавать снимки с разрешением 2,5 м в панхроматическом режиме и 10 м – в мультиспектральном. Ширина полосы съемки соответственно 30 и 60 км.

EnMAP (Германия). Планируемый к запуску в 2012 г., спутник EnMAP (Environmental Mapping and Analysis Program) предназначен для гиперспектральной съемки с шириной полосы обзора 30 км, пространственным разрешением 30 м, отклонением от надиратора 30° для ускорения повторных съемок (4 дня).

HiROS (Германия). Группировка спутников HiROS будет состоять из трех космических аппаратов, планируемых к запуску в 2013 г. Данные будут иметь разрешение 0,5 м в панхроматическом режиме и 2 м – в мультиспектральном, ширина полосы съемки – 12 км. Группировка HiROS будет иметь высокую повторяемость съемок.

Pleiades (Франция). Программа Pleiades High Resolution включает в себя два спутника нового поколения сверхвысокого пространственного разрешения Pleiades-1 и Pleiades-2 с одинаковыми техническими характеристиками (пространственное разрешение – 0,5 м в панхроматическом режиме и 2 м – в мультиспектральном; ширина полосы съемки – 20 км). Спутники будут синхронизированы на одной орбите таким образом, чтобы иметь возможность обеспечить ежедневную съемку одного и того участка земной поверхности. Используя космические технологии нового поколения, такие, как оптико-волоконные системы гиросtabilизации, космические аппараты Pleiades-1 и Pleiades-2 будут обладать беспрецедентной маневренностью. Они смогут проводить съемку в любом месте 800-километровой полосы меньше чем за 25 секунд с точностью геопозиционирования меньше 3 м (СЕ90) без использования наземных опорных точек и 1 м – с использованием наземных точек. Pleiades-1 запланирован к запуску в 2011 г., Pleiades-2 – в 2012 г.

VENμS (Франция/Израиль). Спутник VENμS (Vegetation and Environment monitoring on a New Micro-Satellite) разрабатывается в кооперации между Израилем и Францией для наблюдения за растительным покровом с использованием мультиспектрального сенсора высокого разрешения с 12 каналами. Запуск спутника запланирован на 2013 г.

Радарные спутники

Радарная космическая съемка выполняется в ультратонковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн, подразделяемой на X-, C- и L-диапазоны. Радиолокатор направляет луч электромагнитных импульсов на объект. Часть импульсов отражается от объекта, и датчик измеряет как характеристики отраженного сигнала, так и расстояние до объекта. Все современные космические радарные системы – это радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR).

Радар с синтезированной апертурой (SAR) может обеспечить круглосуточную съемку Земли. Кроме того, облака, туман и осадки не имеют существенного влияния в микроволновом диапазоне, так что изображения могут быть получены независимо от погодных условий, что является неоспоримым преимуществом при проведении съемок в полярных широтах, районах наводнений и других стихийных бедствий.

Оперативность является одним из основных преимуществ радарных систем ДЗЗ. Также следует отметить, что радарные данные служат источником уникальной информации о подстилающей поверхности: они позволяют определять малейшие вертикальные смещения (вплоть до нескольких миллиметров).

Миссии содействия GMES включают в себя следующие радарные спутники.

ERS-2/SAR (ESA). Радар с синтезированной апертурой (SAR), установленный на спутнике, ведет съемки в C-диапазоне в двух режимах. Основной режим (AMI-SAR Image Mode) имеет ширину съемки 100 км и пространственное разрешение 25 м. Как уже было отмечено выше, эксплуатация спутника была прекращена в июле 2011 г.

Envisat/ASAR (ESA). Одним из инструментов, которыми оснащен спутник, является ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar), который работает в C-диапазоне в четырех режимах (Image, Wave, Wide Swath и Global Monitoring). Разрешающая способность в первых двух режимах составляет приблизительно 30 м. В режиме WideSwath она составляет 150 м, а в режиме Global Monitoring – 1000 м.

TerraSAR-X, TanDEM-X (Германия). Спутники TerraSAR-X (запущен в 2007 г.) и TanDEM-X (запущен в 2010 г.) оснащены новейшими радарными с синтезированной апертурой, позволяющими выполнять съемку земной поверхности с высоким пространственным разрешением (до 1 м). Они работают синхронно; по данным, получен-

ным с них, будет создана глобальная цифровая модель местности и рельефа, беспрецедентная по площади покрытия и точности. Съемки ведутся в X-диапазоне в различных режимах с разрешением от 1 до 16 м.

COSMO-SkyMed (Италия). Серия спутников двойного назначения COSMO-SkyMed 1–4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation – Созвездие малых спутников для наблюдения за Средиземноморским бассейном) разработана Итальянским космическим агентством (ASI) совместно с Министерством обороны Италии. Все спутники группировки оснащены радаром с синтезированной апертурой, позволяющим выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с высоким пространственным разрешением в X-диапазоне. Спутники были запущены в 2007–2010 гг. Они ведут съемку в различных режимах с разрешением от 1 (режим Spotlight) до 100 (режим ScanSAR Hugeregion) м. Параметры спутников COSMO-SkyMed (возможность всепогодных и не зависящих от облачности и освещенности повторных съемок с частотой до нескольких раз в сутки, высокое пространственное разрешение, одно- и двухполяризационный режимы и т.д.) оптимизированы для решения задач космического мониторинга в нефтегазовой и горнодобывающей отраслях, в сельском и лесном хозяйстве, а также для мониторинга судоходства, ледовой обстановки и нефтеразливов в акваториях.

RADARSAT-2 (Канада). Спутник был запущен в 2007 г. как продолжение миссии RADARSAT-1. Он оснащен радаром бокового обзора с синтезированной апертурой, обладающим, как и спутник RADARSAT-1, уникальными возможностями изменения ширины полосы съемки и пространственного разрешения. Съемка земной поверхности проводится в C-диапазоне длин волн (5,6 см), с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, WW), в диапазоне съемочных углов от 10 до 60 градусов. Спутник работает в нескольких режимах с разрешением от 3 до 100 м и шириной полосы съемки от 20 до 500 км. Продолжением проекта RADARSAT будет группировка RADARSAT Constellation Mission (RCM), состоящая из трех спутников, которые планируются к запуску в 2014 г. Спутники будут иметь несколько режимов съемки, с характеристиками аналогичными RADARSAT-2.

SeoSAR (Испания). Планируемый к запуску в 2012 г. SeoSAR – первый испанский радарный спутник для съемок с высоким разрешением в X-диапазоне. Он будет работать в трех режимах с разрешением 1, 3 и 18 м.

Спутники для альтиметрических измерений

Радарные альтиметры предоставляют высокоточные данные о высоте спутника над поверхностью океана путем измерения временного интервала между передачей и приемом очень коротких электромагнитных импульсов.

Альтиметрические измерения позволяют получить информацию о топографии поверхности океана, распространении морских льдов и высоте крупных айсбергов над уровнем моря, а также о топографии ледовых поверхностей и даже рельефе морского дна.

Следующие спутники миссии содействия GMES, оснащенные альтиметрами, будут дополнять миссию Sentinel-3.

Envisat/Radar Altimeter-2 (ESA). Радарный альтиметр (Radar Altimeter-2, или RA-2), которым оснащен спутник, является улучшенной версией инструментов, установленных на космических аппаратах ERS-1 и ERS-2. С 800-километровой высокой полярной орбиты он посылает на Землю 1800 импульсов в секунду, фиксируя время возврата сигналов с точностью до наносекунд, измеряя таким образом точное расстояние до поверхности планеты.

CryoSat (ESA). С высоты чуть более 700 км спутник обеспечивает точные данные об изменении толщины льда на широтах до 88°. Радарный альтиметр способен определять толщину подвижных льдов и следить за изменениями огромных ледяных покровов на суше, особенно за их кромоккой, в районах формирования айсбергов.

Jason-2 (OSTM)/Jason-3 (США/Франция). Запущенный в 2008 г., международный спутник миссии OSTM (Ocean Surface Topography Mission) Jason-2 продолжает непрерывное измерение топографии поверхности океана, начатое в 1992 г. совместной миссией агентств NASA (США) и CNES (Франция) Torex / Poseidon и продолженной в 2001 г. спутником Jason-1. Jason-2 проводит измерение с точностью до нескольких сантиметров каждые 10 дней для определения перемещения масс воды и среднего уровня океана для целей прогнозирования погоды, мониторинга климата и океанографии. Продолжением миссии Jason-2 будет спутник Jason-3, который запланирован к запуску в 2013 г. Это результат тесной кооперации между космическими агентствами CNES, NASA и метеорологическими организациями EUMETSAT (Европа) и NOAA (США). Спутник будет оснащен тем же высокоточным альтиметрическим оборудованием, что и его предшественники. Специально для программы GMES в 2017 г.

запланирован запуск следующего спутника миссии Jason-CS.

SARAL/AltiKa (Франция/Индия). Альтиметр Ka-диапазона AltiKa – главный инструмент спутника – станет первым океанографическим альтиметром, работающим на такой высокой частоте. Вместе с Jason-2, Envisat и Sentinel-3 спутник будет содействовать обеспечению данными оперативной океанографии и прогнозирования погоды. Запуск спутника запланирован в 2011 г.

Спутники для атмосферных наблюдений

Одна из наиболее известных и разработанных сфер использования данных ДЗЗ – это прогноз погоды. В течение нескольких десятилетий почти в реальном режиме времени космические снимки метеорологических спутников были главной составляющей ежедневных бюллетеней погоды.

Для измерения параметров атмосферы Земли используются многочисленные приборы и различные методы. Данные применяются для решения широкого круга задач, таких, как оперативная метеорология, мониторинг извержения вулканов, прогноз качества воздуха, исследования климата и поддержка принятия политических решений, связанных с изменениями климата.

Следующие спутники миссии содействия GMES, оснащенные инструментами для атмосферных наблюдений, будут дополнять миссии Sentinel-4 и Sentinel-5.

Envisat (ESA). В составе оборудования спутника имеется три прибора, предназначенных для мониторинга атмосферы: GOMOS (спектрометр со средним разрешением; в первую очередь предназначен для измерения уровня стратосферного озона), MIPAS (фурие-спектрометр для получения данных о составе газов в средних и верхних слоях атмосферы) и SCIAMACHY (спектрометр для проведения глобальных измерений малых газовых примесей в тропосфере и стратосфере).

MSG (ESA/EUMETSAT). Meteosat Second Generation (MSG) – наследник успешной миссии первого поколения геостационарных метеорологических спутников Meteosat. В 2002 г. к работающим на орбите спутникам Meteosat присоединился первый спутник MSG, который получил имя Meteosat-8. Второй спутник серии MSG (Meteosat-9) был запущен в 2005 г. Эти спутники, а также еще два запланированных будут гарантировать непрерывность метеонаблюдений в ближайшем будущем. Программа будет также продолжена миссией Meteosat Third

Generation (MTG), первый спутник которой планируется запустить в 2017 г.

MetOp (ESA/EUMETSAT). Программа MetOp (Meteorological Operational) является европейским вкладом в обеспечение метеорологическими данными с полярной орбиты для прогноза погоды и климатических исследований. Спутник MetOp-A был запущен в 2006 г., на 2012 г. запланирован запуск MetOp-B, а еще позже – MetOp-C.

Calipo (США/Франция). Запущенный в 2006 г. спутник является частью программы NASA Earth System Science Pathfinder. Он оснащен лидаром с ортогональной поляризацией, инфракрасным радиометром и широкоугольной камерой высокого разрешения для наблюдения облаков и аэрозолей в атмосфере.

Merlin (Германия/Франция). Запуск спутника запланирован на 2014 г. Он предназначен для измерения концентрации метана в атмосфере. Инструментом для этого послужит двухволновый лазер, разработка которого велась 10 лет.

СЕРВИСЫ ПРОГРАММЫ GMES

Мониторинговый потенциал программы GMES будет использоваться как в общеевропейских интересах, так и в интересах всего международного сообщества.

GMES будет предоставлять информацию для различных сфер, таких, как прогнозирование качества воздуха, предупреждение о наводнениях, раннее выявление возможной засухи и опустынивания, раннее предупреждение о суровых погодных условиях, обнаружение нефтяных пятен и предсказание их дрейфа, определение качества морской воды, прогноз урожая, мониторинг лесов, наблюдение за изменениями в землепользовании, мониторинг сельского хозяйства и продовольственной безопасности, планирование гуманитарных операций, – вот только некоторые из них.

Весь информационный поток программы GMES можно разделить на шесть основных групп: мониторинг океанов, мониторинг суши, мониторинг атмосферы, обеспечение мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, обеспечение безопасности, наблюдения за изменением климата. В соответствии с этим можно выделить шесть групп сервисов, которые будет обеспечивать программа GMES:

- **Сервисы, относящиеся к морской среде:** морская безопасность, морской транспорт, обнаружение нефтяных пятен, определение качества воды, про-

гноз погоды и наблюдение за окружающей средой в полярных регионах.

- **Сервисы, относящиеся к суше:** мониторинг водных ресурсов, сельского хозяйства и продовольственной безопасности, изменений землепользования, лесов, качества почв, городское планирование и охрана природы.
- **Сервисы, связанные с наблюдением за атмосферой:** мониторинг качества воздуха и прогнозирование уровня ультрафиолетовой радиации, мониторинг парниковых газов и климатических изменений.
- **Сервисы, связанные с мониторингом чрезвычайных ситуаций,** помогут смягчению последствий природных и техногенных катастроф, таких, как наводнения, лесные пожары и землетрясения, и будут содействовать проведению гуманитарных операций.
- **Сервисы, относящиеся к безопасности,** будут оказывать содействие усилиям по поддержанию мира, наблюдению за морским пространством и пограничному контролю.
- **Сервисы для мониторинга изменений климата** пересекаются со всеми вышеперечисленными сферами.

В каждом сервисе будет предлагаться набор данных и производных продуктов, предназначенных для удовлетворения потребностей конкретных групп пользователей на транснациональном, национальном, региональном и местном уровне. Все сервисы будут функционировать в полном объеме к 2014 г.

Мониторинг Мирового океана

Океаны играют ключевую роль в формировании климата Земли, обладают богатыми запасами биологических ресурсов и полезных ископаемых, имеют большое значение для международных перевозок.

Пилотным проектом GMES является **MyOcean**. Его продукты базируются на использовании моделей Мирового океана и европейских морских бассейнов и информации, получаемой с помощью спутников ДЗЗ или наземных наблюдений. Это данные об уровне моря, морских течениях, ветрах, температуре поверхности моря, солености, морских льдах и т. д. Сервис обеспечивает все области, относящиеся к морской тематике: безопасность, ресурсы, экология, климат.

В 2010–2011 гг. в рамках GMES начали реализовываться следующие сервисы:

- **AquaMar** (Marine Water Quality Information Services) – информация о качестве морской воды.
- **ASIMUTH** (Applied Simulations and Integrated Modelling for the Understanding of Toxic Algal Blooms) – моделирование распространения вредоносных водорослей и цветения воды.
- **CoBIOS** (Coastal Biomass Observatory Services) – наблюдение за биомассой в прибрежных зонах.
- **FIELD AC** (Fluxes, Interactions and Environment at the Land-Ocean Boundary) – наблюдение за приливами и другими природными явлениями в прибрежных океанических зонах.
- **OPERR** (Operational Pan-European River Runoff) – моделирование речных бассейнов Европы.
- **SeaU** (Multisensor Satellite Technologies for Oil Pollution Monitoring and Source Identification) – мониторинг нефтяных загрязнений с использованием мультиспектральных данных ДЗЗ.
- **SIDARUS** (Sea Ice Downstream Services for Arctic and Antarctic Users and Stakeholders) – наблюдение за морскими льдами Арктики и Антарктики

В перспективе планируется еще ряд сервисов, среди которых **MAIRES** (Monitoring Arctic Land and Sea Ice using Russian and European Satellites) – мониторинг арктических льдов по данным российских и европейских спутников ДЗЗ.

Мониторинг суши

Пилотным проектом GMES в области мониторинга суши является картографический сервис **geoland2**, который обеспечивает пользователей геоинформацией различного масштаба: от глобального охвата до локального. Основным продуктом сервиса являются карты землепользования, биофизических и вегетационных параметров растительности, ее сезонных изменений. Сервис предназначен для территориального планирования, сельского и лесного хозяйства, водного хозяйства и др.

В ближайших планах запуск следующих проектов:

- **EUFODOS** (European Forest Downstream Services-Improved Information on Forest Structure and Damages) – обеспечение данными о состоянии лесов.
- **PanGeo** – обеспечение доступа к геологической информации.

- **CryoLand** – наблюдение за снежным покровом и ледниками суши.
- **FreshMon** (High Resolution Freshwater Monitoring) – мониторинг пресной воды.

Есть также пять проектов, которые переросли в сервисы: **ISAC** (сельское хозяйство), **BIO_SOS** и **MS. MONINA** (сохранение биоразнообразия), **ReCover** и **REDDAF** (вырубка лесов).

Планируется запуск сервиса **HELM** для мониторинга земель и два других проекта в рамках международного сотрудничества по вырубкам лесов – **REDD-FLAME** и **REDDINESS**.

Мониторинг атмосферы

Мониторинг и прогнозирование качества воздуха над Европой имеют важное значение для здоровья и условий жизни людей.

Пилотным проектом GMES в области мониторинга атмосферы является сервис **MACC** (Monitoring Atmospheric Composition and Climate).

Он направлен на накопление данных о глобальных атмосферных составляющих, необходимых для мониторинга климата (например, концентрация в атмосфере углекислого газа, метана, озона и аэрозолей), о качестве воздуха, ультрафиолетовой радиации (на основе глобальных данных об озоновом слое и концентрации аэрозоля).

В 2010 г. начал реализовываться проект **Pasadoble**, который направлен на развитие местного и регионального наблюдения за качеством воздуха.

Управление чрезвычайными ситуациями

Пилотным проектом GMES в области управления чрезвычайными ситуациями является сервис **SAFER** (Safety and Fitness Electronic Records), который направлен на укрепление потенциала Европы в плане мониторинга чрезвычайных ситуаций, вызванных погодными явлениями, такими, как ураганы, природные пожары и наводнения, а также природными катаклизмами, такими, как землетрясения, цунами, извержения вулканов, оползни и проседания, экологическими антропогенными катастрофами, такими, как разливы нефти. SAFER будет также предоставлять информацию для решения гуманитарных катастроф. Сервис обеспечивает доступ к продуктам, включая необработанные космические снимки, для любой географической зоны по всему миру, данные о ситуации,

предшествовавшей стихийным бедствиям, и оперативные данные о ситуации сразу после стихийных бедствий – в течение 24 часов после события.

С 2010 г. начали работать сервисы, связанные с обеспечением информацией о стихийных бедствиях заинтересованных пользователей:

- **EOVSS** (European Volcano Observatory Space Service) – наблюдение за вулканами из космоса.
- **DORIS** (Ground Deformation Risk Scenarios) – наблюдение за деформациями земной коры.
- **SubCoast** – наблюдение за опусканием берегов по всей Европе.

До конца 2012 г. будет реализовываться проект TerraGrima. Он дополняет вышеперечисленные сервисы, предоставляя ЧС-агентствам, береговым, железнодорожным и дорожным службам поддержку в процессе оценки рисков и смягчения последствий стихийных бедствий, с использованием новейших технологий для измерения подвижек земной поверхности по радарным спутниковым данным.

Обеспечение безопасности

Сервисы GMES, связанные с безопасностью, находятся на относительно ранней стадии формирования, но имеются некоторые общеевропейские и национальные проекты, которые охватывают такие аспекты, как охрана морских и сухопутных границ, гуманитарные операции по оказанию помощи, раннее предупреждение и предотвращение конфликтных ситуаций.

Пилотным проектом GMES в области обеспечения безопасности является сервис **G-MOSAIC**, предназначенный для принятия политических решений в следующих областях:

- морская охрана – включает в себя наблюдение за морскими границами в Европе, безопасность на море, нелегальной иммиграцией и незаконной торговлей людьми;
- пограничный контроль – включает в себя наблюдение за сухопутными границам и критически важными объектами инфраструктуры, такими, как трубопроводы;
- поддержка внешнеполитических действий Европейского Союза – включает в себя предотвращение конфликтов, мониторинг населения и ресурсов (например, запаса пресной воды).

Имеется три других относящихся к безопасности проекта, все они связаны с будущим мониторингом Мирового океана:

- **NEREIDS** – комплексное наблюдение и охрана морского пространства.
- **SIMTISYS** – обнаружение в море маломерных движущихся объектов.
- **DOLPHIN** – модули поддержки принятия решений при охране морского пространства.

В рамках GMES функционирует также сервис **MARISS** (MARitime Security Service), финансируемый ESA. Он предлагает комплексный мониторинг морей в различных регионах Европы с использованием спутниковых данных в сочетании с наземными наблюдениями для поддержки более эффективного принятия решений по вопросам морской безопасности.

Мониторинг изменения климата

До настоящего времени не развернуто никаких специальных сервисов для обеспечения данными по проблемам изменения климата. Такая информация обеспечивается проектами, реализуемыми или планируемыми для мониторинга Мирового океана, суши и атмосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективное будущее программы GMES обеспечено гарантированным финансированием со стороны Европейского Союза и государств – его членов, межправительственных учреждений. Базовые сервисы, которые будут функционировать в рамках программы GMES, рассматриваются как «общественные блага» (public goods), доступ к ним планируется сделать свободным и бесплатным для любых организаций и граждан. Различные производные продукты (аналитические, прогнозные и т.д.), выполненные по специальным заказам, будут предоставляться на платной основе.

При подготовке статьи использованы материалы веб-сайтов Европейского космического агентства (www.esa.int), программы GMES (www.gmes.info), Еврокомиссии (cordis.europa.eu), компании EADS Astrium (www.astrium.eads.net) и другие источники.