

ГЛАВА 7. МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ РАДИОЧАСТОТ

7.1.1 Общее регулирование использования радиочастот

Исключительно важным по значению вопросом для обеспечения наблюдений за Землей из космоса является доступность радиочастотного спектра в микроволновом диапазоне (от 1 до 300 ГГц и выше). Это важно для:

- a) пассивных наблюдений за поверхностью Земли в окнах прозрачности атмосферы и за атмосферными газами в полосах поглощения;
- b) активных наблюдений с помощью радиолокаторов (альтиметрия, скаттерометрия, радиолокаторы с синтезированной апертурой);
- c) каналов связи, необходимых для передачи со спутника полученных данных и для управления спутником.

Использование спектра радиочастот координируется на глобальном уровне Международным союзом электросвязи (МСЭ). Регламенты радиосвязи принимаются странами — членами МСЭ на всемирных конференциях по радиосвязи (ВКР) каждые четыре года. МСЭ регулирует выделение полос радиочастот для различных видов применения, называемых «обслуживанием», например, для фиксированной и мобильной телесвязи, широкополосных мобильных применений, радионавигации, наземных радиолокаторов, устройств малого радиуса действия и электронного сбора новостей. Применения в отношении наблюдений за Землей определяются МСЭ как обслуживание в интересах двух специальных служб: Спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) и Метеорологической спутниковой службы (МСС). В то время как некоторые частотные диапазоны выделяются какой-либо службе для исключительного пользования, большинство частотных диапазонов выделяются ряду служб на определенных условиях (таких как с ограничением по количеству, мощности излучения и географическому распределению источников), которые направлены на исключение вредных помех.

С быстрым развитием сектора телесвязи и его возрастающими потребностями в расширении частотного диапазона защита радиочастот для ССИЗ и МСС стала критически важной задачей. К числу проблем, вызывающих озабоченность, относятся следующие:

- a) помехи от неконтролируемых излучений на частотах, используемых исключительно ССИЗ и МСС, или внеполосных излучений от близлежащих частотных диапазонов;
- b) совместное использование частотных диапазонов на условиях, недостаточно строгих для того, чтобы гарантировать надежную защиту;
- c) стремление других обслуживающих отраслей экономики расширить свои диапазоны и использовать частотные диапазоны, в настоящее время выделенные для ССИЗ и МСС;
- d) потребности ССИЗ и МСС в использовании новых частот, проявляющиеся в результате развития технологий дистанционного зондирования (например, в микроволновом диапазоне частот свыше 300 ГГц), растущих скоростей передачи данных или расширяющихся частотных диапазонов для телесвязи.

При рассмотрении этих вопросов необходимо учитывать, что выбор частот, используемых для пассивных методов измерений метеорологическими спутниками, обусловлен законами физики, лежащими в основе требуемых наблюдений. То есть,

выбранные для метеорологических спутников частоты должны соответствовать либо полосам поглощения наблюдаемых компонентов атмосферы, либо, в случае наземных наблюдений, атмосферным окнам с минимальным атмосферным поглощением. Важно также отметить, что природные излучения чрезвычайно слабые по сравнению с большинством искусственных источников излучения, и поэтому они легко искажаются. Поэтому частотные диапазоны для пассивного радиометрического зондирования должны рассматриваться как естественный и невозобновляемый ресурс, который необходимо сохранить.

7.1.2 Пассивная микроволновая радиометрия

Спектральный микроволновый диапазон, используемый для наблюдения за Землей, растянут с ~1,4 ГГц (например, для измерения солености океана) до ~2 500 ГГц и более. Самыми критически важными являются вопросы защиты частот ниже 300 ГГц. Использование частот свыше ~300 ГГц все еще развивается; более того, поскольку присутствие водяного пара влияет на процесс наблюдения за нижними слоями тропосферы, большинство приборов, работающих на этих частотах, предназначаются для определения химического состава атмосферы и используют лимбовые наблюдения, которые делают их менее подверженными к восприимчивости помех от наземных источников. МСЭ установил ограниченное число частотных полос, выделенных ССИЗ, для которых активные использования запрещены или ограничены. По мере того, как все больше пользователей используют радиочастотный спектр, и у пользователей появляется потребность в использовании более высоких скоростей передачи данных, возрастает и давление на более высокие частоты, приводящее к тому, что МСЭ вынуждено распределять частотные полосы, выделенные для ССИЗ, среди действующих служб. Только несколько узких диапазонов выделяются ССИЗ на исключительной основе, что обеспечивает надежную юридическую защиту. Это имеет следующие последствия:

- a) расположение в спектре выделенных микроволновых каналов зачастую не совпадает с пиком чувствительности для измерения необходимой геофизической переменной и может подвергаться различным помехам;
- b) защищенные частотные полосы могут быть настолько узкими, что отношение сигнала к уровню помех является очень низким; это может привести к рассмотрению возможности использования незащищенного частотного диапазона, в котором имеется более широкая полоса, при допущении риска возникновения помех.

К сожалению, давление со стороны других пользователей частотного спектра, включая коммерческие и мобильные службы, постоянно возрастает; специализированные группы ВМО, Координационная группа по метеорологическим спутникам (КГМС) и космические агентства должны постоянно отслеживать ситуацию при каждом пересмотре Регламента МСЭ. Одной из таких очень важных групп является Группа по координации пространственных частот (ГКПЧ), которая выступает в качестве форума для координации действий космических операторов в целях эффективного использования тех полос радиочастот, которые выделены МСЭ для таких видов обслуживания, как проведение космических исследований, осуществление космической оперативной деятельности, поддержание спутников исследования Земли и метеорологических спутников, а также в целях управления этими полосами.

7.1.3 Активное микроволновое зондирование

Проблема защиты частот также существует и для активного зондирования (альтиметрия, скатерометрия или радиолокаторы с синтезированной апертурой). Для некоторых видов применений радиолокационного отраженного рассеяния, подобных измерению атмосферных осадков, измерительная частота должна выбираться с учетом физических характеристик измеряемых переменных. В других случаях, таких как альтиметрия или получение изображений с помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой, это

не так критично, и существует некоторая гибкость в определении частоты в любом из L-, S-, C-, X-, K_u-, K-, K_a-, V- или W-диапазонов частот (см. определения в [таблице 2.8](#), глава 2 настоящего тома).

7.1.4 Эксплуатация спутников и частоты радиосвязи

Выделение частот для системы связи между спутником и наземной станцией является еще одним важнейшим вопросом. В этом случае, поскольку речь идет об активном использовании частот, Регламент МСЭ накладывает очень жесткие ограничения в отношении разрешенных частот, частотного диапазона и мощности излучения. Последствия этого следующие:

- a) более высокая стоимость наземных принимающих станций, работающих с низким уровнем сигнала;
- b) более высокие расходы из-за недостаточного частотного диапазона, доступного в одной полосе, для передачи данных, в результате чего приходится перераспределять ресурсы и задействовать более высокочастотные полосы, что требует использования более современной технологии и ориентирования антенны;
- c) прежде всего, более сложное обеспечение сохранности частоты, особенно для передачи данных в реальном времени; доступно меньше частот и иногда это провоцирует помехи, возникающие между спутниками одного семейства, которые одновременно находятся на орбите.

В любом случае, защиту радиочастоты трудно гарантировать, и пользователи испытывают проблемы, особенно в промышленно развитых районах. Для поддержания защиты требуется выделение целевых ресурсов в спутниковых организациях и ВМО. В таблице в этом разделе представлены частотные диапазоны, выделенные для передачи данных на метеорологические спутники и с них (WMO/ITU, 2008). В ней также учитывается частотный диапазон 7 850—7 900 МГц, который был добавлен на предыдущие ВКР. Со списком всех частот, используемых для передачи данных на спутники наблюдения Земли и с них, а также для микроволнового активного или пассивного дистанционного зондирования, можно ознакомиться на сайте: <https://space.oscar.wmo.int/satellitefrequencies>.

7.2 МЕЖДУНАРОДНАЯ КООРДИНАЦИЯ

7.2.1 Координационная группа по метеорологическим спутникам

Исходя из задачи долгосрочного обеспечения функционирования спутниковых программ, Координационная группа по метеорологическим спутникам (КГМС) в соответствии с согласованной базовой конфигурацией координирует работу спутниковых группировок на геостационарных и низких околоземных орбитах в поддержку программ ВМО и программ, спонсируемых ВМО. Учрежденная в 1972 г. с акцентом на мониторинге погоды с геостационарных спутников в целях прогнозирования погоды, КГМС с самого начала определяла общие стандарты для распространения изображений с низким разрешением в формате при факсимильной передаче метеорологических карт (ВЕФАКС) и для Международной системы сбора данных в поддержку мобильных станций, наблюдаемых различными спутниками. Первоначально КГМС также уделяла особое внимание геостационарным спутникам и содействовала созданию кольца геостационарных спутников вокруг Земли.

Сфера деятельности КГМС была расширена в 1992 г., охватив полярно-орбитальные метеорологические спутники и исследовательские спутники, вносящие вклад в работу глобальной космической системы наблюдений. В настоящее время КГМС все больше занимается наблюдениями за системой Земля, производимыми в целях решения задач

**Распределения полос частот, доступных для передачи данных
с метеорологических спутников**

<i>Направление космос-Земля</i>	<i>Направление Земля-космос</i>
137—138 МГц (метеорологические спутники на первичной основе)	401—403 МГц (ССИЗ и метеорологические спутники на первичной основе)
400,15—401 МГц (метеорологические спутники на первичной основе)	2 025—2 110 МГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1) (включая направление космос-космос)
460—470 МГц (ССИЗ и метеорологические спутники на вторичной основе)	8 175—8 215 МГц (метеорологические спутники на первичной основе)
1 670—1 710 МГц (метеорологические спутники на первичной основе)	28,5—30,0 ГГц (ССИЗ на вторичной основе) (Примечание 1)
2 200—2 290 МГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1) (включая направление космос-космос)	40,0—40,5 ГГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1)
7 450—7 550 МГц (метеорологические спутники на первичной основе, только для геостационарных спутников)	
7 750—7 900 МГц (метеорологические спутники на первичной основе, только для негеостационарных спутников)	
8 025—8 400 МГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1)	
18,0—18,3 ГГц (метеорологические спутники на первичной основе для направления космос-Земля в Районе 2, только для геостационарных спутников)	
18,1—18,4 ГГц (метеорологические спутники на первичной основе для направления космос-Земля в Районах 1 и 3, только для геостационарных спутников)	
25,5—27,0 ГГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1) (включая направления космос-космос в диапазоне 25,25—27,5 ГГц)	
37,5—40,0 ГГц (ССИЗ на вторичной основе) (Примечание 1)	
65,0—66,0 ГГц (ССИЗ на первичной основе) (Примечание 1)	

Примечание 1:

^a Поскольку метеорологические спутники являются подклассом Спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ), данные распределения (например, 8 025—8 400 МГц и 25 500—27 000 МГц) могут также использоваться для работы с метеорологическими спутниками и их применениями.

климата, океанографии и мониторинга окружающей среды. Согласованная базовая конфигурация КГМС описывает классы спутниковых программ и орбиты, на которых они должны поддерживаться на долгосрочной основе; она служит ориентиром для планируемых вкладов стран-членов в Интегрированную глобальную систему наблюдений ВМО (ИГСНВ) с учетом Перспективного видения в отношении ИГСНВ в 2040 году.

КГМС определяет технические стандарты или наилучшие методические рекомендации для обеспечения оперативной совместимости по всей глобальной системе. Она разработала

планы на случай непредвиденных ситуаций, которые предоставляют рамочную основу для действий в случае выхода из строя спутника или других непредвиденных трудностей в полноценном осуществлении согласованной базовой конфигурации.

Кроме того, Объединенная рабочая группа по климату Комитета по спутниковым наблюдениям за Землей (КЕОС/КГМС) координирует и поощряет совместную деятельность ведущих космических агентств мира в области мониторинга климата, преследуя главную цель — повышение систематической доступности климатических данных путем скоординированного внедрения и дальнейшего развития глобальной системы мониторинга климата из космоса. Рабочая группа по климату была создана в 2010 году для координации деятельности КЕОС по мониторингу изменения климата.

КГМС осуществляет работу через рабочие группы по следующим вопросам:

i) спутниковые системы и телесвязь; ii) спутниковая продукция; iii) планирование для обеспечения непрерывности наблюдений и на случай непредвиденных ситуаций; iv) глобальное распространение данных. Эти рабочие группы всегда собираются на ежегодных совещаниях КГМС. Совместно с ВМО КГМС инициировала крупные инициативы по сотрудничеству, к числу которых относятся Глобальная космическая система взаимных калибровок (ГСИКС), Проект по непрерывной скоординированной обработке спутниковых данных об окружающей среде для мониторинга климата (СКОПЕ-КМ), проекты по СКОПЕ и наукастингу и Виртуальная лаборатория для образования и подготовки кадров в области спутниковой метеорологии (ВЛаб). КГМС также инициировала создание нескольких международных научных рабочих групп, которые, в свою очередь, представляют регулярные сообщения на ежегодных заседаниях КГМС. В настоящее время КГМС спонсирует и помогает организовывать специальные совещания следующих пяти международных научных рабочих групп:

- a) Международная рабочая группа по прибору TIROS для оперативного вертикального зондирования (ТОВС) (МРГТ);
- b) Международная рабочая группа по ветрам (МРГВ);
- c) Международная рабочая группа по осадкам (МРГО);
- d) Международная рабочая группа по радиозатменным наблюдениям (МРГРН);
- e) Международная рабочая группа по облакам (МРГОб).

Более подробную информацию о КГМС можно получить по адресу: <https://www.cgms-info.org/>.

7.2.2 Комитет по спутниковым наблюдениям за Землей

Комитет по спутниковым наблюдениям за Землей (КЕОС) был основан в сентябре 1984 г. в соответствии с рекомендацией Группы экспертов по дистанционному зондированию из космоса, созданной под эгидой Рабочей группы по вопросам роста, технологий и занятости Экономического саммита промышленно развитых стран («Группы семи»). Данная группа экспертов признала многодисциплинарный характер космических наблюдений за Землей и важность координации международных усилий по наблюдению за Землей на благо общества. Таким образом, изначальная функция КЕОС заключалась в координации и согласовании наблюдений за Землей, чтобы пользователям было легче получать доступ к данным и использовать их. Первоначально в центре внимания КЕОС находились вопросы функциональной совместимости, общих форматов данных, взаимной калибровки приборов, а также общего утверждения и взаимного сравнения продуктов.

С момента создания КЕОС условия сбора и использования данных космических наблюдений за Землей изменились. Значительно увеличилось количество спутников наблюдения за Землей. Бортовые приборы стали более совершенными и теперь способны собирать новые типы данных, причем в постоянно растущих объемах. По мере

появления различных типов данных и разработки новых применений для наблюдений за Землей расширяется и становится более разнообразным и круг пользователей. Уровень организации деятельности пользователей также растет: было сформировано несколько международных органов, занимающихся координацией и продвижением требований к наблюдениям за Землей. В ответ на эти изменения меняется и КЕОС: его структура приобретает более сложный характер, а число и масштабы мероприятий растут. Помимо своих первоначальных обязанностей теперь КЕОС занимается рассмотрением уже утвержденных требований, выдвинутых внешними организациями, тесно сотрудничает с другими органами по координации спутниковых наблюдений (такими как КГМС) и продолжает играть роль основной площадки для международной координации космических наблюдений за Землей.

За последние три десятилетия КЕОС внес значительный вклад в развитие усилий специалистов по космическим наблюдениям за Землей. Пленарные заседания КЕОС позволяют учреждениям КЕОС регулярно общаться, сотрудничать и обмениваться информацией о деятельности в области наблюдений за Землей. Такая международная координация стимулировала полезные партнерства, такие как Комплексная стратегия глобальных наблюдений (КСГН), а КЕОС сыграла влиятельную роль в создании и постоянном развитии Группы по наблюдениям за Землей (ГЕО) и Глобальной системы систем наблюдения за Землей (ГЕОСС). Действительно, КЕОС занимается координацией космического сегмента ГЕОСС. Учреждения КЕОС вместе работают над запуском совместных межведомственных спутниковых программ, причем такие коллективные усилия становятся основным принципом разработки спутниковых программ наблюдений за Землей. КЕОС также выступает в качестве надежного канала связи с внешними организациями, что позволяет КЕОС понимать потребности и требования этих организаций в области наблюдения за Землей, а затем принимать соответствующие меры.

КЕОС обеспечивает международную координацию возможностей и активов отдельных учреждений КЕОС. Основопологающим принципом всех таких координационных усилий является демонстрация целесообразности и пользы постоянных космических наблюдений за Землей, особенно для удовлетворения потребностей заинтересованных сторон. Если говорить более конкретно, то его координационная деятельность охватывает как уже существующие, так и будущие системы спутникового наблюдения и направлена на обеспечение их взаимодополняемости и полного соответствия требованиям заинтересованных сторон.

Для осуществления внутренней координации КЕОС использует различные механизмы. На рабочем уровне эта координация обычно обеспечивается за счет объединения усилий нескольких рабочих групп (для координации инфраструктурных и междисциплинарных вопросов) и использования нескольких виртуальных группировок спутников (для координации тематических/профильных направлений). Кроме того, в зависимости от обстоятельств, эти постоянные механизмы КЕОС рабочего уровня могут быть подкреплены специальными мерами по осуществлению конкретных, более краткосрочных мероприятий.

К пяти упомянутым рабочим группам относятся (<http://ceos.org/ourwork/workinggroups/>):

- a) РГПД: Рабочая группа по созданию потенциала и распространению данных;
- b) РГКл: Рабочая группа КЕОС/КГМС по климату;
- c) РГКВ: Рабочая группа по калибровке и валидации;
- d) РГБ: Рабочая группа по бедствиям;
- e) РГИСО: Рабочая группа по информационным системам и обслуживанию.

В настоящее время существует семь виртуальных группировок спутников (<http://ceos.org/ourwork/virtual-constellations/>):

- a) состав атмосферы;
- b) съемка поверхности суши;
- c) топография поверхности океана;
- d) атмосферные осадки;
- e) радиометрические наблюдения за цветностью океана;
- f) наблюдения за векторами приводного ветра ;
- g) наблюдения за температурой поверхности моря.

В тех случаях, когда рабочих групп и виртуальных группировок спутников недостаточно, КЕОС может сформировать специальную команду (см. <https://ceos.org/ourwork/ad-hoc-teams/>).

7.3 ПЛАНИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ПРОГРАММ НАБЛЮДЕНИЙ

7.3.1 Срок эксплуатации спутниковой программы

В соответствии с хорошо зарекомендовавшими себя методами управления программами/проектами, мероприятия, проводимые в течение всего периода действия спутниковой программы/проекта, делятся на стадии.

На каждой стадии программа/проект переходит с одного этапа на другой и, как правило, завершается официальным обзором.

Точная терминология, используемая организацией, занимающейся разработкой спутника, может отличаться, но обычно в ходе своего жизненного цикла спутниковая программа/проект проходит следующие стадии¹:

- стадия 0: определение требований пользователей с привлечением сообщества пользователей и определение требований к космическому аппарату, т. е. выбор возможных технических средств для выполнения требований пользователей;
- стадия А: техническое предложение на системном уровне (включая предварительную спецификацию наземного сегмента) и ответственные приборы (возможно, включая моделирование работы приборов); оценка приблизительного порядка величины расходов на программу;
- стадия В: предварительное проектирование, подготовительная деятельность (включая мероприятия по осуществлению испытаний с установкой на летательных аппаратах), подробная оценка необходимых затрат;
- стадия С: рабочее проектирование и разработка и испытание всех систем (включая наземный сегмент) и подсистем;
- стадия D: сведение в единое целое всех подсистем, испытания всего спутника, стартовая кампания и ввод в эксплуатацию на орбите;

¹ См. ECSS-M-ST-10C Rev.1 (Space Project Management: Project Planning and Implementation), page 19, "Project Phasing".

- стадия E: этап эксплуатации;
- стадия F: послеексплуатационный период, включающий в себя окончательную консолидацию данных по полезной нагрузке, полученных после схода спутника с орбиты, для их дальнейшего размещения в долгосрочных архивах.

В случае более масштабных спутниковых программ/проектов продолжительность стадий от 0 до D может достигать 15 лет (например, для более крупного геостационарного спутника продолжительность стадии 0 может занимать 3—4 года, стадии A — ~ 2 года, стадии B — ~ 2 года, стадии C — ~ 5 лет, а стадии D — 1—2 года). В случае же спутниковых программ/проектов меньшего масштаба продолжительность стадий от 0 до D может составлять всего 1—2 года.

Этап эксплуатации (стадия E) может длиться от нескольких месяцев для низкоорбитального спутника до нескольких лет для геостационарной спутниковой программы. Например, для оперативных программ, включая запуск серии из трех или четырех спутников с некоторым перекрытием на случай нештатной ситуации стадия эксплуатации может быть рассчитана на 15 или более лет (обычно срок эксплуатации низкоорбитального спутника составляет пять лет, а геостационарного спутника — 7 лет). Стадия F в основном завершается через 3—5 лет после схода с орбиты.

В целом, продолжительность эксплуатации поколения спутников является следствием компромисса между необходимостью окупить расходы на разработку программы и накопить опыт использования полученных данных и необходимостью разработать новое поколение спутниковых приборов для того, чтобы воспользоваться преимуществами самых современных технологий.

В организации спутниковой программы принимает участие множество заинтересованных сторон: сообщество пользователей данных, научно-исследовательские институты, космические агентства в части проведения научных исследований и опытно-конструкторских разработок, промышленность и правительственные учреждения с учетом их промышленной политики и бюджетных ограничений.

В случае спутниковых программ с глобальным охватом обязательно должна осуществляться координация с международными партнерами, что может еще больше усложнить процесс принятия решений.

7.3.2 **Планирование с целью обеспечения непрерывности наблюдений и на случай непредвиденных ситуаций**

Непрерывность наблюдений была важнейшим требованием для метеорологических спутниковых группировок на геостационарной орбите с тех пор, как прогнозы текущей погоды и явлений суровой погоды, включая предупреждения о тропических циклонах, стали опираться на данные мониторинга со спутников. Оперативная непрерывность поступления полученных с геостационарных спутников изображений предусматривает круглосуточный режим работы, высокую степень доступности, распространение данных почти в реальном масштабе времени и долгосрочную непрерывность наблюдений, гарантированную надежными программами, которые включают в себя возможности поддержки для орбитальных резервных средств.

Когда была создана полярно-орбитальная спутниковая группировка, и модели численного прогнозирования погоды стали полагаться все в большей степени на спутниковые данные об излучении (инфракрасном и микроволновом), радиозатменные данные, а также другие основные виды спутниковых наблюдений, таких как наблюдения за ветром у поверхности моря и в верхних слоях атмосферы (например, векторы атмосферного движения), такие же требования к оперативной непрерывности наблюдений стали применяться в отношении утренних и полуденных спутников, составляющих ядро группировки метеорологических спутников на полярной орбите.

Одновременно со спутниковыми операторами, обязавшимися поддерживать функционирование геостационарной и полярной солнечно-синхронной группировок спутников, КГМС подготовила Глобальный план на случай непредвиденных ситуаций (см. [раздел 7.2.1](#) и вставку внизу), обеспечивающий техническую и юридическую рамочную основу для принятия мер в случае непредвиденных обстоятельств, которые предусматривают реализацию принципа «окажи помощь своему соседу» в случае отсутствия одного из элементов оперативной конфигурации.

Для геостационарных спутников поддержка при возникновении непредвиденной ситуации может быть оказана в том случае, если имеется достаточно большое количество спутников, и их номинальное местоположение на орбите находится на равном расстоянии друг от друга вдоль линии экватора (см., например, том IV, глава 4, [рисунок 4.1](#)), чтобы полностью покрывать более низкие широты. Перемещение спутника с одной долготы на другую требует расходования небольшого количества топлива, если движение осуществляется на малой скорости. В соответствии с планами на случай непредвиденных обстоятельств несколько спутников поддерживается на резервных позициях на орбите, и можно переместить спутник для заполнения пробела путем совершения маневра в течение нескольких дней или недель, в зависимости от срочности и наличия топлива на борту спутника. Было несколько примеров такого замещения: спутник Meteosat-3 был перемещен для заполнения пробела на орбите над западной частью Атлантического океана, когда система геостационарных оперативных спутников для исследования окружающей среды (GOES) недосчиталась спутника из-за проблемы с запуском на орбиту в начале 1990-х годов (de Waard et al., 1992); резервный спутник GOES заполнил пробел на орбите над западной частью Тихого океана во время переходного периода от геостационарного метеорологического спутника (ГМС) к многофункциональному транспортному спутнику (МТСАТ) в начале 2000-х годов; над Индийским океаном закрывалась позиция в последние двадцать лет резервными спутниками Meteosat; а с 2018 года спутник Фэнъюнь (FY) также обеспечивал покрытие в Индийском океане, предоставляя данные наблюдений глобальным пользователям.

Планирование КГМС с целью обеспечения непрерывности наблюдений и на случай непредвиденных ситуаций

Принятая КГМС базовая конфигурация содержит долгосрочные обязательства спутниковых операторов, принятые ими для реализации Перспективного видения ИГСНВ и касающиеся измерений, орбит и обслуживания. Базовая конфигурация определяет i) геостационарную группировку по меньшей мере из шести спутников, расположенных на долготах, находящихся на значительном расстоянии друг от друга (приблизительно 135° з. д., 75° з. д., 0°, 76° в. д., 105° в. д., 140° в. д.), и выполняющих ряд согласованных задач; ii) главную метеорологическую спутниковую группировку на полярной солнечно-синхронной орбите, представляющую данные в виде снимков и данные зондирования с трех орбитальных плоскостей (ранним утром, в середине утра и днем); iii) различные группировки, предназначенные для дополнительных программ, с размещением спутников на солнечно-синхронных или наклоненных низких околоземных орбитах. Рабочая группа КГМС по планированию для обеспечения непрерывности наблюдений и на случай нештатных ситуаций постоянно проводит анализ осуществления базовой конфигурации, наличия на орбите резервных спутников и рисков прерывания главных программ наблюдения.

Координационная группа по метеорологическим спутникам приняла Глобальный план на случай непредвиденных ситуаций, который включает в себя руководящие указания для обеспечения непрерывности наблюдений, например в отношении реализации политики поддержания на орбите резервных ресурсов и осуществления повторного запуска спутника, набор критериев для введения в действие режима на случай нештатных ситуаций, и устанавливает перечень действий, которые должны быть предприняты в таких непредвиденных ситуациях. В частности, Глобальный план на случай непредвиденных ситуаций устанавливает стандартную процедуру для перемещения резервного геостационарного спутника на место вышедшего спутника, которая известна как стратегия «оказания помощи своему соседу». Этот глобальный план дополняется двусторонними соглашениями между операторами геостационарных спутников на случай нештатных ситуаций. В ряде случаев за последние три десятилетия подобные передислокации спутников при нештатных ситуациях имели существенное значение для сохранения непрерывности наблюдений с крайне необходимых оперативных космических аппаратов.

Для спутников, расположенных на солнечно-синхронных орбитах, реализация действий на случай непредвиденных ситуаций является более сложной задачей. Изменение плоскости орбиты спутника требует очень большого количества топлива и поэтому не предусматривается, если не считать естественного дрейфа плоскости орбиты из-за прецессии или маневрирования с целью корректировки такого дрейфа и удержания спутника на орбите. Поэтому план на случай непредвиденных ситуаций нацелен на обеспечение наличия резервных спутников в каждой орбитальной плоскости наряду с равномерным распределением этих плоскостей по времени пересечения экватора, а также на использование автономных научно-исследовательских спутников, которые могут помочь устранить пробелы и обеспечить дополнительное дублирование.

Сфера деятельности оперативной космической системы наблюдений, изложенная в Перспективном видении ИГСНВ, в настоящее время включает в себя поддержку мониторинга климата, отражая тем самым как потребности в мониторинге климата на постоянной основе, так и уровень развития космических систем, которые становятся достаточно точными для осуществления мониторинга климата.. В ответ на это КГМС последовательно сформулировала и одобрила новую базовую конфигурацию, которая объединила в себе ряд спутниковых программ климатической направленности. Непрерывность климатического мониторинга столь же важна, как и для оперативного прогнозирования погоды; однако требования к наблюдениям различаются, поскольку климатический мониторинг затрагивает различные временные масштабы. Во-первых, доступность данных практически в режиме реального времени и краткосрочные пробелы в дневном цикле не являются основными требованиями. Во-вторых, большое значение придается долгосрочной непрерывности и стабильности проведения измерений на протяжении десятилетий. Принципы климатического мониторинга Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК) требуют систематического перекрытия зон охвата наблюдениями между всеми последовательно расположенными на орбите спутниками для того, чтобы провести взаимные сравнения и обеспечить сопоставимость результатов измерений. Стабильность и сопоставимость полученных данных может быть также достигнута за счет поддержания на орбите одного в высшей степени защищенного контрольного космического аппарата в качестве резерва на орбите, который может служить контрольным эталоном для калибровки всех других (как уже рассматривалось в томе IV, глава 6, 6.1.9). Такой резерв следует рассматривать в качестве главного элемента при определении Архитектуры для мониторинга климата из космоса.

7.3.3 Долгосрочная эволюция

Эволюционирующие потребности пользователей в отношении спутниковых данных и значительный прогресс в развитии космической техники и технологии дистанционного зондирования требуют непрерывного совершенствования спутниковых систем и измерительной аппаратуры.

В то же время острая нехватка ресурсов подчеркивает необходимость стремиться к оптимизации глобальных усилий по обеспечению наличия комплексной системы наблюдений и к тому, чтобы избегать ненужного резервирования ресурсов сверх того, что требуется для обеспечения надежности работы. Для реализации оперативных спутниковых программ закупаются несколько спутников одного типа, что позволяет получить выгоду от эффекта масштаба и тем самым сделать дорогостоящие программы более доступными. Минусом этого необходимого подхода является то, что на протяжении всего срока действия спутниковой программы происходит «замораживание» технологического потенциала. Оптимизация также необходима при разработке, проверке достоверности и непрерывной обработке получаемой продукции и требует обмена данными, оперативной совместимости и обеспечения качества. Глобальная координация под эгидой ВМО направлена на обеспечение такой оптимизации в общем контексте ИГСНВ, опираясь на Регулярный обзор потребностей (<https://community.wmo.int/en/rolling-review-requirements-process-legacy-version>), руководящие указания высокого уровня, предоставляемые в рамках Концепции развития ГСН, заявления о руководящих принципах в каждой из областей применения и План осуществления эволюции глобальных систем наблюдений, который вобрал в себя рекомендации исполнителям, отвечающим

за осуществление систем наблюдений. Важной инициативой является также Архитектура для мониторинга климата из космоса, поддержанная ВМО, КЕОС и КГМС, с целью обеспечения непрерывного реагирования со стороны космической системы наблюдений на требования к климатическому мониторингу — см. также: <https://ceos.org/ourwork/workinggroups/climate/>.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Всемирный метеорологический конгресс: Сокращенный окончательный отчет восемнадцатой сессии* (ВМО-№ 1236), дополнение к резолюции 37 (Кг-18) «Интегрированная глобальная система наблюдений ВМО» (ИГСНВ). Женева, 2019.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Всемирный метеорологический конгресс: Сокращенный окончательный отчет восемнадцатой сессии* (ВМО-№ 1236), резолюция 51 (Кг-18) «Осуществление архитектуры для мониторинга климата из космоса». Женева, 2019.
- Achieving Satellite Instrument Calibration for Climate Change (ASIC3)*; Report of a Workshop Organized by the National Oceanic and Atmospheric Administration, National Institute of Standards and Technology, National Aeronautics and Space Administration, National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System-integrated Program Office, and Space Dynamics Laboratory of Utah State University; Ohring, G., Ed.; National Oceanic and Atmospheric Administration: Washington, DC, 2007.
- Bizzarri, B. Satellite Data for Numerical Weather Prediction. *Rivista di Meteorologia Aeronautica* **1982**, 42 (4), 369–382.
- Bizzarri, B. Basic Principles of Remote Sensing. In *Proceedings of the Course on Satellite Meteorology and its Extension to Agriculture*; EUMETSAT, EUM P03; Erice, Ed.; 1986; pp. 1–10.
- Bizzarri, B.; Tomassini, C. Retrieval of Information from High-resolution Images. In *Proceedings of the Symposium on Meteorological Observations from Space*; Committee on Space Research: Philadelphia, USA, 1976; pp. 140–144.
- Chander, G.; Hewison, T. J.; Fox, N. et al. Overview of Intercalibration of Satellite Instruments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **2013**, 51 (3), 1056–1080.
- Committee on Earth Observation Satellites. *Mission, Instruments and Measurements database online*. <http://database.eohandbook.com>.
- Datla, R. V.; Rice, J. P.; Lykke, K. R. et al. *Best Practice Guidelines for Pre-launch Characterization and Calibration of Instruments for Passive Optical Remote Sensing*; NIST IR 7637; National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, USA, 2009.
- de Waard, J.; Menzel, W. P.; Schmetz, J. Atlantic data coverage by METEOSAT-3. *Bulletin of the American Meteorological Society* **1992**, 73, 977–983. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1992\)073<0977:ADCB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1992)073<0977:ADCB>2.0.CO;2).
- Earth Science Reference Handbook*; Parkinson, C. L.; Ward, A.; King, M. D., Eds.; NASA Goddard Space Flight Center: Greenbelt, USA, 2006.
- European Cooperation for Space Standardization (ECSS). *System Engineering General Requirements*; ECSS-E-ST-10C Rev.1. ECSS, 2017. <https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-10c-rev-1-system-engineering-general-requirements-15-february-2017/>.
- European Space Agency, Sharing Earth Observation Resources. Satellite Missions Database. <https://earth.esa.int/eogateway/mission>.
- Fox, N. QA4EO – A Quality Assurance Framework for Earth Observation: A Guide to “Reference Standards” in Support of Quality Assurance Requirements of GEO; Greening, M. C., Ed.; QA4EO-QAEO-GEN-DQK-003; Group on Earth Observations: Geneva, 2010. http://www.qa4eo.org/docs/QA4EO-QAEO-GEN-DQK-003_v4.0.pdf.
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*; JCGM 200:2012; JCGM: Sèvres, France, 2012.
- Klein, M.; Gasiewski, A. J. Nadir Sensitivity of Passive Millimeter and Submillimeter Wave Channels to Clear Air Temperature and Water Vapor Variations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2000**, 105 (D13), 17481–17511.
- Kramer, H. J. *Observation of the Earth and its Environment – Survey of Missions and Sensors*; Springer: Berlin, 2002.
- Menzel, W. P. *Applications with Meteorological Satellites* (SAT-No. 28; WMO/TD-No. 1078). World Meteorological Organization: Geneva, 2001.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). *NASA System Engineering Handbook*; NASA SP-2016-6105 Rev2, 2016. <https://www.nasa.gov/connect/ebooks/nasa-systems-engineering-handbook>.

- Tobin, D. C.; Revercomb, H. E.; Knuteson, R. O. et al. Radiometric and Spectral Validation of Atmospheric Infrared Sounder Observations with the Aircraft-based Scanning High-Resolution Interferometer Sounder. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2006**, 111 (D09S02). <https://doi.org/10.1029/2005JD006094>.
- Tobin, D. C.; Revercomb, H. E.; Moeller, C. C. et al. Use of Atmospheric Infrared Sounder High-spectral Resolution Spectra to Assess the Calibration of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer on EOS Aqua. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2006**, 111 (D09S05).
- World Meteorological Organization. *Observing Systems Capability Analysis and Review (OSCAR) database and tool*. 2014. <http://www.wmo-sat.info/oscar/>.
- World Meteorological Organization (WMO), International Telecommunication Union (ITU). *Handbook on Use of Radio Spectrum for Meteorology: Weather, Water and Climate Monitoring and Prediction*. WMO/ITU: Geneva, 2008.
-

За дополнительной информацией просьба обращаться:

World Meteorological Organization

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

Strategic Communications Office

Тел.: +41 (0) 22 730 83 14

Электронная почта: sra@wmo.int

wmo.int