Инженерно-технологический центр СКАНЭКС

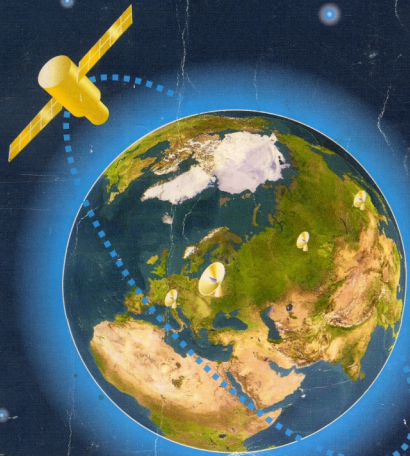
119021, Россия, Москва, ул. Льва Толстого, д. 22/5, Телефон/факс: (095) 939 5640, (095) 246 2593
E-mail: scanex@scan.msk.su

С. В. Гарбук, В. Е. Гершензон. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

СКАНЭКС

С. В. Гарбук, В. Е. Гершензон

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ



УДК 528.88:551
ББК 62-66
Г 200

Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. — М.: Издательство А и Б, 1997. — 296 с., ил.

В монографии в обобщенном виде рассмотрены специфические требования, предъявляемые потребителями к спутниковой информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при решении различных тематических задач. Приведен обзор всех основных отечественных и зарубежных оперативных космических систем дистанционного зондирования с анализом информационных возможностей бортовых датчиков ДЗЗ, характеристик используемых космических аппаратов и радиолиний передачи данных потребителям, а также особенностей построения и функционирования наземного сегмента, включая подсистемы приема, обработки и распространения спутниковой информации. Рассмотрена актуальная для российских потребителей технология применения «персональных» станций приема информации ДЗЗ.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, использующих информацию дистанционного зондирования Земли для решения различных прикладных задач, а также на специалистов в области разработки и эксплуатации космической техники.

Художественный редактор Л.Ликальтер
Компьютерная верстка И. Попковой

ISBN 5—89227—002—7

© Гарбук С.В., Гершензон В.Е., 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. СПЕЦИФИКА ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

1.1. СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО 20
1.1.1. Инвентаризация сельскохозяйственных угодий 21
1.1.2. Выделение и идентификация различных типов сельскохозяйственных культур 22
1.1.3. Сельскохозяйственное почвоведение 22
1.1.4. Сельскохозяйственная гидрология 22
1.1.5. Сельскохозяйственная метеорология 23
1.1.6. Предотвращение сельскохозяйственных катастроф 23
1.1.7. Прогнозирование урожаев 25
1.1.8. Анализ сельскохозяйственного потенциала 26

1.2. КЛИМАТОЛОГИЯ, КОНТРОЛЬ ГЛОБАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ 26
1.2.1. Измерение концентрации газов, вызывающих «парниковый» эффект 27
1.2.2. Контроль содержания атмосферного озона 27
1.2.3. Исследование радиационного баланса Земли 28
1.2.4. Измерение солнечной постоянной 29
1.2.5. Измерение температуры поверхности 29
1.2.6. Контроль содержания аэрозолей в земной атмосфере 29
1.2.7. Контроль загрязнения атмосферы 30
1.2.8. Наблюдение за перемещением облаков 30
1.2.9. Измерение температуры и топографирование поверхности моря 31
1.2.10. Наблюдение облачного покрова 31
1.2.11. Измерение вертикального профиля температуры 32
1.2.12. Наблюдение конвективных облаков 33
1.2.13. Анализ особенностей транстропического переноса энергии 33
1.2.14. Наблюдение грозовых разрядов 33
1.2.15. Анализ концентрации тропосферного озона 34
1.2.16. Измерение вертикального профиля тропосферных ветров 34
1.2.17. Наблюдение осадков 34
1.2.18. Измерение влажности верхней тропосферы 34
1.2.19. Измерение влажности водяного пара 35
1.2.20. Измерение высоты «верхушек» облаков 35
1.2.21. Измерение концентрации в атмосфере малых газовых компонентов 35

1.3. ПОИСК ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ 36
1.3.1. Поиск нефти, природного газа и угля 37
1.3.2. Получение информации дистанционного зондирования, необходимой для использовании энергии ветра 37
1.3.3. Получение информации, необходимой для использования солнечной энергии 37
1.3.4. Определение потенциальных возможностей, оптимизация характеристик и районов размещения средств, предназначенных для использования геотермальной энергии 37
1.3.5. Получение информации, необходимой для создания и эксплуатации гидроэлектростанций 37
1.3.6. Геологоразведочные задачи обзорного масштаба 38
1.3.7. Геологоразведочные задачи регионального масштаба 38

1.4. ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ 40
1.4.1. Топографическое картирование 41
1.4.2. Наблюдение за ростом городов 43
1.4.3. Наблюдение за пастбищами, распределением и миграциями диких животных 43

1.5. НАБЛЮДЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН И ОКЕАНОВ 43
1.5.1. Контроль динамики развития фитопланктона 45
1.5.2. Изучение динамики процессов выпадения планктона 45
1.5.3. Изучение механизмов участия океана в процессе глобального теплообмена 45
1.5.4. Изучение океанских ресурсов 47
1.5.5. Выявление источников загрязнения океана 48

1.6. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО 50
1.6.1. Контроль за уничтожением лесов 51
1.6.2. Определение типов лесонасаждений и доминирующих пород 51
1.6.3. Оценка запасов лесоматериалов 51
1.6.4. Измерение общей площади и количественная оценка биомассы 51
1.6.5. Картографирование лесов 51
1.6.6. Оценка ущерба, нанесенного лесным массивам 51
1.6.7. Лесоводство 52
1.6.8. Изучение водного режима лесных массивов 52

1.7. КОНТРОЛЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ 52
1.7.1. Анализ особенностей взаимодействия льда и атмосферы 54
1.7.2. Измерение температуры и толщины льда 54
1.7.3. Изучение отдельных льдин 54
1.7.4. Анализ шероховатости и температуры льда 54
1.7.5. Измерение отражающей способности льда 54
1.7.6. Выявление областей со снежным покровом 55
1.7.7. Классификация снежного покрова 55
1.7.8. Определение характеристик снежного покрова 55
1.7.9. Определение водного эквивалента снега 56
1.7.10. Обнаружение участков разгрузки (вскрытия) грунтовых вод на поверхности 56
1.7.11. Косвенное обнаружение грунтовых вод, очерчивание водоносных слоев 56
1.7.12. Мониторинг наводнений 56
1.7.13. Контроль качества воды 56

1.8. МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ 56
1.8.1. Предупреждение, контроль и оценка последствий наводнений 56
1.8.2. Организация информационного обеспечения при экстренном реагировании на землетрясения, пожары и наводнения 56

2. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОСНАЩЕННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРОЙ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

2.1. СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ LANDSAT 59
2.1.1. Общая характеристика программы LANDSAT 59
2.1.2. Орбитальный сегмент системы LANDSAT 61
2.1.3. Целевая аппаратура ИСЗ системы LANDSAT 66
2.1.4. Характеристики радиолиний передачи данных с ИСЗ Landsat 71
2.1.5. Наземный сегмент системы LANDSAT 73
2.1.6. Типовая продукция системы LANDSAT 77

2.2. СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ SPOT 81
2.2.1. Общая характеристика программы SPOT 81
2.2.2. Орбитальный сегмент системы SPOT 84
2.2.3. Целевая аппаратура космических аппаратов системы SPOT 89
2.2.4. Характеристики радиолиний передачи данных с ИСЗ Spot 93
2.2.5. Наземный сегмент системы SPOT 94
2.2.6. Особенности обработки информации в системе SPOT 96

2.3. ИНДИЙСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ IRS 99
2.3.1. Орбитальный сегмент системы IRS 99
2.3.2. Целевая аппаратура космических аппаратов серии Irs 103
2.3.3. Характеристики радиолиний передачи данных с ИСЗ серии Irs 107
2.3.4. Наземный сегмент системы IRS 108

2.4. ЯПОНСКИЙ ИСЗ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ADEOS 110
2.4.1. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Adeos-1 112
2.4.2. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Adeos-2 116
2.4.3. Особенности передачи информации с ИСЗ Adeos-1 117

2.5. БРАЗИЛЬСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА МЕСВ 118

2.6. КИТАЙСКО-БРАЗИЛЬСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ CBERS 120

2.7. РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ НА БАЗЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «РЕСУРС-О» 122
2.7.1. Общая характеристика программы «РЕСУРС-О» 122
2.7.2. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ серии «Ресурс-О» 123
2.7.3. Особенности передачи информации со спутников серии «Ресурс-О1» 125

3. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОСНАЩЕННЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРОЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

3.1. ЕВРОПЕЙСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ERS 129
3.1.1. Орбитальный сегмент системы ERS 129
3.1.2. Целевая аппаратура космических аппаратов Ers 132
3.1.3. Характеристики радиолиний передачи данных с космических аппаратов Ers 136
3.1.4. Наземный сегмент системы ERS 136

3.2. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ENVISAT-1 138
3.2.1. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Envisat-1 139
3.2.2. Особенности передачи информации с ИСЗ Envisat-1 142

3.3. ЯПОНСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ JERS-1 143

3.4. ЯПОНСКИЙ ИСЗ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ALOS 146

3.5. КАНАДСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ RADARSAT 147
3.5.1. Радиолокационная система ИСЗ Radarsat 148
3.5.2. Особенности передачи данных дистанционного зондирования 153

3.6. РОССИЙСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА «АЛМАЗ» ПО ИЗУЧЕНИЮ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С РСА 155
3.6.1. Космический аппарат «Алмаз-1А» 155
3.6.2. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ «Алмаз-1Б» 156

3.7. РОССИЙСКИЙ МОДУЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ «ПРИРОДА» 158
3.7.1. Общая характеристика модуля «Природа» 158
3.7.2. Аппаратура ДЗЗ, установленная на модуле «Природа» 158

4. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА НИЗКИХ ПРИПОЛЯРНЫХ ОРБИТАХ

4.1. СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА NOAA 165
4.1.1. Целевая аппаратура космических аппаратов системы NOAA 169
4.1.2. Характеристики радиолиний передачи данных с космических аппаратов системы NOAA 175

4.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ METOP 179

4.3. КИТАЙСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИСЗ СЕРИИ FY-1 180

4.4. РОССИЙСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА «МЕТЕОР» 182
4.4.1. Общая характеристика программы «МЕТЕОР» 182
4.4.2. Аппаратура дистанционного зондирования, устанавливаемая на космических аппаратах серии «Метеор» 183

5. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ

5.1. ГЕОСТАЦИОНАРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА GOES 189
5.1.1. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Goes 191
5.1.2. Особенности передачи информации ДЗЗ с космических аппаратов Goes второго поколения 196

5.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА METEOSAT 197
5.2.1. Орбитальный сегмент системы METEOSAT 197
5.2.2. Аппаратура дистанционного зондирования оперативных ИСЗ Meteosat 199
5.2.3. Радиолинии передачи информации с ИСЗ Meteosat серии MOP 201
5.2.4. Форматы передачи информации, прошедшей предварительную обработку в наземном центре 205
5.2.5. Наземный сегмент системы METEOSAT 210

5.3. ЯПОНСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА GMS 213
5.3.1. Орбитальный сегмент системы GMS 213
5.3.2. Аппаратура дистанционного зондирования, установленная на ИСЗ серии Gms 214
5.3.3. Особенности передачи информации со спутников системы GMS 215
5.3.4. Наземный сегмент системы GMS 218

5.4. ИНДИЙСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА INSAT 219
5.4.1. Орбитальный сегмент системы INSAT 219
5.4.2. Характеристики радиолиний ретрансляции и передачи данных ДЗЗ спутников Insat второго поколения 222
5.4.3. Наземный сегмент системы INSAT 222

5.5. КИТАЙСКИЕ ГЕОСТАЦИОНАРНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИСЗ СЕРИИ FY-2 223

5.6. РОССИЙСКИЙ ГЕОСТАЦИОНАРНЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИСЗ «ЭЛЕКТРО» 224
5.6.1. Космический аппарат «Электро» и высокоорбитальная метеорологическая система «ПЛАНЕТА-С» 224
5.6.2. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ «Электро» 224
5.6.3. Особенности передачи и ретрансляции информации космическим аппаратом «Электро» 228

6. ПРОГРАММА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА EOS

6.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ EOS 231
6.2. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-AERO 234
6.3. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-ALT 234
6.4. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-ALTR 234
6.5. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-AM 235
6.6. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-CHEM 238

6.7. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ EOS-COLOR 239
6.8. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-PM 239

7. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКЕАНА

7.1. ЯПОНСКИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИСЗ СЕРИИ MOS 242
7.2. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ TOPEX/POSEIDON 247
7.3. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ SEASTAR 250
7.4. РОССИЙСКАЯ СПУТНИКОВАЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ОКЕАН» 252
7.4.1. Общая характеристика программы «ОКЕАН» 252
7.4.2. Аппаратура дистанционного зондирования, устанавливаемая на космических аппаратах серии «Океан-О» 253

8. КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

8.1. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ UARS 257
8.1.1. Общая характеристика ИСЗ Uars 257
8.1.2. Бортовая аппаратура ИСЗ Uars 257

8.2. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ОЗОНОВОГО СЛОЯ ЗЕМЛИ СЕРИИ TOMS-EP 260

8.3. АМЕРИКАНСКО-ЯПОНСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА TRMM 261
8.3.1. Общая характеристика программы TRMM 261
8.3.2. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Trmm 263

8.4. ШВЕДСКИЙ ИСЗ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ODIN 265
8.4.1. Общая характеристика ИСЗ Odin 265
8.4.2. Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Odin 265

9. МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 266

10. ОСОБЕННОСТИ ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ РОССИЙСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

10.1. СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ДЗЗ 274

10.2. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: ПЕРСОНАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 277
10.2.1. Комплексы «Лиана-М» и «Селена» 279
10.2.2. Комплексы «Лиана» и «СканЭкс» 280
10.2.3. Комплекс «СканЭР» 286
10.2.4. Приложение «СКАНЭКС каталог менеджер» 288

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 292

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БПА	бортовая передающая антенна
ВВГО	высота верхней границы облачности
ВД	восточная долгота
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ВППИ	выносной пункт приема информации
ВРП	Восточный ракетный полигон США
ГИС	геоинформационная система
ДЗЗ	дистанционное зондирование Земли
ДОФМ	двухпозиционная относительная фазовая манипуляция
ЗД	западная долгота
ЗРП	Западный ракетный полигон США
ЗУ	запоминающее устройство
ИК	инфракрасный
КИМ	кодо-импульсная модуляция
КСВН	коэффициент стоячей волны по напряжению
ЛБВ	лампа бегущей волны
МЛВП	магнитная лента высокой плотности
МТКК	многоразовый транспортный космический корабль
МШУ	малошумящий усилитель
НКФМ	несбалансированная квадратурная фазовая манипуляция
ОЗУ	оперативное запоминающее устройство
ОС	орбитальная станция
ОФМ	относительная фазовая манипуляция
ОЦПОД	оперативный центр приема и обработки данных
ПЗС	прибор с зарядовой связью
ПО	программное обеспечение
ППИ	пункт приема информации
ПСП	псевдослучайная последовательность
РБ	разгонный блок
РЛС	радиолокационная система
РЛС БО	РЛС бокового обзора
РМВ	реальный масштаб времени
РН	ракета-носитель
РСА	РЛС с синтезированной апертурой антенны
СКО	среднеквадратическое отклонение
СШ	северная широта
ТЛМИ	телеметрическая информация
ТТПУ	твердотельный параметрический усилитель
ф.г.	финансовый год
ФМ	фазовая модуляция
ЧМ	частотная модуляция
ЧМПП	численная модель предсказания погоды
ЭИИМ	эквивалентная изотропная излучаемая мощность
ЮШ	южная широта

ВВЕДЕНИЕ

Практика получения изображений поверхности Земли из космоса насчитывает чуть более полувека. Первый снимок земной поверхности был получен при помощи фотоаппарата, установленного на баллистической ракете Fau-2 немецкого производства, запущенной в 1945 г. с американского ракетного полигона White Sands. Ракета достигла высоты 120 км, после чего фотоаппарат с отснятой пленкой был возвращен на Землю в специальной капсуле. До конца 50-х годов космическая съемка поверхности Земли осуществлялась с высот до 200 км исключительно с использованием аппаратуры, устанавливаемой на баллистических ракетах и зондах. Началом систематического обзора поверхности Земли из космоса можно считать запуск 1 апреля 1960 г. американского метеорологического спутника Tiros-1. Первый отечественный ИСЗ аналогичного назначения, «Космос-122», был выведен на орбиту 25 июня 1966 г.

С тех пор область применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса многократно расширилась. Задачи оперативного спутникового контроля природных ресурсов, исследования динамики протекания природных процессов и явлений, анализа причин, прогнозирования возможных последствий и выбора способов предупреждения чрезвычайных ситуаций являются на современном этапе неотъемлемым атрибутом методологии сбора информации о состоянии интересующей территории (страны, края, города), необходимой для принятия правильных и своевременных управленческих решений. Особая роль отводится спутниковой информации в геоинформационных системах (ГИС), где результаты дистанционного зондирования поверхности Земли из космоса являются регулярно обновляемым источником данных, необходимых для формирования природоресурсных кадастров и других приложений, охватывая весьма широкий спектр масштабов (от 1:10 000 до 1:10 000 000). При этом информация ДЗЗ позволяет оперативно оценивать достоверность и, в случае необходимости, проводить обновление использующихся графических слоев (карт дорожной сети, коммуникаций и т.п.), а также может быть использована в качестве растровой «подложки» в целом ряде ГИС-приложений, без которых сегодня уже немыслима современная хозяйственная деятельность. В разработанном в 1992 г. «Проекте государственной космической программы РФ» указывается на необходимость создания нацио-

нальной комплексной системы мониторинга окружающей среды и природопользования с возможностью ее дальнейшей интеграции с аналогичными зарубежными системами. При этом отмечается, что широкое использование информации ДЗЗ позволит получить ежегодный экономический эффект от применения ИСЗ серии «Ресурс-О» в объеме 1.0—1.2 млрд руб. (в ценах I кв. 1992 г.); ИСЗ «Алмаз-1» и «Океан-О» — 0.9—1.2 млрд руб.; ИСЗ серии «Метеор» и «Электро» — до 10 млрд руб.

Соответственно предъявляемым требованиям растут и возможности спутниковых систем ДЗЗ. Увеличилось число действующих космических аппаратов, расширились номенклатура и информационные возможности устанавливаемой на них аппаратуры дистанционного зондирования, повысилась оперативность доставки информации потребителям. В наземном сегменте широкое распространение получили относительно недорогие и компактные «персональные» станции приема информации со спутников (гл.10), коренным образом изменились возможности аппаратных и программных средств обработки поступающих данных, на базе систем спутникового мониторинга создаются распределенные глобальные, национальные и ведомственные геоинформационные сети.

Эффективное применение спутниковых данных на практике предполагает ознакомление потенциальных потребителей с информационными возможностями космических систем ДЗЗ, особенностями их построения и функционирования. Между тем, подобные сведения в отечественной литературе представлены, на наш взгляд, недостаточно полно. Отдельные публикации, встречающиеся в периодической печати и специальных изданиях, не позволяют достаточно быстро получить ответ на вопрос: как информация дистанционного зондирования может быть использована в той или иной, интересующей читателя, области народного хозяйства. Настоящая монография представляет собой попытку восполнить образовавшийся пробел. Для этого в книге приведен обзор существующих и перспективных российских и зарубежных космических систем ДЗЗ с анализом организационно-финансового и технического аспектов их функционирования и с привязкой информационных возможностей этих систем к типовым задачам, при решении которых целесообразно использование спутниковых данных. Стремительное развитие космических технологий, изменения в маркетинговой стратегии ведущих фирм в области спутникового мониторинга, прекращение запланированных и появление новых космических программ позволяют осуществить лишь первое приближение к поставленной задаче: будем надеяться, что и оно для широкого круга читателей окажется полезным.

Отметим, что в монографию включены только те космические системы, к информации которых имеют доступ массовые потребители. Так, в книге освещены оперативные космические системы, в которых информация со спутников передается на Землю по радиоканалу, в то время, как за рамками рассмотрения остались неоперативные средства ДЗЗ с доставкой материалов космической съемки при помощи специальных воз-

вращаемых капсул. В издание не вошли также пилотируемые станции, с которых осуществляется преимущественно визуальный обзор земной поверхности, системы военного назначения, привлекаемые к решению задач дистанционного зондирования, а также космические программы, находящиеся на стадии экспериментальной отработки.

Доступ к данным дистанционного зондирования регулируется так называемой политикой «открытого неба» (Open Sky Policy), в соответствии с которой каждому потребителю гарантируется свободный доступ ко всем имеющимся данным на недискриминационной основе. Основным международным консультативным органом, созданным в 1984 г. для обмена информацией, координации и обсуждения политики в области ДЗЗ является Комитет по спутникам дистанционного зондирования Земли CEOS (Committee on Earth Observation Satellites). Под покровительством CEOS были учреждены различные технические рабочие группы, в том числе по данным ДЗЗ (WGD — Working Group on Data) и сетям передачи данных ДЗЗ (WGN — Working Group on Networks). Членами CEOS являются представители национальных космических агентств Австралии, Бразилии, Великобритании, Индии, Италии, Канады, Китая (два), России (два), США (два), Украины, Франции, ФРГ, Швеции, Японии, а также Европейского космического агентства ESA и консорциума Eumetsat. Перспективные планы комитета CEOS по развитию спутниковых систем ДЗЗ были использованы авторами при определении объема монографии.

Системы получения и распространения данных оперативного мониторинга держатся на «четырех китах»:

1) носителях съемочной аппаратуры, в данном случае — ИСЗ;
2) собственно аппаратуре дистанционного зондирования;
3) бортовых средствах передачи данных на Землю по радиоканалу;
4) наземных комплексах приема этой информации, ее обработки и предоставления потребителям.

Порядок изложения материала в главах соответствует приведенным выше типовым элементам космических систем. В связи с этим рассмотрим коротко основные характеристики, определяющие возможности и особенности функционирования систем дистанционного зондирования.

1. Для ДЗЗ обычно используются два основные типа спутников (рис.1): геостационарные и полярноорбитальные. Если первые ИСЗ постоянно обеспечивают обзор одной и той же части планеты, сохраняя неизменное положение относительно определенной точки на экваторе, то вторые, находясь на орбите, плоскость которой примерно перпендикулярна плоскости вращения Земли, через определенный период времени, продолжительность которого зависит от ширины полосы обзора ИСЗ, оказываются над заданным районом наблюдения. Соответственно, зона обзора со спутника на геостационарной орбите ограничивается широтным райном 50° СШ — 50° ЮШ; полярноорбитальная же система наблюдения сталкивается с иной трудностью: спутник может оказаться над одним и тем же районом съемки в различные периоды «местного» или солнечного времени. При этом сопоставление данных, полученных при различных условиях солнечного освещения, оказывается весьма затруднительным, поэтому такие спутники выводят, как правило, на так называемые «солнечносинхронные» орбиты (гл.4).

2. Съемочная аппаратура ДЗЗ, устанавливаемая на спутнике, может работать в четырех основных диапазонах: ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и микроволновом (см.Примечание на с. 20) — только в этих областях спектра земная атмосфера прозрачна для электромагнитных волн. В видимом диапазоне датчики (фотоэлементы, матрицы приборов с зарядовой связью и т.п.) регистрируют отраженное от земных покровов и прошедшее через атмосферу солнечное излучение; в ИК-диапазоне превалирует собственное тепловое излучение поверхности Земли; в микроволновом диапазоне используют собственное излучение планеты, либо отраженные сигналы искусственных источников облучения, установленных на борту ИСЗ. Возможности аппаратуры дистанционного зондирования в различных спектральных диапазонах существенно различаются: оптические дают наиболее качественные, привычные для наблюдателя цветные изображения с высоким пространственным разрешением, синтезированные из нескольких монохроматических снимков; инфракрасную съемку можно проводить в темное время суток, наблюдая температурные аномалии поверхности; а для специфических случаев зондирования в микроволновом диапазоне не является помехой даже облачный покров.

Важнейшими характеристиками формируемого изображения являются пространственная (r) и радиометрическая (яркостная, температурная) (ΔI) разрешающие способности съемочной аппаратуры. Пространственное разрешение зависит от длины волны принимаемого излучения λ, диаметра объектива (в случае радиолокационного наблюдения — размеров апертуры антенны) D и высоты орбиты H следующим образом:

$$r \sim \frac{\lambda}{D} H. \qquad (1)$$

Радиометрическая разрешающая способность определяется прежде всего шириной динамического диапазона используемого датчика, то есть количеством уровней дискретизации, соответстующих переходу от яркости абсолютно «черного» к абсолютно «белому» телу.

Так, для широко распространенного прибора AVHRR, применяемого на спутниках серии Noaa, пространственное разрешение r (физический размер одного пиксела на поверхности Земли) составляет около 1 км, а радиометрический диапазон соответствует 1024 уровням яркости. Для обнаружения элементарного объекта должно выполняться условие:

$$I_{об} \frac{S}{r^2} > \Delta I, \qquad (2)$$

где $I_{об}$ — яркость объекта, S — его площадь.

С учетом (2) получим, что минимальный размер наблюдаемого объекта на поверхности Земли, например лесного пожара, для которого $I_{об}$=1024, составляет около 30 x 30 м^2.

Из приведенного соотношения (1) также видно, что при установке аппаратуры дистанционного зондирования на геостационарном космическом аппарате, находящемся на орбите высотой 36 тыс. км, сложно реализовать пространственное разрешение, типичное для полярноорбитального ИСЗ с высотой орбиты около 1000 км.

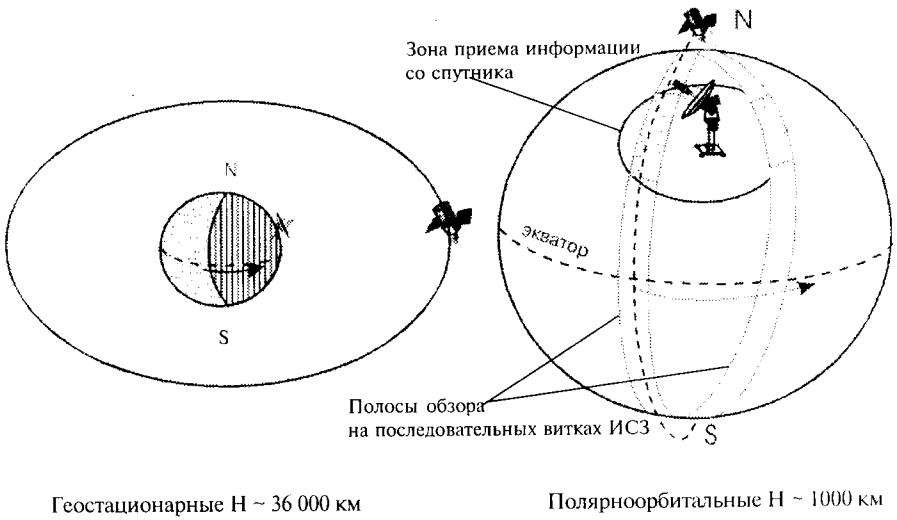


Рис. 1. Схема систем ДЗЗ в случаях геостационарных и полярноорбитальных носителей

3. Пространственное и радиометрическое разрешение аппаратуры вместе с шириной полосы, в которой проводится съемка, и общим числом монохроматических каналов определяют скорость передаваемого на Землю информационного потока:

$$C = \frac{LV}{r^2} INK, \qquad (3)$$

где V —скорость перемещения подспутниковой точки по трассе ИСЗ, I — число бит на пиксел изображения, N — число каналов, L — ширина полосы обзора, K>= 1 — коэффициент, зависящий от типа применяемого в канале помехоустойчивого кодирования.

Например, для r=10 м, L= 100 км, V= 8 км/с, N= 3, I= 8 бит и K= 1 скорость передачи информации C составит 192 Мбит/с или 24 МБ/с (гл. 10).

4. В свою очередь, необходимая для передачи этого информационного потока ширина полосы пропускания радиоканала «борт—Земля» зависит от энергетических характеристик как приемного (наземного), так и передающего (бортового) комплексов. Пропускная способность канала связи возрастает с увеличением мощности бортового передатчика, диаметра приемной антенны наземного комплекса и с уменьшением расстояния до ИСЗ. Так, для приведенного выше примера диаметр приемной антенны должен быть не менее 10 м.

В зависимости от типа орбиты, на которой находится ИСЗ, мощности бортового передатчика и направленных свойств бортовой передающей антенны различают следующие типы приемных антенн:

1) ненаправленные антенны, предназначенные для приема низкоскоростных (до нескольких десятков кбит/с) информационных потоков (п.10.2.2.);

2) направленные стационарные антенны, предназначенные для приема информации с геостационарных спутников (п.10.2.1.);

3) направленные антенны с автоматическим или программным сопровождением ИСЗ по угловым координатам, обеспечивающие прием высокоскоростных потоков информации с низкоорбитальных спутников (п.10.2.2, 10.2.3.).

В первой главе пойдет речь о специфических требованиях к информации дистанционного зондирования, традиционно предъявляемых различными потребителями (землепользование, лесное и сельское хозяйство и т.п.).

Во второй главе описываются основные системы изучения природных ресурсов, оснащенные оптической аппаратурой дистанционного зондирования, в частности программы LANDSAT, SPOT, IRS, ADEOS, MECB, CBERS и российская программа «РЕСУРС-О».

В третьей главе рассматриваются радиолокационные системы изучения природных ресурсов: ERS, ENVISAT, JERS, ALOS, RADARSAT и российская программа «АЛМАЗ».

В четвертой и пятой главах описываются основные полярноорбитальные (NOAA, METOP, FENGYUN 1, «МЕТЕОР») и геостационарные (GOES, METEOSAT, GMS, INSAT, FENG YUN-2, «ЭЛЕКТРО») метеорологические системы, прием информации с которых согласно концепции Всемирной метеорологической организации открыт и бесплатен для всех пользователей.

Отдельно (глава 6) рассматривается широкий спектр космических аппаратов дистанционного зондирования (Eos-AM, PM, Color, Aero, Chem, Alt, Altr), разрабатываемых в рамках программы EOS.

Седьмая и восьмая главы посвящены специальным океанографическим системам (MOS, TOPEX/POSEIDON, SEASTAR, «ОКЕАН») и космическим аппаратам исследования атмосферы Земли (Uars, Toms, Trmm, Odin).

Активно разрабатываемые перспективные малые космические аппараты дистанционного зондирования Земли (Terrasat, Lewis, Clark и дру-

гие) описываются в девятой главе. Особенная актуальность таких ИСЗ (весом в несколько сот килограммов вместо традиционных нескольких тонн) связана с высвобождением в последнее десятилетие большого количества конверсионных носителей, способных в массовом количестве обеспечить вывод малых спутников на полярные орбиты, тем самым осуществив качественный переход от использования единичных систем ДЗЗ к сериям идентичных аппаратов, повышающих оперативность съемки интересующей территории.

Актуальные прежде всего для российских пользователей современные возможности доступа к информации дистанционного зондирования рассматриваются в десятой, заключительной главе.

Главы 2–9 написаны С.В.Гарбуком, глава 10 — В.Е.Гершензоном, введение и 1-я глава подготовлены авторами совместно. Монография подготовлена в соответствии с планом работ и при поддержке Инженерного центра «СканЭкс». Авторы хотели бы выразить признательность О.Н.Таракановой и Д.В.Добрынину за помощь и благожелательную критику при работе над книгой.

Принимая во внимание большое количество англоязычных наименований космических программ и аппаратов, названий фирм и населенных пунктов, авторы сочли целесообразным сохранить в тексте оригинальные аббревиатуры и имена собственные, не приводя их русские аналоги. Исключения составляют лишь те наименования, русская интерпретация которых не допускает разночтений (типа названий штатов США и провинций Канады, крупных городов и т.п.). Кроме того, для выделения наименований космических систем, программ и организаций космической индустрии среди обозначений отдельных спутников в первом случае используются прописные буквы (типа: система ERS, программа «МЕТЕОР», агентство NOAA), а во втором — прописная, а затем строчные буквы (то есть ИСЗ Ers-2, ИСЗ серии «Метеор», ИСЗ Noaa-11).

1 СПЕЦИФИКА ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Современный этап развития космических средств дистанционного зондирования Земли характеризуется продолжающимся ростом числа и многообразия ИСЗ ДЗЗ, выводимых на низкие околокруговые и геостационарные орбиты. По некоторым оценкам /27/, к 2000 году свыше 15 стран будут располагать собственными космическими системами дистанционного зондирования, а общее число одновременно функционирующих спутников будет достигать нескольких десятков. При этом использоваться будут как малые специализированные ИСЗ с минимальным составом бортовой аппаратуры ДЗЗ, так и сложные многофункциональные космические платформы.

В то же время, информационные возможности бортовой аппаратуры как существующих, так и перспективных ИСЗ существенно различаются, а значимость передаваемой информации неодинакова при решении тех или иных тематических задач. Прием и обработка избыточных малоинформативных данных приводят к неоправданному росту стоимости создания и эксплуатации средств получения спутниковой информации. При этом особую актуальность приобретает задача выбора наиболее информативных, с учетом решаемых тематических задач, космических систем.

Во введении были рассмотрены основные характеристики, определяющие информационные возможности конкретной космической системы ДЗЗ, от которых, в конечном счете, зависит степень приспособленности этой системы к решению заданной пользовательской задачи. Было показано, что существует компромисс между разрешающей способностью аппаратуры и оперативнностью получения информации о состоянии наблюдаемого объекта или участка местности. Это обстоятельство часто является определяющим при решении конкретных прикладных задач.

На рис. 1.1. представлена типичная «пространственно-временная» диаграмма, иллюстрирующая необходимые для исследования основных процессов соотношения между разрешающей способностью и периодичностью съемки. На диаграмме приведены также «области тематической применимости», соответствующие некоторым современным космическим системам ДЗЗ, речь о которых пойдет в последующих главах.

Необходимо учитывать также и возможность идентификации того или иного природного явления не по его динамическим характеристи-

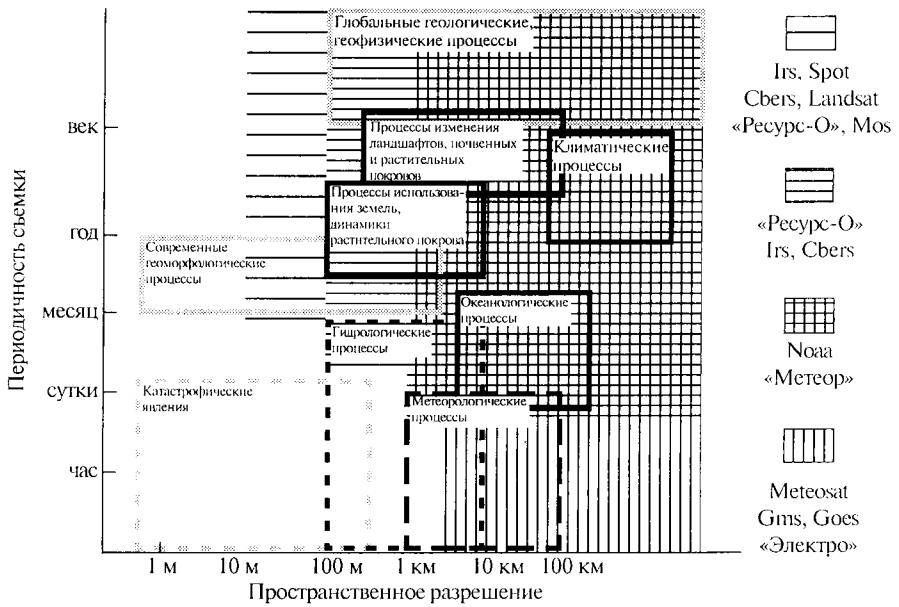


Рис.1.1. Пространственно-временная диаграмма различных процессов и съемочных возможностей спутников.

кам, а в статическом случае единичного изображения по так называемому «спектральному образу», который в случае осуществления многозональной съемки является своеобразным аналогом характеристических спектров излучения атомов в ядерной физике. Об этих специфических требованиях к данным дистанционного зондирования и пойдет речь в настоящей главе.

Будем считать, что конечным потребителем информации ДЗЗ может быть построена иерархия требований к информации дистанционного зондирования, причем в этой иерархии в общем случае можно выделить следующие три уровня: требования к первичной, «объектовой» и потребительской информации ДЗЗ. На **потребительском** уровне к информации предъявляются требования в терминах решаемой прикладной задачи (например, прогнозирование урожайности посевов). Полнота удовлетворения этих требований определяет, в конечном счете, качество получаемой спутниковой информации. При этом может быть определен перечень геофизических объектов, процессов и явлений, дистанционное наблюдение которых необходимо для решения данной потребительской задачи. Совокупность определяемых при этом характеристик (температура земной поверхности, площадь снежного покрова и т.п.), а также необходимые точность, периодичность и обзорность измерений используются для обоснования требований к информации дистанционного зондирования на **«объектовом»** уровне. И, наконец, необходимые информационные воз-

можности конкретной аппаратуры, устанавливаемой на ИСЗ ДЗЗ (пространственное разрешение, радиометрическая точность, используемые спектральные диапазоны, обзорность и периодичность съемки), а также орбитальные характеристики этих спутников (в основном, наклонение и высота орбиты, а также время пересечения экватора) определяются на этапе разработки требований к **первичной** информации дистанционного зондирования.

Разделы первой главы соответствуют потребительским задачам, объединенным в семь больших групп: сельское хозяйство, климатология, изучение полезных ископаемых, землепользование, океанология, лесное хозяйство и контроль водных ресурсов. Для каждой группы выполнена декомпозиция, в результате которой получены частные задачи, соответствующие той или иной прикладной области. При этом авторами за основу были приняты материалы международной конференции IPEO-90 /8/. Необходимо отметить, что на сегодняшний день не существует общепринятой классификации научных и народнохозяйственных задач, при решении которых используется космическая информация ДЗЗ. Поэтому предложенная структура первой главы может иметь некоторые, на наш взгляд незначительные, расхождения с известными работами (см., например, /1,6,9,24,26/).

Далее, для большинства частных потребительских задач приводятся краткое описание наблюдаемых объектов, перечень характеристик, которые должны быть измерены космическими средствами дистанционного зондирования, а также наименования существующих и перспективных приборов ДЗЗ, используемых для решения вышеперечисленных задач. Таким образом показана связь требований к информации дистанционного зондирования, предъявляемых различными пользователями, с информационными возможностями средств ДЗЗ. Подробное описание технических характеристик приборов ДЗЗ, а также функционально-конструктивные особенности и орбитальные характеристики космических аппаратов, на которых эти приборы установлены, приведены в главах 2—9.

Отметим, что предложенная выше трехуровневая иерархия требований к информации ДЗЗ во многом является условной. Так, в некоторых случаях измеренные характеристики наблюдаемых объектов имеют самостоятельную ценность для потребителей информации ДЗЗ и поэтому могут рассматриваться в качестве информации потребительского уровня. С другой стороны, конечные потребители спутниковой информации иногда в состоянии сформулировать требования к необходимым материалам космической съемки, которые непосредственно связаны с ТТХ бортовой аппаратуры ДЗЗ (например, пространственное разрешение или спектральные диапазоны, совпадающие со спектрозональными характеристиками имеющихся приборов дистанционного зондирования). Однако, в общем случае поэтапная декомпозиция требований к информации ДЗЗ позволяет упростить процедуру выбора наиболее информативных кос-

мических систем и обоснования, таким образом, требований к средствам приема и обработки спутниковой информации дистанционного зондирования Земли.

1.1. СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Требования к информации дистанционного зондирования Земли, используемой в интересах решения различных сельскохозяйственных задач, приведены в *табл. 1.1.* Все указанные задачи решаются в национальном или региональном масштабах и актуальны для умеренной, субтропической и тропической климатических зон.

Примечание. Условные обозначения, используемые при описании требований к информации дистанционного зондирования.

1. Масштаб задач, решаемых с привлечением информации ДЗЗ:
   - **G** — *глобальный;*
   - **C** — *континентальный;*
   - **N** — *национальный;*
   - **R** — *региональный;*
   - **L** — *локальный.*

2. Климатическая зона, в которой осуществляется сбор информации дистанционного зондирования:
   - **P** — *полярная;*
   - **TE** — *умеренная;*
   - **S** — *субтропическая;*
   - **TR** — *тропическая;*
   - **D** — *пустынная;*
   - **A** — *любая.*

3. Обеспечиваемая периодичность сбора информации ДЗЗ:
   - **H** — *часовая;*
   - **D** — *суточная;*
   - **W** — *недельная;*
   - **M** — *месячная;*
   - **Q** — *квартальная;*
   - **Y** — *годовая;*
   - **DE** — *десятилетняя.*

4. Используемые спектральные диапазоны (символ «+» используется для обозначения совместной обработки информации в нескольких спектральных диапазонах):
   - **UV** — *ультрафиолетовый диапазон (0.01–0.4 мкм);*
   - **VIS** — *видимый диапазон спектра (0.4–0.74 мкм);*
   - **NIR** — *ближний ИК-диапазон (0.74–1.3 мкм);*
   - **IR** — *ИК-диапазон (окна прозрачности: 1.5–1.8, 2.2–2.6, 3.0–3.6, 4.2–5.0 и 7.0–8.0 мкм);*
   - **TIR** — *тепловой ИК-диапазон (8–12 мкм);*
   - **MW** — *микроволновый диапазон (10–100 мм).*

Таблица 1.1

Требования к информации ДЗЗ при решении различных задач сельского хозяйства

1	2	3	4	5
1.1.1	температура,	72H	15–20	VIS,TIR,MW
	цвет,			
	индекс	15D	20–30	VIS,NIR,IR
	вегетации,			
	текстура	Y		VIS
1.1.2	цвет,	15D	20–30	VIS,NIR
	характеристики	72H	30	MW
	отраженного			
	микроволнового			
	излучения			
1.1.3	цвет,	Q	10–20	VIS,NIR,TIR
	текстура			
1.1.4	цвет	15D	30	VIS,NIR
1.1.5				VIS,NIR,MW
1.1.6	температура,	M	100	TIR,MW
	степень	M	30–50	VIS,NIR,TIR
	поражения			
	растений			
1.1.7	температура,	W	30–50	VIS,MW
	альбедо	M	10–20	VIS
1.1.8	цвет,	2W	10–20	VIS,MW
	температура,	M	100	IR,NIR,TIR
	текстура	2W	10–20	VIS,MW,NIR

Разделы таблицы:

1 — номер решаемой задачи (*см.подразделы п. 1.1*);
2 — анализируемые характеристики объектов;
3 — периодичность наблюдения*
4 — обеспечиваемое пространственное разрешение, м;
5 — используемые спектральные диапазоны.

* Условные обозначения, используемые в этой и последующих таблицах 1-й главы, см. в ***Примечании*** на с. 20.

1.1.1. *Инвентаризация сельскохозяйственных угодий*

Выделение и идентификация сельскохозяйственных областей. При решении задач такого рода преимущественно используются следующие спектральные диапазоны: панхроматический, 0.56, 0.6, 0.64, 0.68, 0.4–1.1, 1.55–1.7, 10–12 мкм. Картографические материалы выполняются в масштабе: 1:100000 — 1:250000.

1.1.2. *Выделение и идентификация различных типов с/х культур*

Требуемая периодичность съемки составляет 7–15 дней. В зависимости от периодов роста основное внимание уделяется:

- оценке всхожести, развития и урожайности посадок;
- анализу циклов вегетации в различные времена года;
- созданию моделей, необходимых для планирования сельскохозяйственной деятельности.

Для разделения естественных растительных сообществ используются диапазоны /2/: 0.478–0.508, 0.492–0.536, 0.514–0.558, 0.566–0.638, 0.604–0.7, 0.725–0.920 мкм.

1.1.3. *Сельскохозяйственное почвоведение*

Анализ зависимости качества сельскохозяйственной продукции от типов возделываемых почв, структуры почвенного покрова и характера агротехнических мероприятий.

При решении задач почвоведения используются диапазоны /2/: 0.56, 0.6, 0.64, 0.68, 0.4–1.1, 1.55–1.7, 10–12 мкм, радиолокационный. Для оценки гумусовой составляющей почв используются спектральные диапазоны: 0.55–0.58, 0.62–0.66, 0.66–0.72, 0.8–1.0 мкм.

1.1.4. *Сельскохозяйственная гидрология*

Анализ интенсивности выпадения осадков в данном сельскохозяйственном районе (*табл. 1.2*). Исследование способности почв удерживать воду, влажности естественных и орошаемых почв в корневой зоне. Изучение проблем мелиорации и водного режима с/х угодий.

Таблица 1.2

Спутниковая аппаратура наблюдения за осадками

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
РМ-0.8	ИСЗ серии «Океан»
БТВК	«Электро»
«Икар-Н,П», Р-400	Модуль «Природа»
МИВЗА	«Метеор-3»
МИВЗА-М, «Климат-2»	«Метеор-3М»
МИВЗА	«Ресурс-О2»
VTIR	Mos-1B
Многоспектральный сканирующий радиометр (3 канала)	FY-2
VHRR	Insat-2A,2B
MVIRI	Meteosat-3,7
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
VISSR, VAS	Goes-7
Imager	Goes-8,9,K,M
VISSR	Gms-4,5
MSU, AVHRR/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3, AMSU-A	Noaa K-N, N'
AMSU-A	Noaa K-M
MHS	Noaa N, N'
ATSR	Ers-1
ATSR-2	Ers-2
AATSR	Envisat-1
PR, TMI	Trmm
AMSR	Adeos-2
MIMR, AMSU, MHS	ИСЗ серии Eos-PM
VHRR	Insat-2E
AMSU-A, AVHRR/3, MHS, MIMR	Metop-1,2

1.1.5. *Сельскохозяйственная метеорология*

Учет климатических особенностей районов земледелия с целью определения их сельскохозяйственного потенциала.

1.1.6. *Предотвращение сельскохозяйственных катастроф*

Сельскохозяйственные катастрофы могут быть разделены на два класса: естественные (заморозки, засухи, насекомые, дефляция) и антропогенно-производные (загрязнения, пестициды). Оценка последствий катастроф в области сельского хозяйства.

Заблаговременное определение областей вымерзания озимых посевов, толщина снежного покрова в которых недостаточна, и оценка возможных последствий таких вымораживаний осуществляется с использованием спутниковой информации о характеристиках снежного покрова (*табл. 1.3*) и температуре подстилающей поверхности (*табл. 1.16*). Кроме того, температурная информация может использоваться при планировании посевных. Измерение параметров снежного покрова позволяет прогнозировать начало таяния снега и определять интенсивность эрозии.

Таблица 1.3

Спутниковая аппаратура для изучения снежного покрова

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
РМ-0.8	ИСЗ серии «Океан»
МР-900, МР-2000	ИСЗ серии «Метеор-2»
МР-900Б, МР-2000М, «Климат»	ИСЗ серии «Метеор-3»
МСР, МЗОАС	ИСЗ серии «Метеор-3М»
МОС, «Траверс»	Модуль «Природа»
СЛР-3, САР	«Алмаз-1Б»
MSR	Mos-1B
AMI-SAR	Ers-1,2
ASAR, MERIS	Envisat-1
AVHRR/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3	Noaa K-N,N'
SAR	Jers-1

WiFS	Irs-1C,1D
SAR	Radarsat
OCTS	Adeos-1
AMSR, GLI	Adeos-2
MODIS	ИСЗ серии Eos-AM
AIRS, MODIS, MIMR	ИСЗ серии Eos-PM
WiFS, MOS	Irs-P3
WiFS	Irs-P4,P5
AVHRR/3, MIMR	Metop-1,2
VSAR	Alos

В /2/ отмечается, что при определении состояния и степени повреждения (заболеваемости) растений оптимальными спектральными диапазонами в августе являются: 0.44–0.46, 0.58–0.62, 1.0–1.4, 1.5–1.8 мкм; в сентябре на высоте 1000 м от уровня моря: 0.55–0.58, 1.0–1.4, 1.5–1.8, 8.0–14.0 мкм; в сентябре на высоте 2000 м от уровня моря: 0.58–0.62, 0.66–0.72, 1.0–1.4, 1.5–1.8 мкм. В общем случае для выявления мест скопления вредных насекомых и определения районов, в которых необходимо провести заблаговременную химическую обработку, применяются данные дистанционного зондирования, полученные при наблюдении растительного покрова (*табл. 1.4*). При необходимости эта информация используется для измерения протяженности поврежденных участков и определения нанесенного ущерба.

Таблица 1.4

Аппаратура ДЗЗ, используемая для измерения влажности почв и наблюдения растительного покрова

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
MOS, MOMS-2P	Модуль «Природа»
MESSR	Mos-1B
OPS, SAR	Jers-1
MSS, TM	Landsat-4,5
ETM	Landsat-7
LISS-1	Irs-1A,1B
LISS-2	Irs-1A,1B,P2
LISS-3, WiFS	Irs-1C,1D
HRV	Spot-1,2,3
HRVIR, Vegetation	Spot-4
HRG, Vegetation	Spot-5
AMI-SAR	Ers-1
ATSR-2, AMI-SAR	Ers-2
AATSR, ASAR, MERIS	Envisat-1
AVHRR/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3	Noaa K-N,N'
SAR	Radarsat

AVNIR, OCTS	Adeos-1
GLI	Adeos-2
камера IIS	MECB (SSR-1,2)
ASTER	Eos-AM 1
MISR, MODIS	ИСЗ серии Eos-AM
LATI	Eos-AM 2
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
MODIS, MIMR	ИСЗ серии Eos-PM
MOS, WiFS	Irs-P3
LISS-3, WiFS	Irs-P4
LISS-4, WiFS	Irs-P5
камера на ПЗС, WFI, многоспектральный сканер ИК-диапазона	Cbers-1,2
AVHRR/3, MIMR	Metop-1,2
VSAR	Alos

1.1.7. *Прогнозирование урожаев*

Прогнозирование доходов, которые могут быть получены от продажи урожая, а также прогнозирование необходимых объемов закупки сельскохозяйственной продукции. Используемые при этом масштабы представления материалов космической съемки: 1:100000, 1:50000, требуемая периодичность наблюдения составляет 7–15 дней.

При прогнозировании урожаев, включая выявление областей, в которых потенциально возможны сельскохозяйственные катастрофы (задача **1.1.6**), при проведении ирригационных работ (задача **1.1.4**), а также при определении областей, подверженных эрозиям и обезвоживанию, широко используются результаты измерения почвенной влаги с использованием средств ДЗЗ, представленных в *табл. 1.4*. Кроме того, эта же аппаратура дистанционного зондирования позволяет измерять распределение индекса вегетации сельскохозяйственных культур, который необходим при определении объемов и качества урожая, планировании необходимых средств для переработки, хранения и перевозки сельскохозяйственной продукции.

Отметим, что влажность почвы определяется такими факторами, как интенсивность испарения влаги растениями (звапотранспирация), поверхностное испарение, просачивание и впитывание влаги поверхностным слоем. Контроль влажности почв предпочтительно осуществляется в видимом и ближнем ИК диапазонах. Применение активных радиолокационных средств сопряжено со сложностями, возникающими при анализе сигналов, отраженных от земной поверхности. Собственное микроволновое излучение является слабым и для получения достаточного отношения сигнал/шум в данном случае необходимо снижать пространственное разрешение пассивных радиометров. Данное обстоятельство приводит к сложностям интерпретации сигналов, полученных при одновременном приеме собственных излучений почв различных типов. Применение РЛС с синтезированной апертурой для изучения влажности почвы возможно

при отсутствии поверхностной растительности. Кроме того, при использовании как активных, так и пассивных радиолокационных средств получаемые результаты, как правило, характеризуют влажность поверхностного слоя почвы толщиной не более 4–6 см.

1.1.8. ***Анализ сельскохозяйственного потенциала***

Определение возможного сельскохозяйственного потенциала страны в соответствии с ростом населения в глобальном масштабе.

1.2. КЛИМАТОЛОГИЯ, КОНТРОЛЬ ГЛОБАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Наиболее приоритетными задачами климатологии являются /8/:

- контроль содержания газов, вызывающих «парниковый» эффект (N_2O, CH_4, CO_2), образование смога и кислотных отложений (NO_x), измерение концентрации в атмосфере хлорофторуглеродов CFC11 и CFC12, а также хлорофторметанов CFM, вызывающих разрушение стратосферного озонового слоя;
- контроль общего радиационного баланса Земли: анализ общего количества излучаемого тепла, отраженного солнечного излучения, падающего солнечного ультрафиолетового (УФ) излучения, отраженного УФ-излучения, измерение температуры поверхности Земли (основная часть измерений проводится в ближней ИК области спектра);
- мониторинг содержания озона O_3 в тропосфере и стратосфере.

Далее приведен перечень основных задач в области климатологии и контроля глобальных атмосферных изменений. Требования к информации дистанционного зондирования, необходимой при решении соответствующих задач, представлены в *табл. 1.5*. Все перечисленные задачи носят глобальный характер, наблюдения выполняются во всех климатических зонах (за исключением задач **1.2.12** и **1.2.13**, которые характерны для тропической и субтропической климатических зон).

Таблица 1.5

Требования к информации ДЗЗ при решении задач климатологии и контроля глобальных атмосферных изменений

1	2	3	4	5
1.2.1	W-M	10–100	NIR+MW	да
1.2.2	W-M	1 (верт.) 1–10 (гориз.)	NIR	да
1.2.3	D-M	1–10	VIS+IR,NIR	нет
1.2.4	W-M	—	VIS+UV	нет
1.2.5	D-M	5–30	NIR	нет
1.2.6	W-M	1–10	NIR	нет
1.2.7	0.5H	1–10	VIS	да
1.2.8	0.5H	0.5–1	VIS+IR	да
1.2.9	0.5H	1–10	TIR	нет
1.2.10	0.5H	0.2–3	VIS+IR	да
1.2.11	1H	0.5	IR+MW	да
1.2.12	0.5H	0.3–1	VIS,MW	да
1.2.13	M	1–10		нет
1.2.14	1H	1–10	VIS	да
1.2.15	0.5H	1–10	IR	нет
1.2.16	0.5H	1–10		да
1.2.17	0.5H	0.1	VIS,MW	да
1.2.18	1H	1–5	IR,MW	да
1.2.19	1H	1–5	IR,MW	да
1.2.20	1H	1–10	IR	да
1.2.21	W-M	10–100	NIR,TIR,MW	да

Разделы таблицы:

1 — номер задачи (*см.подразделы п.1.2*);
2 — периодичность наблюдения;
3 — пространственное разрешение, км;
4 — используемые диапазоны;
5 — необходимость использования стереоскопии (*да/нет*).

1.2.1. ***Измерение концентрации газов, вызывающих «парниковый» эффект***

1.2.2. ***Контроль содержания атмосферного озона***

Озон присутствует во многих атмосферных слоях. Стратосферный озон ослабляет губительное для Земли жесткое ультрафиолетовое солнечное излучение, чем объясняется опасность образования так называемых «озоновых дыр» над планетой. В то же время, увеличение тропосферного озона приводит к усилению «парникового» эффекта, а также оказывает на атмосферу определенное загрязняющее воздействие. Уровень содержания озона характеризуется сезонными колебаниями и для изучения, моделирования и прогнозирования динамики развития озонового слоя используется спутниковая аппаратура ДЗЗ, представленная в *табл. 1.6*.

Таблица 1.6

Аппаратура ДЗЗ, используемая в интересах контроля содержания озона в атмосфере

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
174-К, СФМ-2, TOMS, 174-К, TOMS, БУФС-4, SAGE-III	ИСЗ серии «Метеор-3»
«Озон-Мир»	Модуль «Природа»
Спектрометр видимого и ИК-диапазонов, CLAES, HALOE, MLS	Uars
HIRS/2	Noaa 9–12,14

HIRS/3	Noaa K-N, N'
SBUV/2	Noaa 9,11,14,K,M,N,N'
GOME	Ers-2
GOMOS, MIPAS, SCIAMACHY	Envisat-1
TOMS	Toms-EP
TOMS, ILAS, IMG, RIS	Adeos-1
ILAS-2	Adeos-2
Построитель изображенийИК-диапазона, радиометр, спектрометр УФ- и видимого диапазонов	Odin
SAGE III	ИСЗ серии Eos-AERO
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
AIRS	ИСЗ серии Eos-PM
HiRDLS, MLS, TES	ИСЗ серии Eos-CHEM
HIRS/3, IASI, OMI	Metop-1,2

1.2.3. *Исследование радиационного баланса Земли*

Основной целью изучения радиационного баланса Земли является измерение количества энергии, излучаемой и отражаемой планетой. Эта информация необходима для изучения механизма преобразования энергии атмосферой, поверхностью суши и океаном, в результате которого поддерживается необходимое энергетическое равновесие. В свою очередь, результаты изучения радиационного баланса используются для моделирования и прогнозирования глобального климата. Кроме того, на региональном уровне эта информация позволяет учитывать происходящие климатические изменения при решении, например, сельскохозяйственных проблем, в задачах землепользования и т.д.

Изучение радиационного баланса основывается на трех основных способах измерений: контроль баланса коротковолнового и длинноволнового излучений в верхних слоях атмосферы; измерение коротковолнового излучения у поверхности Земли; а также измерение полного приходящего потока электромагнитного излучения в широкой полосе частот. Перечень аппаратуры ДЗЗ, использующейся при изучении радиационного баланса, представлен в *табл. 1.7.*

Таблица 1.7

Спутниковая аппаратура контроля радиационного баланса Земли

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
ИСП, ScaRab	ИСЗ серии «Метеор-3»
«Исток-1»	Модуль «Природа»
ACRIM-2, SOLSTICE, SUSIM	Uars
AVHRR/2, HIRS/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3, HIRS/3	Noaa K-N, N'
SSU	Noaa 9,11,14

SBUV/2	Noaa 9,11,14,K,M,N,N'
ERBE	Noaa 9,10
POLDER	Adeos-1, Adeos-2
CERES, VIRS	Trmm
ScaRab	Envisat-1
CERES	ИСЗ серии Eos-AM
EOSP	ИСЗ серии Eos-AM 2,3
GERBI	ИСЗ серии MSG
AIRS, CERES	ИСЗ серии Eos-PM
AVHRR/3, HIRS/3, ScaRab	Metop-1,2

Обязательным этапом в изучении радиационного баланса Земли, а также важной задачей климатологических исследований является измерение альбедо. Объясняется это тем, что до 30% солнечной энергии, падающей на Землю, отражается облаками и земной поверхностью. Аппаратура ДЗЗ, используемая для измерения альбедо, представлена в *табл. 1.17.*

1.2.4. *Измерение солнечной постоянной*

1.2.5. *Измерение температуры поверхности*

1.2.6. *Контроль содержания аэрозолей в земной атмосфере*

В табл.1.8 представлена бортовая аппаратура и космические аппараты дистанционного зондирования, которые могут быть использованы в интересах анализа атмосферных аэрозолей. Данные о концентрации и распределении аэрозолей, например пыли или частичек серы, учитываются при изучении климата. Аэрозоли непосредственно влияют на поглощение и передачу солнечного излучения и воздействуют, таким образом, на радиационный баланс Земли. Кроме того, частицы аэрозольного вещества, являясь ядрами конденсации, оказывают влияние на формирование облачного покрова Земли. Аэрозоли могут являться химически активными веществами и оказывать определенное воздействие на другие атмосферные образования, включая высотный озоновый слой.

Таблица 1.8

Аппаратура ДЗЗ, используемая для анализа атмосферных аэрозолей

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
АЛИССА, MOS, «Озон-Мир»	Модуль «Природа»
AVHRR/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3	Noaa K-N, N'
ATSR	Ers-1
ATSR-2, GOME	Ers-2
AATSR, GOMOS, MERIS, MIPAS, SCIAMACHY	Envisat-1
ILAS, POLDER, RIS	Adeos-1
ILAS-2, POLDER	Adeos-2
Построитель изображений в ИК-диапазоне,	Odin

Спектрометр УФ- и видимого диапазонов	
MISR, MODIS	Eos-AM 1
EOSP, MISR, MODIS	Eos-AM 2,3
SAGE III	ИСЗ серии Eos-AERO
MODIS	ИСЗ серии Eos-PM
HiRDLS	ИСЗ серии Eos-CHEM
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
MOS	Ins-P3
AVHRR/3, IASI	Metop-1,2

1.2.7. *Контроль загрязнения атмосферы*

В /5/ отмечается, что при использовании методов дистанционной индикации газов в интересах контроля загрязнения окружающей среды, информация дистанционного зондирования Земли из космоса позволяет решать следующие задачи.

1. Определять общее содержание и распределение газов в атмосфере по вертикали, что позволяет установить:

- глобальный уровень загрязнения;
- региональное рассеяние загрязнителей и их циркуляцию;
- пространственное и временное изменение содержания загрязняющих веществ над городами, сельскохозяйственными угодьями и океаническими районами;
- механизм выпадений загрязняющих веществ;
- особенности протекания атмосферных химических процессов;
- особенности формирования транснациональных потоков загрязняющих веществ.

2. Осуществлять картирование местоположения локальных источников загрязнения (целлюлозно-бумажных комбинатов, сталелитейных заводов, нефтеперерабатывающих предприятий, химических заводов, горнообогатительных комбинатов и т.д.).

3. Осуществлять наблюдение за отдаленными районами захоронения токсичных веществ.

При составлении прогнозов распространения загрязняющих веществ в атмосфере широко используется информация, получаемая с использованием спутниковых средств контроля атмосферных ветров (*табл. 1.15*).

1.2.8. *Наблюдение за перемещением облаков*

Наблюдение за перемещениями облаков преимущественно осуществляется с целью определения скорости и направления ветра.

Требования к информации дистанционного зондирования при этом следующие:

- шаг измерительной сетки 50/100 км (суша/море);
- точность определения направления ветра: $\pm 5^{\circ}$;
- точность определения скорости ветра: $\pm 5\%$ или ± 1 м/с;
- точность определения высоты облаков: ± 150 м;
- периодичность съемки: 12 ч.

1.2.9. *Измерение температуры и топографирование поверхности моря*

Топографирование поверхности океана (*табл. 1.23*) необходимо при изучении глобального климата Земли. Объясняется это тем, что получаемая информация позволяет изучать океанские течения, направленные из тропических широт к полюсам и приводящие к смягчению климата Земли.

1.2.10. *Наблюдение облачного покрова*

Влияние облаков на энергетические атмосферные процессы является ключевой проблемой климатологии: нижние облачные слои эффективно отражают коротковолновое солнечное излучение, а высокие слои перистых облаков задерживают длинноволновое излучение Земли, что приводит к возникновению «парникового» эффекта. В ходе наблюдения за облачностью осуществляется /24/ выявление перистых, высококучевых, слоисто-кучевых, кучевых и кучево-дождевых облаков; исследуется структура облачных систем средних размеров: полосная, ячеистая и спиралевидная; а также изучаются элементы облачных систем крупных размеров: фронтальной облачности, облачных спиралей, циклонов, облачности струйных течений.

Определение типов облаков, сплоченности облачного покрова и температуры верхушек облаков осуществляется с использованием аппаратуры и космических аппаратов дистанционного зондирования, приведенных в *табл. 1.9*. В большинстве случаев требуемое пространственное разрешение составляет 1 км (глобальный анализ) и 150 м (локальный анализ), а необходимая точность измерения температуры — ± 1 К (для Т >230 К) и ± 0.5 К (для Т >273 К).

Получение стереоскопических изображений облаков /4/ необходимо при решении задач, связанных с предсказанием погоды в региональном и локальном масштабах, изучении воздушного движения, в интересах климатологии облаков, при исследовании влияния облаков на радиационный баланс Земли. При этом к космической аппаратуре ДЗЗ предъявляются следующие требования: пространственное разрешение 150 м (локальная съемка), 3 км (глобальная); точность определения высоты ± 150 м; периодичность съемки 12 ч.

Аппаратура дистанционного зондирования, обеспечивающая получение информации о микрофизической структуре и построение объемных изображений облаков, приведена в *табл. 1.10*. При изучении характеристик облачных частиц определяются спектр распределения по размерам, а также фазовое состояние (жидкое или кристаллическое) облачных частиц.

Полученная информация является существенной при определении оптических характеристик и альбедо облаков, необходимых в климатологических приложениях. В сочетании с данными о температуре верхушек, объемные изображения облаков используются в задачах грозового предупреждения, преимущественно, при составлении краткосрочных прогнозов.

Таблица 1.9

Спутниковая аппаратура наблюдения за облачностью и определения температуры верхушек облаков

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
РМ-0.8	ИСЗ серии «Океан»
МР-900, МР-000	ИСЗ серии «Метеор-2»
МР-900Б, МР-2000М	ИСЗ серии «Метеор-3»
АЛИССА, ТВ-камера	Модуль «Природа»
МСР, «Климат-2»	ИСЗ серии «Метеор-3М»
БТВК	«Электро»
MSR, VTIR	Mos-1B
VISSR	Gms-4,5
VHRR	Insat-2A,2B
MVIRI	Meteosat-3,7
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
VISSR, VAS	Goes-7
Imager	Goes-8,9,K,M
AVHRR/2, HIRS/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3, AMSU-A, HIRS/3	Noaa K-N, N'
AMSU-B	Noaa K-M
MHS	Noaa N, N'
ATSR	Ers-1
ATSR-2, GOME	Ers-2
AATSR, MERIS, SCIAMACHY	Envisat-1
POLDER	Adeos-1, Adeos-2
Многоспектральный сканирующий радиометр (3 канала)	FY-2
Многоспектральный сканирующий радиометр (10 каналов)	FY-1C,1D
VIRS	Trmm
ASTER, MISR, MODIS	Eos-AM 1
EOSP, MISR, MODIS	Eos-AM 2,3
AIRS, AMSU, MHS, MIMR, MODIS	ИСЗ серии Eos-PM
HiRDLS	ИСЗ серии Eos-CHEM
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
VHRR	Insat-2E
AMSU-A, AVHRR/3, HIRS/3, IASI, MHS, MIMR	ИСЗ серии Metop

1.2.11. *Измерение вертикального профиля температуры*

Информация, получаемая с использованием приборов изучения атмосферных температурных полей (*табл. 1.11*), необходима при построении численных моделей погоды, контроля многолетних глобальных температурных изменений, при изучении взаимосвязи климата с параметрами атмосферы, уточнении численных моделей атмосферы. Кроме того, эта информация может быть использована для определения структуры высотных ветров (геострофических ветров), которая, в свою очередь, является основой штормопредупреждения и прогнозирования опасных приповерхностных ветров.

Таблица 1.10

Спутниковая аппаратура определения характеристик облачных частиц и построения профиля облаков

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
РМ-0.8	ИСЗ серии «Океан»
АЛИССА	Модуль «Природа»
POLDER	Adeos-1
POLDER, AMSR	Adeos-2
AMSU-A, AMSU-B	Noaa K-M
AMSU-A, MHS	Noaa N, N'
MODIS	Eos-AM 1
EOSP, MODIS	Eos-AM 2,3
MERIS	Envisat-1
AMSU/MHS, MIMR, MODIS	ИСЗ серии Eos-PM
AMSU-A, MHS, MIMR	ИСЗ серии Metop

Таблица 1.11

Аппаратура дистанционного зондирования для изучения атмосферных температурных полей

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
174-K	ИСЗ серии «Метеор-3»
174-K, MT3A, SAGE-III	ИСЗ серии «Метеор-3М»
CLAES, HALOE, HRDI, WINDII, MLS, ISAMS	Uars
SSU	Noaa 9,11,14
HIRS/2, MSU	Noaa 9–12,14
AMSU-A, HIRS/3	Noaa K-N, N'
Sounder	Goes 8–9,K,M
Построитель изображений ИК-диапазона, радиометр	Odin
GOMOS, SCIAMACHY	Envisat-1
SAGE III	ИСЗ серии Eos-AERO
AMSU, AIRS, MIMR	ИСЗ серии Eos-PM
MLS, HiRDLS	ИСЗ серии Eos-CHEM
AMSU-A, HIRS/3, IASI, MIMR	ИСЗ серии Metop

1.2.12. *Наблюдение конвективных облаков*

1.2.13. *Анализ особенностей транстропического переноса энергии*

1.2.14. *Наблюдение грозовых разрядов*

1.2.15. ***Анализ концентрации тропосферного озона***

1.2.16. ***Измерение вертикального профиля тропосферных ветров***

1.2.17. ***Наблюдение осадков***

Осадкообразование является одним из наиболее существенных механизмов перераспределения солнечной энергии по планете. Наблюдение за осадками (*табл. 1.2*) необходимо при решении геофизических задач различного уровня: от предсказания локальных засух или наводнений, до формирования глобальных прогнозов изменения климата планеты. Особое внимание при этом уделяется тропическим ливням, что обусловлено их большим удельным весом в общем процессе осадкообразования: до двух третей от общего количества осадков планеты приходится на тропические дожди. Кроме того, процессы осадкообразования существенным образом зависят от величины альбедо, для определения которого необходимо изучение состояния растительного покрова и влажности поверхности Земли (*табл. 1.4*).

1.2.18. ***Измерение влажности верхней тропосферы***

Исследование атмосферных полей влажности осуществляется с использованием аппаратуры ДЗЗ, представленной в *табл. 1.12*. Информация о влажности атмосферы, наряду с результатами определения вертикального профиля температуры и влажности подстилающей поверхности (*табл. 1.2*), используется в качестве дополнительных исходных данных в глобальных численных моделях предсказания погоды (ЧМПП). Точное определение профилей влажности атмосферы необходимо также для расчета корректирующих коэффициентов, позволяющих учитывать воздействие водяного пара на сигналы, принимаемые различными бортовыми приборами дистанционного зондирования, например, спутниковыми высотомерами.

Таблица 1.12

Аппаратура ДЗЗ, обеспечивающая изучение атмосферных полей влажности

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
PM-0.8	ИСЗ серии «Океан»
174-K, МИВЗА	ИСЗ серии «Метеор-3»
174-K, МИВЗА-М	ИСЗ серии «Метеор-3М»
МИВЗА-М	«Ресурс-О2»
CLAES, HALOE, MLS	Uars
VISSR, VAS	Goes-7
Imager, Sounder	Goes-8,9,K,M
VISSR	Gms-5
MVIRI	Meteosat 3–7
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
HIRS/2, MSU	Noaa 9–12,14
HIRS/3	Noaa K-N, N'
AMSU-B	Noaa K-M
MHS	Noaa N, N'
ATSR	Ers-1
ATSR-2, GOME	Ers-2
AATSR, GOMOS, MIPAS, SCIAMACHY, MWR	Envisat-1
ILAS	Adeos-1
AMSR, ILAS-2	Adeos-2
AMR	ИСЗ серии Eos-ALTR
SAGE-III	ИСЗ серии Eos-AERO
AIRS, MIMR, AMSU, MHS	ИСЗ серии Eos-PM
HiRDLS, MLS, TES	ИСЗ серии Eos-PM
HIRS/3, IASI, MHS, MIMR	ИСЗ серии Metop

1.2.19. ***Измерение влажности водяного пара***

Изучение механизмов парообразования и особенностей водного баланса планеты в целом осуществляется путем сопоставления результатов измерения температуры поверхности (*табл. 1.16*) с информацией об осадках (*табл. 1.2*).

1.2.20. ***Измерение высоты «верхушек» облаков***

Изучение верхушек облаков осуществляется с целью анализа и предсказания погоды. Требуемая точность измерения высоты облаков составляет при этом ±150 м, а периодичность съемки — 12 ч.

1.2.21. ***Измерение концентрации в атмосфере малых газовых компонентов***

Изучение концентрации газов, содержащихся в атмосфере в малых количествах (за исключением озона), осуществляется с использованием аппаратуры, представленной в *табл. 1.13*. Такого рода газы могут быть разделены на три категории: газы, способствующие возникновению «парникового» эффекта и изменению климата; химически агрессивные газы, оказывающие воздействие на окружающую среду, включая биосферу; и, наконец, газы и радикалы, влияющие как на климат, так и на окружающую среду путем воздействия на оборот атмосферного озона.

Таблица 1.13

Спутниковая аппаратура анализа концентрации малых газовых компонентов (исключая озон)

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
TOMS	ИСЗ серии «Метеор-3»
TOMS, SAGE-III	ИСЗ серии «Метеор-3М»
MOS, «Озон-Мир»	Модуль «Природа»
CLAES, HALOE, HRDI, MLS, WIND II	Uars
SBUV/2	Noaa 9,11,14,K,M,N,N'
GOME	Ers-2
GOMOS, MIPAS, SCIAMACHY	Envisat-1
TOMS	Toms-EP

TOMS, ILAS, IMG, RIS	Adeos-1
ILAS-2	Adeos-2
Спектрометр УФ- и видимого диапазонов, радиометр	Odin
MOPITT	Eos-AM 1
SAGE III	ИСЗ серии Eos-AERO
HiRDLS, MLS, TES	ИСЗ серии Eos-CHEM
MOS	Irs-P3
IASI	Metop-1,2

1.3. ПОИСК ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Среди природных источников энергии принято выделять ископаемые энергоносители и источники «свободной» энергии. Далее перечислены основные задачи дистанционного зондирования, направленные на поиск источников энергии указанных двух классов. Требования к информации дистанционного зондирования, необходимой для решения соответствующих задач, приведены в *табл. 1.14.*

Таблица 1.14

Требования к информации ДЗЗ при решении задач поиска полезных ископаемых и энергоносителей

1	2	3	4	5	6	7	8
1.3.1	1	текстура	N-L	DE	25	VIS	да
1.3.2	3		L	H	30	VIS	да
1.3.3	4	спектр излучения	L	H	30	IR	нет
1.3.4	5	текстура, спектр излучения	L	DE	30	VIS+IR	нет
1.3.5	6	текстура	L	DE	30	VIS,MW	нет
1.3.6, 1.3.7	2	текстура	N-L	DE	15	VIS+IR, MW	нет

Разделы таблицы:

1 — решаемая задача (*см.подразделы п. 1.3*);
2 — приоритет задачи /*8*/;
3 — используемые характеристики геофизических объектов;
4 — масштаб наблюдений;
5 — периодичность съемки;
6 — пространственное разрешение, м;
7 — используемые спектральные диапазоны;
8 — необходимость использования стереоскопии (*да/нет*).

1.3.1. ***Поиск нефти, природного газа и угля***

1.3.2. ***Получение информации дистанционного зондирования, необходимой для использовании энергии ветра***

Спутниковая аппаратура ДЗЗ, непосредственно предназначенная для изучения атмосферных ветров, представлена в *табл. 1.15.* В тропической и субтропической зонах изображения, получаемые геостационарными метеорологическими ИСЗ, используются для восстановления структуры тропосферных ветров по перемещениям облаков. За пределами тропической климатической зоны геострофическая ветровая компонента восстанавливается на основе данных о температурных полях.

Таблица 1.15

Аппаратура дистанционного зондирования, предназначенная для изучения атмосферных ветров

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
БТВК	«Электро»
HRDI, WINDII	Uars
VISSR	Gms-4,5
VHRR	Insat-2A,2B
MVIRI	Meteosat-3,7
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
VISSR, VAS	Goes-7
Imager	Goes-8,9,K,M
Многоспектральный сканирующий радиометр (3 канала)	FY-2
Радиометр	Odin
HiRDLS	ИСЗ серии Eos-CHEM
VHRR	Insat-2E

Получаемые данные о ветрах используются также в качестве исходных данных в ЧМПП, для исследования процессов глобального изменения климата. Точная и своевременная информация о структуре и характеристиках атмосферных ветров необходима при планировании авиационных полетов и прогнозировании распространения загрязняющих веществ в атмосфере (задача **1.2.7**).

1.3.3. ***Получение информации, необходимой для использования солнечной энергии***

1.3.4. ***Определение потенциальных возможностей, оптимизация характеристик и районов размещения средств, предназначенных для использования геотермальной энергии***

1.3.5. ***Получение информации, необходимой для создания и эксплуатации гидроэлектростанций***

Космические средства дистанционного зондирования используются в данном случае для обнаружения крупных зон осадков, определения полноводности рек, а также решения других задач контроля водных ресурсов.

При поиске месторождений полезных ископаемых наиболее предпочтительными являются спектральные диапазоны /2/: панхроматический, 0.64, 0.68, 0.4–1.1, 1.55–1.67, 2.1–2.3, 10–12 мкм, микроволновый. Согласно классификации материалов космической съемки, приведенной в /7/, задачи поиска полезных ископаемых могут быть условно разделены на два класса в соответствии с масштабностью наблюдаемых геологических объектов.

1.3.6. ***Геологоразведочные задачи обзорного масштаба*** (масштаб более 1:1000000, разрешение на местности хуже 100 м):

- выявление трансконтинентальных линеаментов, разрывных нарушений, планетарной трещиноватости; выделение структурно-формационных зон и крупнейших овально-кольцевых структур, тектоническое и неотектоническое районирование платформенных и складчатых территорий;
- выявление трансрегиональных и региональных линеаментов, разрывных нарушений, систем трещиноватости; картирование структурно-вещественных комплексов, крупных блоков и овально-кольцевых структур; обзорное тектоническое, неотектоническое и нефтегазогеологическое районирование.

1.3.7. ***Геологоразведочные задачи регионального масштаба*** (масштаб менее 1:1000000, разрешение на местности менее 100 м):

- выявление региональных линеаментов, разрывных нарушений, трещиноватости; картирование неоген-четвертичных отложений, структурно-литологических толщ; изучение региональных складчатых структур; выделение зон новейшей активизации, разломов и др.;
- дешифрирование структурно-тектонических элементов: разломов, элементов складчатости, участков разной степени новейшей активизации, овально-кольцевых структур, элементов залегания трещиноватости и др.;
- дешифрирование участков локальных структур, активных в новейшее время, мелких разрывов, трещиноватости;
- выделение возрастных и генетических типов новейших отложений, элементов геоморфологии, тектоники локального класса: разрывы, элементы локальных структур, сбросы, грабены, крылья, надсводовые мульды соленых куполов; литологических маркирующих горизонтов: песчаники, фосфориты, мергели и др.

Обобщенные требования к информации ДЗЗ, используемой при поиске полезных ископаемых, приведены в *табл. 1.14*. Для изучения тектонических пластов, выявления областей геологической активности (например, вдоль линейных разломов, в вулканоопасных зонах) используется информация дистанционного зондирования, полученная при определении температуры земной поверхности (*табл. 1.16*), в сочетании со спутниковыми данными об альбедо (*табл. 1.17*).

Таблица 1.16

Спутниковая аппаратура, предназначенная для измерения температуры земной поверхности

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
МСР	ИСЗ серии «Метеор-3М»
«Исток-1», МСУ-СК	Модуль «Природа»
МСУ-СК	ИСЗ серии «Океан-О»
МСУ-СК	ИСЗ серии «Ресурс-О1»
МСУ-СК	ИСЗ серии «Ресурс-О2»
МСУ-СК	«Алмаз-1Б»
VTIR	Mos-1B
ATSR	Ers-1
ATSR-2	Ers-2
AATSR	Envisat-1
MSS, TM	Landsat-4,5
ETM	Landsat-7
AVHRR/2, HIRS/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3, HIRS/3	Noaa K-N,N'
ASTER	Eos-AM 1
MODIS	ИСЗ серии Eos-AM
AIRS, MODIS	ИСЗ серии Eos-PM
AVHRR/3, HIRS/3, IASI	Metop-1,2

Таблица 1.17

Аппаратура дистанционного зондирования, предназначенная для измерения альбедо и отражающей способности земной поверхности

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
«Исток-1»	Модуль «Природа»
Камеры серии МСУ	Российские ИСЗ
TM	Landsat-4,5
ETM	Landsat-7
OPS	Jers-1
AVHRR/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3	Noaa K-N,N'
HRV	Spot-1,2,3
HRVIR, Vegetation	Spot-4
HRG, Vegetation	Spot-5
ATSR	Ers-1
ATSR-2	Ers-2
AATSR, MERIS	Envisat-1
WiFS	Irs-1C,1D
OCTS, AVNIR, POLDER	Adeos-1

GLI, POLDER	Adeos-2
Построитель изображений в ИК-диапазоне, спектрометр УФ- и видимого диапазонов	Odin
MODIS	ИСЗ серии Eos-PM
ASTER, MISR, MODIS	Eos-AM 1
EOSP, MISR, MODIS	Eos-AM 2,3
WiFS	Irs-P3,P4,P5
AVNIR-2	Alos
AVHRR/3	Metop-1,2

1.4. ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ

Решение задач землепользования в глобальном масштабе направлено на выявление тенденций развития ландшафтов и выделение изменений земной поверхности, имеющих естественный и антропогенный характер. Далее приводятся основные задачи землепользования, а также соответствующие этим задачам требования к информации ДЗЗ (*табл. 1.18*).

Таблица 1.18

Требования к информации ДЗЗ при решении основных задач землепользования

1	2	3	4	5	6	7
1.4.1	открытая земля, растительность, снег/лед, с/х площади, города, водные поверхности	G	M	1000	VIS, NIR, TIR	да
	картографирование	G	M	1000	MW	да
	индекс вегетации, поверхн.влажность, влажность почвы, тип с/х культур, видимая фотосинтетическая светимость	G	W	1000	VIS, NIR, TIR	да
	температура посадок	G	W	1000	VIS, NIR, TIR	да
1.4.2	спектральные характеристики отраженного излучения	N	W/M	10	VIS, NIR, TIR, MW	нет
1.4.3	текстура поверхности	R	W	1	VIS	нет

Разделы таблицы:

1 — номер задачи (*см.подразделы п.1.4*);
2 — анализируемые объекты и их характеристики;
3 — масштаб наблюдений;
4 — периодичность съемки;
5 — пространственное разрешение, м;
6 — спектральные диапазоны;
7 — необходимость использования стереоскопии (*да/нет*).

1.4.1. *Топографическое картирование*

Топографическое картирование осуществляется с целью обеспечения исследовательских и прикладных программ по изучению глобальных изменений окружающей среды топографической информацией и информацией о характере поверхности Земли. При этом разделяются следующие типы поверхности: растительность, открытая земля, снежный или ледовый покровы, постройки, инфраструктурные сооружения, сельскохозяйственные площади, водные массивы.

В соответствии с /2/ для решения задач землепользования оптимальными спектральными диапазонами являются: панхроматический, 0.56, 0.6, 0.64, 0.68 мкм, разрешение на местности при этом должно составлять 30–100 м (масштаб 1:250000) или 20–30 м (масштаб 1:50000), а периодичность съемки — 4 раза за период вегетации. Кроме того, топографирование земной поверхности выполняется с использованием радиолокационных систем высокого разрешения.

Уточненные требования к пространственному разрешению материалов космической съемки, необходимых при топографическом картировании, представлены в *табл. 1.19* /9/.

Таблица 1.19

Требования к пространственному разрешению при дистанционном изучении некоторых геоморфологических явлений

Объект изучения	Пространственное разрешение, м	
	Детальная съемка	Обзорная съемка
Эоловые формы	30–60	60–150
Оползни	10–20	50–80
Делювиально-пролювиальные конусы выноса, шлейфы	15–60	60–90
Плайи, такыры	30	60–90
Колебания береговой линии	5–10	30–50
Селевые потоки	60–90	90–150
Дельты	15–30	30–90
Ледниковые формы	60–90	90–120
Вулканические формы	10–50	50–100
Речные долины	30–70	100–300

Существующие космические средства дистанционного зондирования (*табл.1.20*) позволяют осуществлять крупномасштабное топографирование отдельных участков земной поверхности. Получаемая при этом информация используется, например, в интересах земельного планирования, для корректировки данных, получаемых с использованием других приборов ДЗЗ, определения каналов стока воды и вероятных областей затопления, для изучения процессов эрозии почвы. В прибрежной зоне топографическая информация необходима для выявления незначительных изменений крутизны береговых склонов и прогнозирования наводнений.

Таблица 1.20

Аппаратура дистанционного зондирования, используемая для топографирования земной поверхности

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
РЛСБО	ИСЗ серии «Океан-0»
«Траверс»	Модуль «Природа»
САР	«Алмаз-1Б»
SAR	Jers-1
HRV	Spot-1,2,3
HRVIR	Spot-4
HRG	Spot-5
AMI-SAR, RA	Ers-1,2
ASAR, RA-2	Envisat-1
PAN	Irs-1C,1D
SAR	Radarsat
AVNIR	Adeos-1
ASTER	Eos-AM 1
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
HR PAN	Irs-P6
AVNIR-2, VSAR	Alos

Высокоточные интерферометрические измерения топографии земной поверхности позволяют получать данные, которые затем используются при прогнозировании извержений вулканов, землетрясений и оползней. В глобальном масштабе топографическая информация ДЗЗ используется для изучения искривлений земной коры, крупномасштабных магнитных и гравитационных аномалий, а также в ряде других случаев. При этом спутниковые снимки используются для изучения общей картины смещения поверхности земли в заданном районе, а для прецизионного измерения смещений отдельных точек поверхности используются приборы глобальной навигационной спутниковой системы GPS. В /28/ отмечается, что с использованием этих приборов удается фиксировать весьма незначительные (единицы миллиметров) ежесуточные смещения земной коры.

Кроме того, с использованием космических средств дистанционного зондирования формируются многолетние банки данных, содержащие информацию об изменениях альбедо и отражающей способности поверхности Земли (*табл.1.17*), связанных с особенностями землепользования и другими факторами антропогенного и естественного характера.

1.4.2. ***Наблюдение за ростом городов***

Актуальным направлением применения космических средств ДЗЗ является получение информации, которая может быть использована для стратегического планирования развития городов и предотвращения экологических и социоэкономических катастроф.

При планировке городов используются следующие спектральные диапазоны: 0.4–1.1, 10–12 мкм и микроволновый, необходимое разрешение на местности составляет 10 м, периодичность съемки — один раз в 12 месяцев, масштаб съемки 1:25000. При планировке районов оптимальными являются те же спектральные диапазоны, разрешение 10–30 м, периодичность 3–6 месяцев, масштаб 1:50000. Для изучения процессов повышения средней температуры поверхности в городских районах используется информация, полученная с использованием космических средств измерения температуры поверхности Земли (*табл.1.16*).

1.4.3. ***Наблюдение за пастбищами, распределением и миграциями диких животных***

Получение информации такого рода осуществляется в основном в видимом диапазоне спектра с высоким пространственным разрешением (в настоящее время на коммерческий рынок российскими организациями предлагается информация ДЗЗ с разрешением 2 м и более, а в ближайшей перспективе — 1 м, в США обсуждается возможность коммерческого использования материалов космической съемки с разрешением 0.75 м /25/). Информация предоставляется в экологические и экономические организации.

1.5. НАБЛЮДЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН И ОКЕАНОВ

К основным методам изучения прибрежных зон и океанов относятся:

- съемка в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра (0.4–1.3 мкм), выполняемая фотографирующими и оптикоэлектронными сканирующими системами;
- тепловая съемка в инфракрасном диапазоне (8–12 мкм) с помощью инфракрасных радиометров, дающая информацию о температуре водной поверхности;
- съемка в микроволновом диапазоне (1 мм—1 м), выполняемая СВЧ-радиометрами, позволяющая, например, разделять однолетние и многолетние льды, определять соленость воды;
- активная радиолокация в том же микроволновом диапазоне, дающая информацию о состоянии поверхности океана, волнении, приповерхностных ветрах и т.п.

Выделяют три основные группы задач, связанные с наблюдением прибрежных зон и океанов (*табл. 1.21*): изучение влияния океана на глобальную циркуляцию углерода и энерегетический баланс Земли, поиск океанских ресурсов, а также контроль загрязнения Мирового океана.

Таблица 1.21

Требования к информации ДЗЗ при наблюдении прибрежных зон и океанов

1	2	3	4	5	6
Влияние океана на циркуляцию углерода и теплообмен (задачи 1.5.1, 1.5.2, 1.5.3)					
Контроль содержания хлорофилла	цвет	W	1000	MW,VIS	нет
	температура	W	1000	IR,MW	нет
Изучение динамики океана	высота волн	D	0.1	MW	нет
	скорость ветра	W	50000	MW	нет
	направление волн	D	—	MW	нет
Изучение топографии поверхности океана	высота моря	W	1	MW	да
Анализ энергетического обмена поверхности	температура	H/D	1000	IR,MW	нет
	волнистость	H/D	0.1	MW	да
	влажность	H/D		MW	нет
Изучение океанских ресурсов (задача 1.5.4)					
Анализ содержания хлорофилла	температура, цвет	W	1000	MW, IR,VIS	нет
Измерение высоты моря	высота моря	W	1	MW	да
Измерение температуры моря	глубинная температура	W	1000	IR,MW	да
Изучение морских отложений	модель отложений	W	1	MW	да
Измерение соляной концентрации	излучательн. способность	D	100	MW	да
Выявление источников загрязнения океана (задача 1.5.5)					
Анализ содержания хлорофилла	температура, цвет	W	100	IR,MW, VIS	нет
Измерение температуры моря	температура	W	100	TIR	нет
Наблюдение за осадками	цвет	D		VIS	
Изучение топографии морской поверхности	высота и направление волн	D/H	0.5	MW	да

Разделы таблицы::

1 — исследуемые объекты;
2 — анализируемые характеристики объектов;
3 — периодичность наблюдения;
4 — пространственное разрешение (для характеристик, имеющих размерность длины — точность измерения), м;
5 — используемые спектральные даиапазоны;
6 — необходимость использования стереоскопии (*да/нет*).

1.5.1. *Контроль динамики развития фитопланктона*

Фитопланктон вносит основной вклад в механизм поглощения атмосферного углекислого газа, образуя биологический фильтр, поглощающий часть углекислоты, выделяемой в атмосферу при сгорании энергоносителей. Важность изучения фитопланктона определяется еще и тем, что он образует низшее звено в пищевой цепочке. Дистанционное изучение фитопланктона основано на проведении спектрозональной съемки и определении цвета поверхности океана (*табл. 1.22*).

Таблица 1.22

Аппаратура дистанционного зондирования, предназначенная для анализ цвета поверхности океана

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
MOS	Модуль «Природа»
SeaWiFS	SeaStar
OCTS, POLDER	Adeos-1
GLI, POLDER	Adeos-2
MERIS	Envisat-1
MODIS	ИСЗ серии Eos-AM
Ocean-Color	Eos-Color
MODIS	ИСЗ серии Eos-PM
MOS	Irs-P3
OCM	Irs-P5

1.5.2. *Изучение динамики процессов выпадения планктона*

Контроль выпадения планктона позволяет оценить запасы углерода в морских отложениях. Особенности выпадения фитопланктона во многом определяются штормами, водоворотами, подводными волнами, океанскими течениями. Для получения необходимой информации о динамике океана измеряется уровень моря, структура и температура морской поверхности.

1.5.3. *Изучение механизма участия океана в процессе глобального теплообмена*

Поглощение океаном тепла из атмосферы во многом предотвращает опасность «глобального потепления». Для детального изучения процес-

сов теплового взаимодействия атмосферы и океана необходимо измерение температуры морской поверхности, наблюдение за штормами и осадками.

Необходимо отметить, что теплообмен на границе атмосферы и океана является одним из основных факторов, определяющим особенности протекания процессов энергетического баланса, атмосферных и океанских циркуляций и, в конечном счете, — формирования погоды и климата планеты. Выявленные отклонения температуры поверхности океана свидетельствуют о происходящих изменениях окружающей среды, связанных с подъемом уровня мирового океана и обезвоживанием. Необходимо отметить, что во многих случаях получение требуемой температурной информации возможно только с использованием космических средств (*табл. 1.23*), в то время как альтернативные средства геофизического мониторинга не обеспечивают получение необходимой информации с достаточным качеством и оперативностью.

Таблица 1.23

Аппаратура ДЗЗ, предназначенная для измерения температуры поверхности моря

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
«Климат»	ИСЗ серии «Метеор-3»
МЗОАС	ИСЗ серии «Метеор-3М»
«Икар-Д», «Икар-Н», «Икар-П», Р-400	Модуль «Природа»
VTIR	Mos-1B
VISSR	Gms-4,5
VHRR	Insat-2A,2B
VISSR, VAS	Goes-7
Imager	Goes-8,9,K-M
MVIRI	Meteosat 3–7
SEVIRI	ИСЗ серии MSG
Многоспектральный сканирующий радиометр видимого и ИК-диапазонов (3 канала)	FY-2
Многоспектральный сканирующий радиометр видимого и ИК-диапазонов (10 каналов)	FY-1C,1D
AVHRR/2, HIRS/2	Noaa 9–12,14
AVHRR/3, HIRS/3	Noaa K-N,N'
ATSR	Ers-1,2
AATSR	Envisat-1
OCTS	Adeos-1
AMSR, GLI	Adeos-2
MODIS	ИСЗ серии Eos-AM
TM	Landsat-4,5
ETM	Landsat-7
MODIS, MIMR, AIRS	ИСЗ серии Eos-PM
VHRR	Insat-2E
AVHRR/3, HIRS/3, IASI, MIMR	Metop-1,2

Результаты измерения высоты и спектра морских волн с использованием спутниковой аппаратуры ДЗЗ (*табл. 1.24*) используются для уточнения условий формирования штормов и ураганов, необходимых при изучении процессов теплообмена.

Таблица 1.24

Спутниковая аппаратура, предназначенная для измерения высоты и спектра морских волн

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
«Траверс»	Модуль «Природа»
РЛСБО	ИСЗ серии «Океан-О»
САР, СЛР-3	«Алмаз-1Б»
SSALT	Topex/Poseidon
SAR	Jers-1
RA, AMI-SAR (в режиме построения изображений и измерения характеристик волн)	Ers-1,2
ASAR, RA-2	Envisat-1
SAR	Radarsat
SSALT	ИСЗ серии Eos-ALTR
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
VSAR	Alos
SSALT-2	Последующие ИСЗ по программе Topex/Poseidon

1.5.4. *Изучение океанских ресурсов.*

Изучение океанских ресурсов заключается в поиске рыбы и других пищевых ресурсов, а также полезных ископаемых (нефти, газа и т.п.). При поиске косяков рыбы наиболее часто используются оперативные результаты измерения цвета поверхности океана (*табл. 1.22*). Кроме того, при решении различного рода задач, связанных с добычей природных ресурсов в открытом море и прокладкой трубопроводов по морскому дну, широко используются результаты топографирования поверхности океана (*табл. 1.25*).

Таблица 1.25

Спутниковая аппаратура топографирования поверхности океана, исследования течений

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
«Траверс»	Модуль «Природа»
РЛСБО	ИСЗ серии «Океан-О»
САР	«Алмаз-1Б»
DORIS, ALT, GPSDR, LRA, SSALT, TMR	Topex/Poseidon
SAR	Jers-1

RA, AMI-SAR	Ers-1,2
DORIS-NG, RA-2, ASAR	Envisat-1
SAR	Radarsat
DORIS, SSALT	ИСЗ серии Eos-ALTR
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
LRA, TMR, DORIS-NG, SSALT-2	Последующие ИСЗ по программе Topex/Poseidon

Совместное использование данных о высоте и спектре морских волн (*табл. 1.24*), температуре морской поверхности (*табл. 1.23*) и скорости ветра (*табл. 1.26*) позволяет получать достаточно точные прогнозы поведения океанских волн, что особенно важно при прокладке оптимальных морских маршрутов, установке морских бурильных установок, проектировании береговых защитных сооружений.

Таблица 1.26

Спутниковая аппаратура, используемая для контроля приповерхностных океанских ветров

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
PM-0.8	ИСЗ серии «Океан-О1»
«Икар-Н», «Икар-П», Р-400	Модуль «Природа»
SSALT	Topex/Poseidon
AMI (режим скаттерометра), RA	Ers-1,2
RA-2	Envisat-1
NSCAT	Adeos-1
AMSR, Sea Winds	Adeos-2
SSALT	ИСЗ серии Eos-ALTR
MIMR	ИСЗ серии Eos-PM
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
ASCAT, MIMR	Metop-1,2
VSAR	Alos
SSALT-2	Последующие ИСЗ по программе Topex/Poseidon

1.5.5. *Выявление источников загрязнения океана*

Основными причинами загрязнения океана и прибрежных зон являются:

- органические отходы, содержащиеся в местных сточных водах и промышленных отходах растительного и животного происхождения, приводящие к снижению содержания кислорода в воде;
- растительные питательные вещества, способствующие вредному росту морских водорослей;
- синтетические и органические химикаты;
- осадки;
- радиоактивные выбросы;
- перегрев воды, используемой для охлаждения промышленных объектов.

Дистанционное определение качества воды и выявление загрязнений по местам скопления водорослей может осуществляться путем анализа цвета поверхности океана (*табл. 1.22*). Прогнозирование распространения загрязняющих веществ в океане основывается на использовании информации ДЗЗ о структуре океанских течений (*табл. 1.25*). Для этого преимущественно используются спутниковые высотомеры, обеспечивающие анализ геострофической составляющей течений.

Немаловажную роль в контроле за распространением загрязняющих веществ в океане отводится информации о приповерхностных океанских ветрах. Характеристики океанских ветров, измеренные средствами дистанционного зондирования (*табл. 1.26*), используются также в качестве исходных данных в численных моделях прогноза погоды, при изучении климата, составлении краткосрочных прогнозов, предсказании циклонов и ураганов, в задачах кораблевождения. Как и в случае измерения температуры поверхности моря, космические аппараты ДЗЗ на настоящий момент являются единственным средством получения достаточно полной и точной информации о приповерхностных океанских ветрах.

Получение информации о прибрежных зонах океана имеет свои специфические особенности, обусловленные, прежде всего, относительной мелководностью наблюдаемых участков, влиянием береговой линии, наличием выносов пород впадающими реками и т.п. Основные задачи ДЗЗ, решаемые при наблюдении прибрежных зон океана, а также обобщенные требования к спектральным диапазонам, в которых необходимо проводить космическую съемку, представлены в *табл. 1.27*/11–13/. Отметим, что анализ цвета поверхности океана в береговой зоне (*табл. 1.22*) позволяет обнаруживать районы береговой абразии и вдольберегового переноса осадков.

Таблица 1.27

Требования к спектральным диапазонам съемки при решении задач, связанных с наблюдением прибрежных зон

Диапазон, мкм	Задачи изучения береговой зоны моря
0.4–0.5	наблюдение глубоководных (заглубление до 20–40 м) объектов
0.5–0.6	наблюдение заглубленных (до 15–20 м) объектов , картирование распределения речных выносов
0.59–0.64	обнаружение плавающей на воде пены
0.6–0.7	наблюдение мелководных (заглубление 10–15 м) участков шельфов, выявление подводных кос, распознавание типа берегов, анализ мутности вод
0.7–0.8	выделение береговой линии, оконтуривание возвышенных частей мелководных банок, наблюдение приповерхностных (заглубление 3–5 м) объектов
0.8–1.0	изучение конфигурации водных объектов, измерение температуры моря
3.4–5.6	контроль загрязнения вод, стоковые течения, контроль загрязенения поверхности
10–12	измерение температуры моря

1.6. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Использование космической информации ДЗЗ для обеспечения нужд лесного хозяйства осуществляется по следующим основным направлениям (*табл. 1.28*): контроль обезлесивания, инвентаризация леса, выявление значительных повреждений лесных массивов, лесоводство, в частности — выявление вырубочной динамики.

Таблица 1.28

Требования к информации дистанционного зондирования Земли при решении задач лесного хозяйства

1	2	3	4	5	6	7	8
1.6.1	цвет, температура, текстура	G	TE, SUB, TR	Q	15	VIS, IR, MW	нет
1.6.2	то же	L	TE, SUB, TR	Q	1–10	VIS, NIR	да
1.6.3	высота и плотность деревьев	L	TE, SUB, TR	Y/Q	10	VIS, NIR	да
1.6.4	то же	N	TE, SUB, TR	Y/Q	10	VIS, MW	нет
1.6.5	то же	N	TE, SUB, TR	Y/Q	30		
1.6.6	то же	L/R		A	10—100	VIS, NIR, IR, TIR	нет
1.6.7	цвет, температура, текстура	N	A	Q	100	VIS, IR, NIR, TIR	нет
1.6.8	то же	G	TE, SUB, TR	Q	15	VIS, IR, MW	нет

Разделы таблицы:
1 — номера задач (*см.подразделы п.1.6*),
2 — анализируемые характеристики объектов,
3 — масштаб наблюдения,
4 — климатические зоны,
5 — периодичность наблюдения,
6 — пространственное разрешение, м,
7 — используемые спектральные диапазоны,
8 — использование стереоскопии (*да/нет*).

1.6.1. ***Контроль за уничтожением лесов*** (обезлесиванием).

Наблюдение лесов с использованием спутников дистанционного зондирования Земли является важным средством изучения и регулирования освоения лесных массивов.

Уничтожение лесов оказывает следующее воздействие на окружающую среду:

- нарушение углеродного цикла вследствие образования углекислого газа при лесных пожарах и снижение запасов углерода;
- нарушение водного режима территории на вырубках;
- чрезмерное сокращение биомассы, являющееся следствием бесконтрольного уничтожения лесов.

Особенно актуальной оказывается спутниковая информация о ливневых тропических лесах с большими площадями вырубок. При наблюдении ливневых лесов, значительную часть времени закрытых плотным облачным покровом, наиболее приемлемыми оказываются РСА, обеспечивающие всепогодное и не зависящее от времени суток наблюдение.

Инвентаризация лесного хозяйства (задачи **1.6.2–1.6.5**) осуществляется с целью определения качественных и количественных характеристик лесных массивов.

1.6.2. ***Определение типов лесонасаждений и доминирующих пород***

1.6.3. ***Оценка запасов лесоматериалов***

Запасы лесоматериалов оцениваются путем определения средней высоты деревьев и распределения их плотности.

1.6.4. ***Измерение общей площади и количественная оценка биомассы***

Измерение общей площади и плотности лесного покрова осуществляется с целью количественной оценки биомассы растительности и изменения концентрации углекислого газа.

1.6.5. ***Картографирование лесов***

Картографирование лесов предполагает отслеживание динамики их развития и планирование использования лесных массивов.

1.6.6. ***Оценка ущерба, нанесенного лесным массивам***

Оценка ущерба осуществляется с учетом причин, вызвавших соответствующие повреждения. В качестве основных причин называются: лесные пожары, энтомоповреждения, болезни леса, загрязнение воздуха, бури, а также кислотные дожди.

1.6.7. *Лесоводство*

К задачам лесоводства, при решении которых используется информация дистанционного зондирования, относятся:

- выявление бесконтрольных вырубок леса, вырубочной динамики;
- контроль поражения деревьев насекомыми и пестицидами;
- обнаружение и наблюдение лесных пожаров;
- контроль за посадками деревьев на месте поврежденных, приспеванием и старением лесов.

1.6.8. ***Изучение водного режима лесных массивов***

1.7. КОНТРОЛЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Контроль водных ресурсов предполагает наблюдение снежного и ледяного покровов, определение характеристик источников грунтовых вод, в том числе качества воды, а также мониторинг наводнений, способных привести к опасным последствиям. В /2/ приводятся следующие обобщенные требования к информации ДЗЗ, используемой при решении гидрологических задач: предпочтительные спектральные диапазоны 0.6, 0.3–0.9, 10–12 мкм, пространственное разрешение 30–60 м, масштабы съемки 1:100000 и 1:250000. Далее рассматриваются частные задачи, связанные с контролем водных ресурсов, а также соответствующие требования к космической информации дистанционного зондирования (*табл. 1.29*).

Таблица 1.29

Требования к информации дистанционного зондирования водных ресурсов

1	2	3	4	5	6	7
1.7.1	цвет, альбедо	C	W	100	VIS, NIR, MW	нет
1.7.2	яркость	C	W	10–100	TIR,MW	нет
1.7.3	контуры	C	W	10–100	VIS, NIR, MW	да
1.7.4	контуры, яркость, температура	C, R	D	10–100	NIR, MW	да
1.7.5	альбедо	C, R	D	10	VIS	нет
1.7.6	цвет	C, R	D	10–100	VIS, NIR	нет
1.7.7	яркость	C, R	D	10–100	VIS, NIR, TIR	да
1.7.8	цвет, яркость, контуры	C, R	D	20–500	TIR, MW	нет
1.7.9	характеристика рассеяния	C, R	D	10–100	TIR	нет
1.7.10	цвет, яркость,	R	M	1–10	TIR, MW	нет
	цвет	N	M	1–10	TIR, MW	нет
1.7.11	цвет,	R	M	10–100	VIS, NIR, TIR, MW	да
	контуры	R	M	10–100	TIR, MW	нет
1.7.12	цвет, контуры	R, L	W D	10–100	VIS, MW	да
1.7.13	концентрация загрязняющих веществ	R, M	D	1–10	VIS, NIR, TIR, MW	да

Разделы таблицы:

1 — номера задач (*см.подразделы п.1.7*);
2 — анализируемые характеристики объектов;
3 — масштаб наблюдений;
4 — периодичность наблюдений;
5 — пространственное разрешение, м;
6 — используемые спектральные диапазоны;
7 — использование стереоскопии (*да/нет*).

Наблюдение снежного и ледяного покровов осуществляется с целью:

- контроля запасов пресной воды;
- уточнения модели взаимодействия ледяного покрова и атмосферы в рамках глобального энергетического баланса;
- наблюдения за перемещениями морских льдов;
- оценки протяженности и толщины снежных покровов, предупреждения весенних наводнений.

При этом требования к информации ДЗЗ, необходимой для контроля полярных льдов, морских льдов и снежного покрова, различаются.

Так, топографирование ледовых поверхностей в полярной климатической зоне осуществляется с целью выявления изменений климата и прогнозирования глобального потепления. Спутниковые средства ДЗЗ (*табл. 1.30*) позволяют получать не только рельеф ледников, но и восстанавливать очертания и определять размеры айсбергов, отделившихся от ледовых поверхностей. При изучении полярных льдов информация дистанционного зондирования используется для решения задач **1.7.1–1.7.3.**

Таблица 1.30

Аппаратура дистанционного зондирования, предназначенная для наблюдения полярных льдов

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
«Траверс»	Модуль «Природа»
РЛСБО	ИСЗ серии «Океан-О»
САР	«Алмаз-1Б»
SAR	Jers-1
HRV	Spot-1,2,3
HRVIR	Spot-4
HRG	Spot-5
AMI-SAR, RA	Ers-1,2
ASAR, RA-2	Envisat-1
SAR	Radarsat
AVNIR	Adeos-1
ASTER	Eos-AM 1
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
HR PAN	Irs-P6
AVNIR-2, VSAR	Alos

1.7.1. ***Анализ особенностей взаимодействия льда и атмосферы***

1.7.2. ***Измерение температуры и толщины льда***

1.7.3. ***Изучение отдельных льдин***

При решении этой задачи осуществляется мониторинг отдельных ледяных глыб, включая айсберги. Для изучаемых глыб определяется толщина, выявляется наличие деформаций и изменений границ ледников.

Космические средства дистанционного зондирования позволяют получать информацию о ледовом покрове, разломах морских льдов, а также о толщине льда, причем эта информация по техническим или экономическим соображениям не может быть получена другими средствами. Спутниковые данные ДЗЗ о состоянии ледового покрова (*табл. 1.31*) поступают в масштабе времени, близком к реальному, и используются при прокладке оптимальных курсов кораблей, обслуживании морских бурильных установок, в работе морских страховых компаний, а также в ряде других случаев. При изучении морских льдов специфическими являются задачи **1.7.4, 1.7.5.**

1.7.4. ***Анализ шероховатости и температуры льда***

1.7.5. ***Измерение отражающей способности льда***

Снежный покров играет важную роль в водообороте, информация о протяженности и глубине заснеженных областей (*табл. 1.3*) необходима при решении ряда гидрологических и сельскохозяйственных задач (см. также п.1.1, 1.2). В рассматриваемом случае контроль снежного покрова предполагает решение задач **1.7.6–1.7.9.**

Таблица 1.31

Спутниковая аппаратура для изучения морских льдов

Наименование прибора ДЗЗ	ИСЗ
МР-900, МР-2000	ИСЗ серии «Метеор-2»
МР-900Б, МР-2000М, «Климат»	ИСЗ серии «Метеор-3»
МСР, МЗОАС	ИСЗ серии «Метеор-3М»
MOS, «Траверс»	Модуль «Природа»
РМ-0.8	ИСЗ серии «Океан-О»
САР, СЛР-3	«Алмаз-1Б»
HRV	Spot-1,2,3
HRVIR	Spot-4
HRG	Spot-5
RA, AMI-SAR (в режиме построения изображений)	Ers-1,2
ASAR, MERIS, RA-2	Envisat-1
AVHRR/2	Noaa 9-12,14
AVHRR/3, AMSU-A	Noaa K-N,N'
AMSU-B	Noaa K-M
MHS	Noaa N,N'
TM	Landsat-4,5
ETM	Landsat-7
OPS, SAR	Jers-1
ATSR	Ers-1
ATSR-2	Ers-2
AATSR	Envisat-1
SAR	Radarsat
AVNIR, NSCAT, OCTS	Adeos-1
AMSR, GLI	Adeos-2
ASTER	Eos-AM 1
AMSU, MHS, MIMR	ИСЗ серии Eos-PM
GLAS	ИСЗ серии Eos-ALT
VSAR	Alos
AMSU-A, ASCAT, AVHRR/3, MHS, MIMR	Metop-1,2

1.7.6. ***Выявление областей со снежным покровом***

1.7.7. ***Классификация снежного покрова***

Разделение сухого и мокрого, толстого и тонкого, замерзшего и тающего снега.

1.7.8. ***Определение характеристик снежного покрова***

К основным характеристикам снежного покрова относятся: влажность, температура, глубина и альбедо. Изменения альбедо поверхности, выявленные с использованием аппаратуры зондирования снежного покрова (*табл. 1.3*), учитываются при изучении радиационного баланса и глобального климатообразования планеты. Кроме того, полученные характерис-

тики снежного покрова используются в качестве граничных условий в численных моделях прогноза погоды.

1.7.9. ***Определение водного эквивалента снега***

Дистанционное изучение грунтовых вод (задачи **1.7.10–1.7.13**) проводится с целью выявления источников грунтовых вод, определения их характеристик и изучения особенностей взаимодействия с поверхностными водными источниками.

1.7.10. ***Обнаружение участков разгрузки (вскрытия) грунтовых вод на поверхности***

При непосредственном обнаружении источников грунтовых вод осуществляется выявление выходов грунтовых вод на поверхность. В процессе решения данной задачи определяется положение мест вытекания грунтовых вод, исследуется характер их взаимодействия с поверхностными водными источниками.

1.7.11. ***Косвенное обнаружение грунтовых вод, очерчивание водоносных слоев***

Поиск признаков на поверхности суши, свидетельствующих о наличии грунтовых вод и глубине их залегания, изучение горизонта грунтовых вод. Очерчивание водоносных слоев предполагает оценку размеров, состояния, количества и качества грунтовых источников.

1.7.12. ***Мониторинг наводнений***

Выделение затопленных площадей, в том числе и при плотном растительном покрове. При этом широко используется информация об осадках, получаемая с использованием средств ДЗЗ, представленных в *табл. 1.2.*

1.7.13. ***Контроль качества воды***

Обнаружение местоположения и характера источников загрязнений воды, планирование мест установки очистных сооружений.

1.8. МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Многие перечисленные задачи (например, пп.1.7.12, 1.4.1) можно отнести также к задачам обнаружения и контроля чрезвычайных ситуаций. Космические системы ДЗЗ обладают преимуществами перед другими системами получения информации для оценки обстановки в тех случаях, когда зона чрезвычайной ситуации охватывает территории большой площади или по различным причинам другими способами этого сделать нельзя. В таких случаях основными преимуществами космических систем являются: оперативность, меньшая зависимость от метеоусловий, захват в полосе обзора больших территорий, что чрезвычайно важно для такой страны, как Россия.

1.8.1. ***Предупреждение, контроль и оценка последствий наводнений (паводков и наводнений в результате ливневых дождей).***

1.8.2. ***Организация информационного обеспечения при экстренном реагировании на землетрясения, пожары, наводнения и т.п.***

2 КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОСНАЩЕННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРОЙ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В настоящей главе приводится описание космических систем изучения природных ресурсов Земли, в которых в качестве основных датчиков дистанционного зондирования используются оптические камеры, обеспечивающие высокое (лучше 100 м) пространственное разрешение получаемых снимков в полосе обзора около 100 км. Различают три основных типа оптических датчиков ДЗЗ: телевизионные камеры, оптические камеры с механическим сканированием, оптико-электронные камеры на ПЗС.

Телевизионные системы работают в том же спектральном диапазоне (0.4–0.9 мкм), что и фотографические камеры. Системы такого типа применялись для проведения съемки с высоким пространственным разрешением преимущественно на первых ИСЗ ДЗЗ типа спутников Landsat первого поколения (п.2.1.3.1). На современных космических аппаратах телевизионные камеры используются редко и в основном для получения изображений со средним разрешением (модуль «Природа», п.3.7.2.3).

Преимуществом оптических камер с механическим сканированием по сравнению с телевизионными датчиками является более широкий спектральный диапазон съемки: от ультрафиолетового до теплового инфракрасного (0.3–14 мкм). При этом развертка вдоль строки изображения обеспечивается качающимся или вращающимся зеркалом, а в поперечном направлении — за счет движения спутника. Оптико-механические сканеры размещаются, например, на ИСЗ Landsat-4,5 (аппаратура MSS, TM, ETM) и Cbers (IRMSS). Основным недостатком устройств такого типа является наличие механического сканирующего зеркала, ограничивающего точность географической привязки получаемых изображений и снижающего долговечность и надежность устройства в целом.

В оптико-электронных камерах на приборах с зарядовой связью (ПЗС), получивших наименование наименование «push-broom scanner», элементы с механическим сканированием не используются. Строка изображения в одном спектральном диапазоне формируется при помощи линейной матрицы (линейки) детекторов на ПЗС, ориентированной перпендикулярно направлению полета спутника. Строчная развертка изображе-

ния производится путем последовательного электронного включения детекторов, причем сигнал с каждого детектора накапливается в течение определенного интервала времени, определяющего ширину элемента разрешения на местности и чувствительность камеры. Период опроса всей линейки выбирается таким, чтобы обеспечить непрерывный переход от одной полосы сканирования к другой. Высокая геометрическая точность изображения поперек направления полета достигается выравниванием расположения ПЗС на линейке. Оптико-электронные камеры на ПЗС находят широкое применение как в многофункциональных спутниках дистанционного зондирования типа Spot, Irs, Adeos, «Ресурс-О» и других, так и в выделенных в отдельную главу «малых» космических аппаратах дистанционного зондирования Земли.

Данные, получаемые при помощи оптических датчиков с высоким пространственным разрешением, используются при решении большого числа тематических задач, включая, например, измерение протяженности и классификация растительного покрова, определение состояния сельскохозяйственных культур, геологическое картирование, контроль эрозии почв в береговой зоне и т.д. Однако область применимости этих данных несколько ограничивается тем, что получение качественных оптических снимков возможно только на освещенной части поверхности Земли в ясную, безоблачную погоду.

2.1. СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ LANDSAT

2.1.1. *Общая характеристика программы LANDSAT*

Практическое использование американской системы изучения природных ресурсов Земли LANDSAT начато в 1972 г. с запуска космического аппарата Landsat-1. Первоначально эксплуатация системы осуществлялась национальным агентством по аэронавтике и исследованию космического пространства США NASA (National Aeronautics and Space Administration), а в 1983 г. система была передана национальному управлению по исследованию океанов и атмосферы NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

В 1984 г. конгресс США принял закон о коммерциализации дистанционного зондирования Земли, направленный на обеспечение требуемого уровня снабжения федеральных органов спутниковой информацией ДЗЗ при минимальных инвестициях в эту сферу. В результате, в мае 1984 г. была создана частная фирма EOSAT (Earth Observation SATellite, с 1997 г. именуется SpaceImaging EOSAT) со штаб-квартирой в Lanham (шт. Мэриленд), которая с 1985 г. осуществляет эксплуатацию и коммерческое использование системы LANDSAT, а ассигнования NASA по программе LANDSAT с 1984 ф.г. снизились более, чем вдвое.

В 1985 г. в состав орбитального сегмента системы, переданной EOSAT, входили два спутника: Landsat-4 и Landsat-5. Правительство США согласилось субсидировать деятельность фирмы EOSAT по управлению этими спутниками, а также выделить 250 млн долл. на разработку двух новых космических аппаратов Landsat-6,7. Кроме того, фирме EOSAT передавалось исключительное право на коммерческое использование информации ДЗЗ, получаемой с использованием спутников системы LANDSAT. В обмен на это компании EOSAT предписывалось нести ответственность за все издержки, связанные с коммерциализацией данных дистанционного зондирования, которые компания должна была распространять на недискриминационной основе.

Однако ставка на полностью коммерческое использование системы не оправдала себя. В 1989 г. конгрессом США было принято решение о возобновлении государственного финансирования программы LANDSAT, что объяснялось истечением опциона на разработку ИСЗ Landsat-7 и отсутствием государственных субсидий. В результате 18 млн долл., необходимые для эксплуатации системы в 1989 г., были выделены совместно организациями EOSAT, NOAA и NASA. В марте 1989 г. национальный совет по космосу США NSC (National Space Council) подтвердил полномочия на продление эксплуатации системы вплоть до принятия решения о дальнейшем развитии программы LANDSAT. Решение о передаче программы LANDSAT от NOAA и министерства торговли новой совместной организации LPM (Landsat Program Managment), представляющей интересы NASA и министерства обороны США, было принято национальным советом NSC в ноябре 1991 г.

Опасаясь возможных ограничений на доступ к отдельным материалам космической съемки, налагаемых министерством обороны США, фирма EOSAT в 1990 г. заключила с NOAA контракт, по которому свободному распространению подлежали все снимки камеры MSS, отснятые более двух лет назад, считая от момента продажи (в период с 1972 по 1988 гг. таких снимков было сделано более 600 тыс.).

В октябре 1992 г. президентом США был подписан закон о политике в области дистанционного зондирования Земли, в котором признавалась коммерческая убыточность программы LANDSAT на современном этапе. В соответствии с этим законом, ответственность за разработку, создание и эксплуатацию спутников системы, а также за распределение «необработанной» информации ДЗЗ возлагалась на государственные организации. В то же время, частным фирмам отводилась значительная роль в обработке данных дистанционного зондирования. Закон предписывал также обязательное применение системы LANDSAT для сбора информации ДЗЗ в интересах обеспечения национальной безопасности и выполнения американской программы исследования глобальных изменений GCRP (Global Change Research Program).

Ситуация усугубилась после неудачного запуска в октябре 1993 г. космического аппарата Landsat-6, который должен был прийти на смену выработавшим ресурс спутникам Landsat-4 и Landsat-5. Это вынудило NASA и министерство обороны США, несущие ответственность за программу, ускорить работы по созданию нового космического аппарата Landsat-7. Однако в середине 1994 г. министерство обороны вышло из программы LANDSAT, передав все свои полномочия организации NOAA. Это явилось следствием решения, принятого отделом политики в области науки и техники OSTP (Office of Science and Technology Policy) Белого дома, о невозможности, вопреки требованиям военных, установки на борту ИСЗ Landsat-7 многоспектральной камеры HRMSI (High Resolution Multispectral Stereo Imager). Камера HRMSI должна была обеспечивать стереоскопические изображения земной поверхности с пространственным разрешением 5 м. Использование этой камеры требовало выделения дополнительно 400 млн долл., причем значительная часть этой суммы должна была пойти на соответствующую модернизацию наземного сегмента, не рассчитанного ранее на прием данных HRMSI.

Для того, чтобы застраховать себя от возможных перебоев в поступлении спутниковой информации ДЗЗ фирма EOSAT в январе 1994 года заключила соглашение с фирмой Antrix (Индия), на право продажи снимков с индийских ИСЗ типа Irs, принимаемых станцией в Norman (шт.Оклахома), и на строительство за рубежом 4–5 станций приема данных от индийских ИСЗ ДЗЗ, оснащенных индийским оборудованием. В феврале 1995 года фирмы достигли соглашения, по которому в течение 10 лет американская сторона будет иметь исключительное право на коммерческую реализацию данных ДЗЗ, принимаемых от существующих и перспективных индийских спутников.

В настоящее время данные зондирования Земли, полученные космическими аппаратами Landsat-4,5, нашли свое применение более, чем в 100 странах. Из них 17 стран, включая США, имеют собственные приемные станции. Информация, поступающая со спутников системы LANDSAT, широко используется при решении множества проблем экономического, научного, политического и военного характера. В частности, данные дистанционного зондирования широко применяются в следующих областях: география, океанография, гидрология, геология, изучение природных ресурсов отдельных регионов, стран и Земли в целом, картирование земной поверхности, контроль окружающей среды.

Структура системы LANDSAT, рассчитанная на использование перспективного космического аппарата Landsat-7, представлена на рис.2.1.

2.1.2. *Орбитальный сегмент системы LANDSAT*

Орбитальный сегмент системы LANDSAT, согласно проекту, должен состоять из одного космического аппарата. Однако практически его образовывает 1–2 ИСЗ, причем второй спутник обычно представляет собой аппарат с превысившим расчетный, 5-летний, срок активного существования или аппарат с пониженной работоспособностью.

Всего по состоянию на 1996 г. планировалось вывести на орбиту шесть космических аппаратов. Однако успешно было осуществлено лишь пять запусков: ИСЗ Landsat-6 потерпел аварию при запуске в октябре 1993 г. По состоянию на конец 1996 г. передача информации ДЗЗ осуществлялась с ИСЗ Landsat-5, а космический аппарат Landsat-4 находился в резервном состоянии. Запуск очередного ИСЗ Landsat-7 запланирован на декабрь 1998 г.

Космические аппараты серии Landsat разрабатываются и изготавливаются американской корпорацией General Electric (впоследствии General Electric Astro Space) с участием фирм RCA Astro Electronics (впоследствии объединившейся с фирмой General Electric), Computer Scientist Corp, Energetics Satellite Corp, Odetics, исследовательского центра фирмы Hughes в Santa Barbara и других организаций.

Основной вклад в стоимость ИСЗ Landsat вносит его целевая аппаратура (собственно аппаратура дистанционного зондирования, состав и характеристики которой определяются целевым назначением ИСЗ). Если в 80-х годах отношение стоимости аппаратуры ДЗЗ к стоимости служебного оборудования спутника было близко к 1, то для современных космических аппаратов дистанционного зондирования это отношение приближается к 2.2. Это означает, что примерно 65–70% стоимости спутника приходиться на целевую аппаратуру.

Стоимость оптико-электронных камер, устанавливаемых на различных ИСЗ серии Landsat, оценивается следующим образом: MSS (Landsat-4,5) — 15 млн долл., TM (Landsat-4,5) — 60 млн долл., ETM (Landsat-6) — 85 млн долл. Соответственно, с ростом стоимости целевой аппаратуры отмечается и увеличение общих затрат на создание спутников. Так, ИСЗ Landsat-4 и его резервный вариант Landsat-5 в ценах 1988 ф.г. стоили

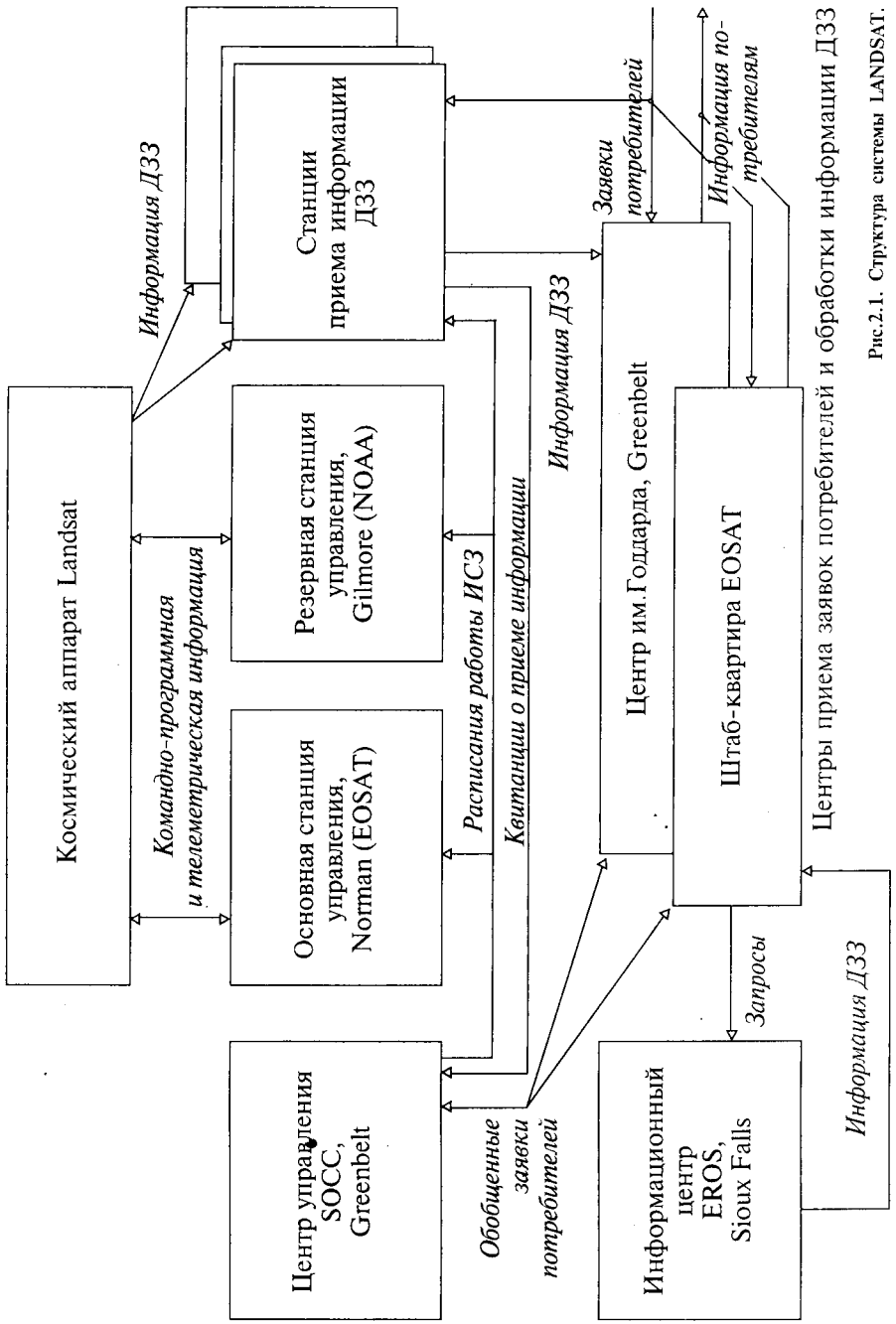


Рис.2.1. Структура системы LANDSAT.

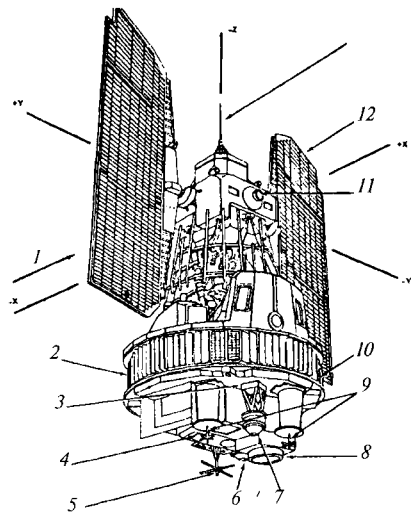


Рис.2.2.
Космический аппарат типа Landsat-1,2,3:

1 — направление полета
2 — аппаратурная платформа
3 — резервное запоминающее устройство
4 — камеры RBV
5 — антенна сбора данных с метеоплатформ
6 — датчик измерения параметров орбиты
7 — совмещенная антенна S-диапазона
8 — камера MSS
9 — широкополосные антенны
10 — радиомаяк (4)
11 — подсистема контроля параметров орбиты
12 — панель солнечной батареи

вместе 505 млн долл., общие расходы на разработку, создание и запуск ИСЗ Landsat-6 составили 256.6 млн долл., а стоимость одного аппарата нового поколения (Landsat-7 и последующие модели) оценивается в 350—390 млн долл.

Первые три космических аппарата Landsat-1,2,3 (рис.2.2), известные также под названием ERTS (Earth Resources Technology Satellites), были разработаны фирмой General Electric на базе платформы метеорологического ИСЗ Nimbus. Спутники были выведены на орбиту 23 июля 1972 г., 22 января 1975 г. и 5 марта 1978 г., соответственно. На борту космических аппаратов первого поколения устанавливались телевизионные камеры RBV и многоспектральное сканирующее устройство MSS. С помощью этих спутников были не только изучены потенциальные возможности дистанционного зондирования Земли из космоса, но и решены некоторые важные научные и прикладные задачи. Так, в ходе трехлетнего эксперимента по прогнозированию урожая LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment), завершившегося в ноябре 1978 г., объем собранного в СССР урожая пшеницы был определен с погрешностью менее 1%.

2.1.2.1. Космический аппарат Landsat-4 (рис.2.3) был запущен 16 июля 1982 г. ракетой-носителем Delta-3920 с Западного ракетного полигона (ЗРП) США и выведен на круговую орбиту высотой 705 км с наклонением 98.2°. Благодаря солнечно-синхронному типу орбиты, местное время пересечения экватора спутником в восходящем узле сохранялось постоянным, равным 9 ч 45 мин (условия освещенности поверхности Земли в это время наиболее благоприятны для съемки). Пролет ИСЗ над одним и тем же районом обеспечивался каждые 16 суток (через 233 витка), при этом гарантировалось, что для произвольной точки на поверхности Зем-

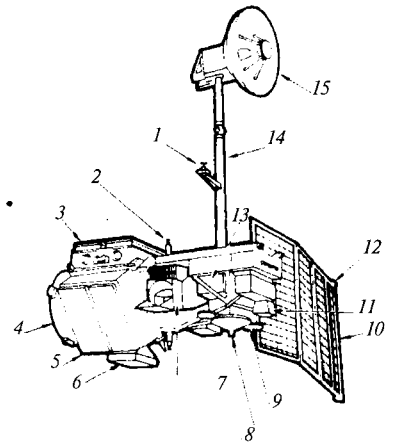


Рис.2.3.
Космический аппарат типа Landsat-4,5:

1 — антенна приема сигналов навигационной системы GPS
2 — ненаправленная передающая антенна
3 — подсистема определения параметров орбиты
4 — двигательная установка
5 — подсистема энергоснабжения
6 — подсистема управления и обработки сигналов
7 — камера TM
8 — антенна X-диапазона
9 — антенна S-диапазона
10 — панель солнечной батареи
11 — камера MSS
12 — датчики Солнца
13 — модуль обработки широкополосных сигналов
14 — антенная мачта
15 — антенна передачи данных через ИСЗ TDRS

ли в течение 16 суток космическим аппаратом будет выполнен хотя бы один виток, на котором минимальное расстояние от заданной точки до трассы ИСЗ не превысит 76 км. Расстояние между точками пересечения экватора на двух последовательных витках составляло 2760 км.

Основной особенностью этого космического аппарата Landsat второго поколения являлась замена телевизионной камеры RBV на спектрозональное сканирующее устройство TM. К февралю 1983 г., когда Landsat-4 претерпел множественные поломки, камерой TM было передано в общей сложности более 6000 качественных снимков. Для восполнения убытков, которые организация NOAA несла в связи с частичным отказом ИСЗ Landsat-4, в 1984 г. был запущен очередной ИСЗ Landsat-5. Рассматривалась возможность ремонта Landsat-4 путем обслуживания его с МТКК Space Shuttle в июне 1986 г. Однако работоспособность спутника была восстановлена лишь в октябре 1987 г. за счет задействования резервной линии передачи данных X-диапазона. Передача изображений с ИСЗ Landsat-4 была окончательно прекращена в июле 1993 г.

Изображения TM продолжали бесперебойно передаваться через ИСЗ-ратранслятор системы TDRSS до 1993 г. Отмечается, что использование ретранслятора было несколько ограничено в 1992 г. перед запуском ИСЗ Landsat-6, однако при необходимости передача данных камеры TM по радиолинии Ku-диапазона через ИСЗ системы TDRSS может быть возобновлена.

2.1.2.2. Запуск ИСЗ Landsat-5 был осуществлен 1 марта 1984 г. ракетой-носителем Delta-3910 с ЗРП США. Орбита этого космического аппарата совпадает с орбитой ИСЗ Landsat-4. Коррекции орбиты, необходимые для поддержания требуемого местного времени пересечения экватора на восходящем витке, осуществляются в среднем один раз в три года. Последняя коррекция орбиты ИСЗ Landsat-5 была выполнена компанией EOSAT в период с 27 октября по 29 ноября 1995 г. и заключалась в осуществлении трехступенчатого орбитального маневра.

Первоначально Landsat-5 был изготовлен в качестве резервного экземпляра ИСЗ Landsat-4, а затем модернизирован с учетом неисправностей, возникших на борту Landsat-4. К 1987 г. на спутнике вышла из строя система передачи данных через ИСЗ-ретранслятор TDRS в Ku-диапазоне частот. В результате передача информации с приборов TM и MSS осуществляется непосредственно на наземные станции приема информации в X- и S-диапазонах. Ожидается, что спутник сохранит работоспособность до 2000 г., вплоть до запуска нового ИСЗ Landsat-7.

2.1.2.3. Попытка запуска спутника Landsat-6 была предпринята 5 октября 1993 г. с ЗРП США с помощью ракеты-носителя Titan-2. Вследствие нештатной работы третьей ступени ИСЗ не вышел на расчетную орбиту и сгорел в плотных слоях атмосферы.

Общая стоимость проекта по созданию и запуску космического аппарата Landsat-6 составила 256.6 млн долл. в ценах 1988 г., из которых 220 млн долл. приходятся непосредственно на изготовление ИСЗ и модернизацию наземного сегмента, а 36.6 млн долл. — на запуск спутника.

Космический аппарат Landsat-6 (рис.2.4) был выполнен на основе платформы метеорологического ИСЗ Tiros-N и имел стартовую массу 2720 кг. Впервые на спутниках этой серии были предусмотрены бортовые магнитофоны (разработка фирмы Odetics), предназначенные для записи информации дистанционного зондирования при пролете ИСЗ над произвольным районом, с последующим ее воспроизведением для передачи в заданный пункт приема. Емкость каждого магнитофона составляла 75 Гбит. При этом время непрерывной записи цифровой информации с максимальной скоростью 85 Мбит/с достигало 15 мин.

Космический аппарат был оснащен тремя узконаправленными антеннами X-диапазона (8082.5, 8212.5 и 8342.5 МГц), наводимыми на пункт приема информации. При этом обеспечивалась одновременная передача информации с магнитофонов, а также многоспектральной и панхроматической информации в реальном масштабе времени.

Мощность бортовой энергетической установки 1259 Вт обеспечивалась солнечной батареей площадью 16.74 м^2, состоящей из четырех панелей. Для энергообеспечения спутника в области тени были предусмотрены две никель-кадмиевые аккумуляторные батареи емкостью по 50 А·ч. Спутник стабилизировался по трем осям с точностью 0.015°.

2.1.2.4. ИСЗ Landsat-7 в декабре 1998 г. планируется вывести на орбиту, аналогичную орбите ИСЗ Landsat-4, но с местным временем пересечения экватора в восходящем узле 10 ч.

В качестве целевой аппаратуры на ИСЗ Landsat-7 устанавливается многоспектральная камера ETM+, представляющая собой усовершенствованный вариант камеры ETM, ранее разработанной для ИСЗ Landsat-6.

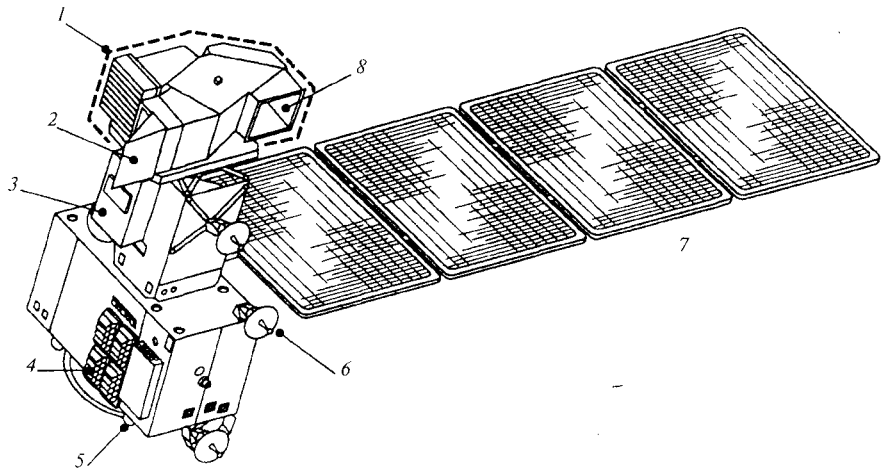


Рис.2.4. Космический аппарат Landsat-6:

1 — камера ETM
2 — экран системы охлаждения
3 — электронное оборудование камеры ETM
4 — аккумуляторные батареи
5 — двигатели коррекции орбиты (4)
6 — остронаправленные антенны, наводимые на пункт приема информации (3)
7 — панель солнечной батареи
8 — апертура камеры ETM

Масса ИСЗ в начале срока активного существования составит 2.2 т. На борту спутника планируется установить твердотельный накопитель информации дистанционного зондирования, способный записывать до 100 снимков размером 185 x 185 км. Емкость накопителя составляет около 380 Гбит.

2.1.3. ***Целевая аппаратура ИСЗ системы LANDSAT***

Первые три космических аппарата Landsat-1,2,3 оснащались телевизионными камерами RBV и аппаратурой многоспектральной съемки поверхности Земли MSS.

2.1.3.1. На ИСЗ Landsat-1,2 устанавливалось по три аналогичных камеры RBV (Return Beam Vidicon), различающихся только используемыми спектральными фильтрами /2/:

- разрешение: 80 м;
- спектральные диапазоны (каждый диапазон соответствует одной камере RBV): 0.475 — 0.575 мкм (сине-зеленый), 0.58 — 0.68 мкм (желто-красный), 0.69 — 0.83 мкм (красный-ближний ИК);
- зона обзора: 185 x 185 км;
- радиометрическое разрешение: 64 уровня.

ИСЗ Landsat-3 был оснащен двумя панхроматическими камерами RBV со следующими характеристиками:

- разрешение: 40 м;
- спектральный диапазон: 0.505—0.75 мкм;
- зона обзора каждой камеры: 98 x 98 км;
- радиометрическое разрешение: 64 уровня.

2.1.3.2. Многоспектральный сканер MSS (Multispectral Scanner System) имеет следующие технические характеристики:

- разрешение: 80 м;
- используемые спектральные диапазоны: 0.49—0.605 мкм (зеленый), 0.603—0.698 мкм (красный), 0.701—0.813 мкм (красный-ближний ИК), 0.808—1.023 мкм (ближний ИК); на ИСЗ Landsat-3 дополнительно использовался тепловой ИК диапазон 10.4—12.5 мкм с пространственным разрешением 240 м;
- зона обзора: 185 x 185 км;
- радиометрическое разрешение: 64 уровня.

Данные с камеры MSS передаются в виде блоков. Одному блоку данных соответствует один шаг сканирования камеры в направлении, перпендикулярном трассе спутника. Сканирование осуществляется при помощи качающегося зеркала диаметром 30 см. Размер передаваемого блока данных колеблется вследствие механического способа сканирования и в среднем составляет 1105500 бит при частоте сканирования 13.62 Гц. Блок данных состоит из двух частей: синхроблока и информационного блока. Длина синхроблока меняется, а длина информационного блока постоянна.

На ИСЗ Landsat-4,5 установлен модернизированный вариант сканирующего устройства MSS, позволяющий компенсировать разного рода погрешности, вызванные снижением высоты орбиты этих космических аппаратов до 705 км. Предполагалось, что за счет такого снижения высоты орбиты окажется возможным при помощи МТКК Space Shuttle возвращать космические аппараты Landsat на Землю для ремонта.

2.1.3.3. Космические аппараты Landsat-4,5 взамен телевизионных камер RBV были оснащены вновь разработанным прибором TM (Thematic Mapper, тематическим картографом), позволяющим формировать изображение в 7 участках спектра (*табл.2.1*). Схема устройства TM приведена на рис.2.5.

Телескоп тематического картографа имеет апертуру 40.6 см и фокусное расстояние 2.4 м. Угловое разрешение в 1—4 каналах (0.45—0.9 мкм) составляет 42.5 мкрад, в 5 и 7 каналах (1.55—1.75 и 2.08—2.35 мкм) — 43.8 мкрад, а в 6 канале (10.4—12.5 мкм) — 170 мкрад. Формирование изображения осуществляется при помощи механического вращения зеркала диаметром 53 см с частотой 7 Гц. В 1—4 каналах используется матрица кремниевых фотодиодов, в 5 и 7 каналах — матрица детекторов из антимонида индия, в 6 канале применяются детекторы из ртутнокадмиевого теллурида (HgCdTe), причем фотоприемники 5, 6 и 7 каналов охлаждаются до

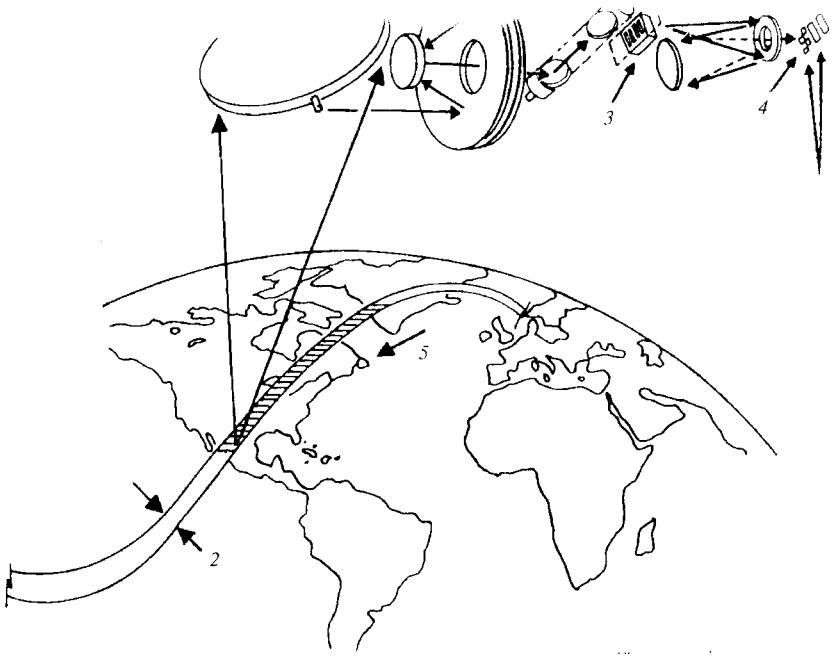


Рис.2.5. Тематический картограф ТМ:

1 — сканирующее зеркало
2 — полоса обзора шириной 185 км
3 — кремниевые детекторы и фильтры на диапазоны 1—4
4 — охлажденные детекторы и фильтры на диапазоны 5—7
5 — направление полета ИСЗ

температуры 87 К. В целом тематический картограф ТМ имеет следующие технические характеристики:

- пространственная разрешающая способность: 30 м (в видимых, ближнем-ИК и инфракрасном участках спектра), 120 м (в тепловом ИК участке спектра);
- радиометрическое разрешение: 256 уровней;
- абсолютная радиометрическая точность: 10%;
- ширина полосы обзора: 185 км;
- скорость формирования выходного информационного потока: 85 Мбит/с;
- масса всего устройства: 245 кг;
- потребляемая мощность: 345 Вт.

Таблица 2.1

Назначение спектральных диапазонов тематического картографа ТМ

№	Длина волны, мкм	Заявленное назначение диапазона
1	0.45—0.52	Оценка хлорофилла и каротина в растительных покровах и разделение опадающих и вечнозеленых растений
2	0.52—0.60	Оценка отражательной способности растений в зеленом диапазоне
3	0.63—0.69	Оценка поглощательной способности хлорофилла для определения вида посадок
4	0.76—0.90	Оценка отражательной способности растений в ближнем ИК-диапазоне для определения количества биомассы
5	1.55—1.75	Определение влажности растительности и различение снежного и облачного покровов
6	10.40—12.50	Температурное картирование
7	2.08—2.35	Оценка влажности растений и содержания ионов окиси водорода в почве

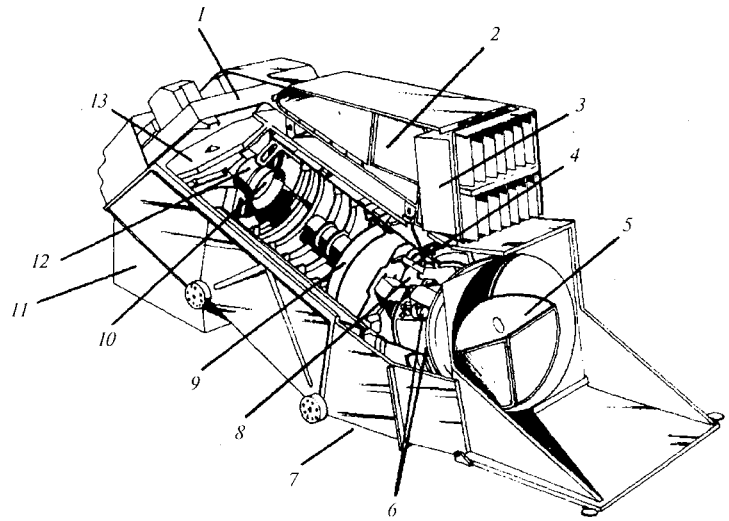


Рис.2.6. Устройство тематического картографирования ЕТМ:

1 — привод сканирующего зеркала
2 — электронное оборудование
3 — мультиплексор
4 — резервный затвор объектива
5 — блок охлаждения
6 — блок фокусировки
7 — направление вдоль трассы ИСЗ
8 — решетка фотоприемников, размещенная в фокальной плоскости
9 — первичное зеркало
10 — вторичное зеркало
11 — солнцезащитный экран
12 — блок вторичного зеркала
13 — сканирующее зеркало

2.1.3.4. На космическом аппарате Landsat-6 в качестве целевой аппаратуры использовалась усовершенствованная спектрозональная система ETM (Enhanced Thematic Mapper, усовершенствованный тематический картограф). Камера ETM (рис.2.6) была рассчитана на построение изображений в восьми участках спектра (*табл.2.2*) и формировала два выходных информационных потока со сокростью по 84.9 Мбит/с каждый. Содержание каждого информационного потока могло соответствовать одному из трех форматов:

- снимки в диапазонах 1–7 (обычный режим);
- снимки в панхроматическом канале и в каналах 4–6 (режим используется преимущественно в сельскохозяйственных приложениях);
- снимки в панхроматическом канале и в каналах 4, 6 и 7 (режим преимущественно используется при решении геологических задач).

Таблица 2.2

Спектральные диапазоны камеры ETM ИСЗ Landsat-6

№ диапазона	Длина волны, мкм	Тип детектора (число детекторов)	Пространственное разрешение, м	Поле зрения, мкрад
панхроматический	0.52–0.9	SiPD (32)	13 x 15	18.5 x 21.3
1	0.45–0.52	SiPD (16)	30	42.5
2	0.52–0.60	SiPD (16)	30	42.5
3	0.63–0.69	SiPD (16)	30	42.5
4	0.76–0.9	SiPD (16)	30	42.5
5	1.55–1.75	InSb (16)	30	42.5
6	10.42–12.5	HgCdTe (4)	120	170.0
7	2.08–2.35	InSb (16)	30	42.5

2.1.3.5. Перспективный космический аппарат Landsat-7 предполагается оснащать многоспектральной камерой ETM+ (ETM-Plus, Enhanced Thematic Mapper) со следующими техническими характеристиками:

- спектральные диапазоны: 8 диапазонов в интервале длинн волн 0.45–12.5 мкм, включая один панхроматический диапазон 0.52–0.9 мкм;
- пространственное разрешение: 15 м в панхроматическом диапазоне, 30 м в видимом, ближнем ИК и ИК диапазонах, 60 м в тепловом ИК диапазоне;
- радиометрическая точность: 5%;
- ширина полосы обзора: 185 км;
- периодичность обзора: 16 суток;
- масса: 424 кг;
- потребляемая мощность: 720 Вт;
- скорость передачи информации: 150 Мбит/с.

2.1.4. ***Характеристики радиолиний передачи данных с ИСЗ Landsat***

2.1.4.1. Передача снимков камеры MSS в S-диапазоне (на Landsat-6 и старше отсутствует) осуществляется по радиолинии со следующими характеристиками:

- частота передачи информации: 2265.5 МГц;
- мощность бортового передатчика: 10 Вт;
- диаграмма направленности бортовой передающей антенны: слабонаправленная;
- поляризация излучения: правая круговая;
- модуляция: КИМ-ЧМ;
- девиация частоты: ±5.6 МГц ±5%;
- кодирование в канале: NRZ-L;
- скорость манипуляции: 15.0626 Мбит/с.

2.1.4.2. Передача данных в X-диапазоне с космических аппаратов Landsat-4,5 осуществляется передатчиком мощностью 44 Вт по радиолинии с центральной частотой 8212.5 МГц. Бортовая передающая антенна правой круговой поляризации имеет зеркало диаметром 58.42 см. Облучатель антенны выполнен в виде двух ортогональных диполей линейной поляризации. Антенна формирует квазиизотропную диаграмму направленности в направлении Земли и обеспечивает необходимое значение плотности потока мощности в точке размещения земной приемной станции при углах места космического аппарата не менее 5°.

При передаче сигналов используется несбалансированная квадратурная фазовая манипуляция и дифференциальное кодирование преобразованием NRZ-L в NRZ-M. При этом возможны три режима передачи, различающиеся содержанием двух квадратурных каналов (*табл.2.3*). Одновременная передача данных в S- и X-диапазонах не предусмотрена.

Таблица 2.3

Режимы передачи бортового передатчика Landsat-4,5 в X-диапазоне

Режим	I-канал	Q-канал
1	ПСП со скоростью 84.903 Мбит/с	информация MSS со скоростью 15.0626 Мбит/с, НКФМ
2	информация TM со скоростью 84.903 Мбит/с	информация TM со скоростью 84.903 Мбит/с, ДФМ
3	информация TM со скоростью 84.903 Мбит/с	информация MSS со скоростью 15.0626 Мбит/с, НКФМ

2.1.4.3. Подсистема передачи информации космического аппарата Landsat-6, работающая в X-диапазоне волн, обеспечивает одновремен-

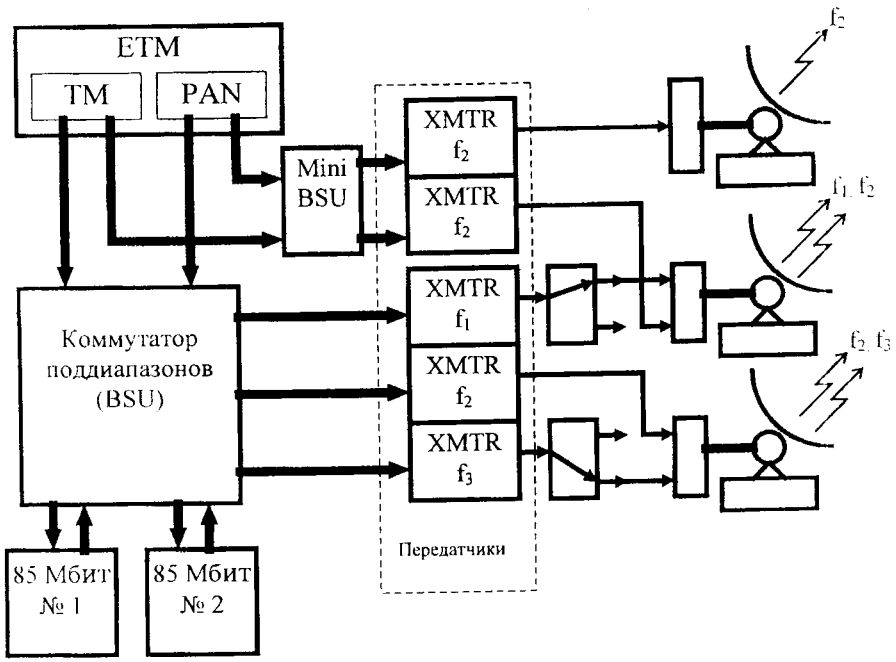


Рис.2.7. Линия передачи данных X-диапазона с ИСЗ Landsat-6.

ную передачу трех независимых информационных потоков со скоростью 85 Мбит/с каждый. Например, если спутник находится в зоне радиовидимости станции связи и приема информации SCDAS (Spacecraft Communications and Data Acquisition Station) в Norman, то по одной из радиолиний в реальном масштабе времени может передаваться информация камеры TM, по другой — панхроматическая информация, а по третьей — информация, воспроизводимая с бортового магнитофона.

Подсистема передачи информации (рис.2.7) включает пять твердотельных передатчиков мощностью по 2 Вт и три бортовых передающих антенны с высоким коэффициентом усиления. Три передатчика работают на «средней» частоте 8212.5 МГц (f_2), один — на «высокой» частоте 8342.5 МГц (f_3), а один — на «низкой» — 8082.5 МГц (f_1).

«Средняя» частота ИСЗ Landsat-6 8212.5 МГц соответствует частоте передачи информации с космических аппаратов Landsat-4,5. «Верхнюю» и «нижнюю» частоты предполагалось использовать в основном для передачи информации с бортовых магнитофонов, а также при перегрузках в линии «борт-Земля», когда на выбранную наземную станцию необходимо передавать, например, одновременно многоспектральную и панхроматическую информацию.

Последовательные информационные потоки поступают с заданного выходного мультиплексора камеры ETM (или выходного порта магнитофона) на требуемый передатчик (XMTR) через широкополосный коммутатор. В каждом канале используется двухпозиционная фазовая манипуляция, при этом ширина спектра сигнала по уровню половинной мощности составляет 110 МГц.

2.1.4.4. Передача данных в Ku-диапазоне через ИСЗ системы TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) предусмотрена на спутниках Landsat-4,5 наряду с возможностью непосредственной передачи данных на наземные приемные пункты в реальном масштабе времени. В настоящее время режим передачи данных через ИСЗ TDRS практически не используется в связи с неисправностью соответствующего бортового оборудования ИСЗ Landsat-5. На космических аппаратах Landsat-6,7 возможность работы через ретранслятор уже не предусмотрена. Вместо этого устанавливаются бортовые запоминающие устройства, обеспечивающие передачу на заданный пункт приема изображений, полученных в произвольной точке трассы космического аппарата.

2.1.5. ***Наземный сегмент системы LANDSAT***

Наземный сегмент системы включает в себя следующие элементы (рис.2.1).

1. Центр управления SOCC (Spacecraft Operations Control Center, Greenbelt, шт.Мэриленд), обеспечивающий планирование работы бортовой аппаратуры, а также обработку данных ДЗЗ и телеметрии с ИСЗ системы LANDSAT.

2. Станции управления космическими аппаратами, находящиеся в Norman (шт.Оклахома, станция принадлежит EOSAT) и Gilmore (станция является резервной и принадлежит NOAA).

3. Центры приема заявок от потребителей и обработки поступающих данных ДЗЗ, находящиеся в Центре им.Годдарда (Greenbelt, шт.Мэриленд) и при штаб-квартире фирмы EOSAT (Lanham, шт.Мэриленд).

4. Станции сбора данных на территории США и зарубежные приемные станции.

5. Центр хранения и учета данных ДЗЗ, полученных системой LANDSAT, EROS Data Center (Sioux Falls, шт.Южная Дакота).

Размещение станций сбора данных системы LANDSAT и зоны их обслуживания приводятся на рис.2.8. и в *табл.2.4.* Всего в системе EOSAT используется 21 станция приема информации со спутников Landsat. Значительная часть станций может также принимать информацию дистанционного зондирования с французских космических аппаратов серии Spot (п.2.2).

Станции, расположенные в Италии, Швеции и на Канарских островах, обслуживают страны, входящие в Европейское космическое агентство ESA: Австрию, Бельгию, Великобританию, Данию, Исландию, Испанию, Италию, Нидерланды, Норвегию, Францию, Швейцарию, Швецию, а также Венгрию, Израиль, Польшу и Финляндию.

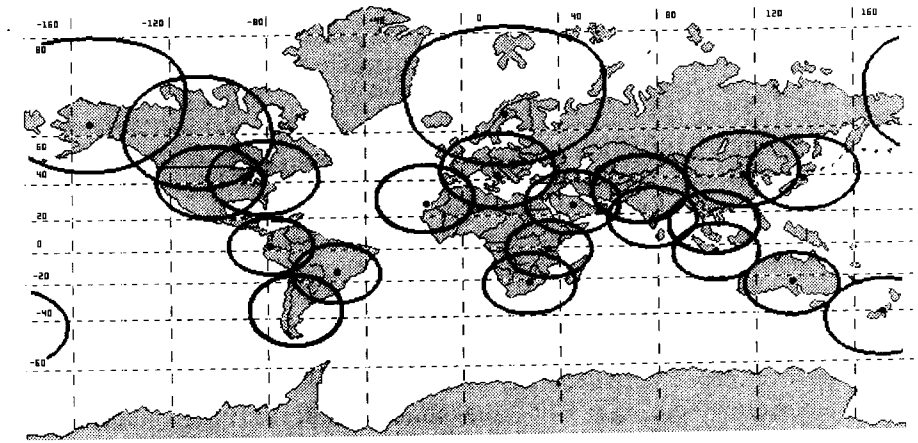


Рис.2.8. Зоны обслуживания станций приема информации ДЗЗ со спутников системы LANDSAT.

Таблица 2.4

Станции приема информации дистанционного зондирования с ИСЗ системы LANDSAT

№	Условное наименование	Район размещения	Принадлежность	Зона обслуживания
1	Центр им.Годдарда шт. Мэриленд	Гринбелт,	NASA	Восточная часть США и Канады
2	Центральная станция EOSAT	Норман, шт. Оклахома	EOSAT	Северная и Центральная Америка (48 штатов США), Канада
3		Фучино, 120 км западнее Рима	ESA	Центральная и Западная Европа, Запад России, Северная Африка, Средний Восток
4		Кируна, Северная Швеция	ESA	Арктика, Северо-запад России, Скандинавские страны, Гренландия, Исландия, Северная Европа
5	Станция Аляскинского университ.	Фэрбэнкс, шт. Аляска	EOSAT	Аляска, Канада
6		Маспаломас, Канарские о-ва	Испания, ESA	Северная и Западная Африка
7	Станция AGRES	Алис-Спрингс	Австралия	Австралия и Индонезия

8	Станция CNIE	Мар-Чикита	Аргентина	Южная часть южноамериканского континента
9	Станция INPE-DG	Куяба	Бразилия	В осточная часть южноамериканского континента
10	Станция NRSA	Хайдерабад	Индия	Индия, Пакистан
11	Станция LAPAN	Парепаре, близ Джакарты	Индонезия	Индонезийский архипелаг
12	Станция CCRS	Принс Алберт, пр. Саскачеван	Канада	Канада, северные штаты США
13		Найроби	Кения	Центральная Африка
14	Станция Академии Наук КНР	Пекин	Китай	Китай, часть Японии
15	Станция NZGS	Отаки	Новая Зеландия	Новая Зеландия
16	Станция SUPARCO	Исламабад	Пакистан	Пакистан, Индия, Центральная Азия
17	Станция SAFRS	Эр-Рияд	Саудовская Аравия	Северо-запад Африки, Аравийский п/о, Турция
18	Станция RSD	Бангкок	Таиланд	Южный Китай, Малая Азия, часть Индонезии
19		Кито, близ Котопакси	Эквадор	Северо-западная часть Южной Америки
20	Центр MIKOMTEK	Претория	ЮАР	Южная Африка
21	Станция RESTEC	Хатояма, близ Токио	Япония	Япония,Китай,Монголия, Корея, Малая Азия

Расходы на создание и эксплуатацию зарубежной наземной станции оцениваются следующим образом:

- стоимость постройки: 4–7 млн долл.;
- ежегодные расходы на эксплуатацию: 1–2 млн долл.;
- ежегодный членский взнос: 200 тыс. долл. (до 1983 г), 600 тыс. долл. (с 1983 по 1992 гг), 500 тыс. долл. (с 1992 г).

Всего на постройку 15 наземных станций приема информации в реальном масштабе времени, расположенных вне США, до 1988 г. израсходовано около 100 млн долл. Ввод в строй космических аппаратов Landsat-4,5 потребовал в свое время дополнительных вложений на модернизацию наземных станций порядка 6.6–10 млн долл. В результате этой модернизации была обеспечена возможность приема данных от устройства тематического картирования (ТМ), а темп обработки данных возрос до 200 сцен в сутки.

Оборудование типовой приемной станции, на примере станции SAFRS (Saudi-Arabia Facility for Remote Sensing), включает в себя систему DAS сбора данных, систему DPS обработки данных, лабораторию PPL для получения и обработки снимков. Система DAS оборудована тремя приемными устройствами, работающими соответственно в X- (8.025–8.5 ГГц), S- (2.2–2.3 ГГц) и L-диапазонах (1.6–1.8 ГГц) и предназначенными для

приема информации ДЗЗ с ИСЗ Landsat и Noaa, а также устройствами записи и хранения информации. В системе DPS для обработки данных используются три ЭВМ VAX 11/785 (две для обработки данных и формирования изображений и одна для анализа изображений). В лаборатории PPL производятся и обрабатываются цветные и черно-белые пленки шириной 241 мм и микрофиши. Размеры отпечатков цветных и черно-белых снимков не превышают 101.6 x 101.6 см.

Состав оборудования станции приема информации с ИСЗ Landsat/Spot показан на рис.2.9. Диаметр основного рефлектора двухзеркальной антенной системы составляет 10 м, фокусное расстояние 3.81 м, вес рефлектора 2210 кг. Непрерывное сопровождение низкоорбитальных ИСЗ ДЗЗ обеспечивается при условии, что трасса спутника проходит на расстоянии не менее 15 км от точки размещения станции. Максимальная скорость углового перемещения приемной антенны составляет при этом 26 град/с и 5 град/с по азимуту и углу места соответственно, а ускорение достигает 10 град/с^2 по обеим угловым координатам.

На рис.2.9 цифрами обозначены следующие элементы приемной станции: *1* — основной рефлектор антенной системы; *2* — оборудование кондиционирования воздуха; *3* — радиоприемные устройства S-диапазона (используются только для приема данных ДЗЗ с ИСЗ Landsat-4,5); *4* — демодулятор сигналов с НКФМ; *5* — монитор оперативного просмотра принимаемых снимков; *6* — система наведения антенны по угловым координатам; *7* — устройство печати; *8* — демодулятор сигналов ИСЗ Spot; *9* — тактовый синхронизатор сигналов S-диапазона; *10* — блок коммутации высокочастотных сигналов; *11* — блок коммутации выходных цифровых сигналов; *12* — панель управления блоками питания; *13* — генератор временного кода; *14* — стойка управления высокоскоростными магнитофонами; *15, 16* — соответственно первый и второй комплекты аппаратуры магнитной записи.

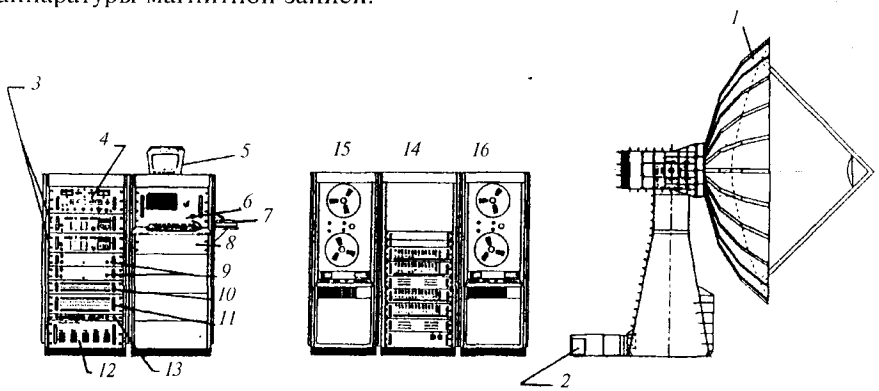


Рис.2.9. Станция приема информации со спутников Landsat и Spot.

2.1.6. *Типовая продукция системы LANDSAT*

Потребители данных, поступающих с ИСЗ Landsat, заказывают требуемые изображения через фирму EOSAT. Если потребителю необходимы архивированные данные от камеры MSS, то они восстанавливаются из архива информационного центра EROS, преобразуются в компьютерный формат и поставляются потребителю через фирму EOSAT. Срок исполнения заказа составляет при этом от одной до трех недель. Если же информация, запрашиваемая из архива, более чем двухлетней давности, то фирма EOSAT, не имеющая в этом случае исключительных прав на продажу, организует в информационном центре EROS заказ и закупку необходимых данных.

Если потребителю необходимы архивированные данные от камеры TM, то они восстанавливаются фирмой EOSAT из собственного архива, преобразуются в компьютерный формат и поставляются потребителю через комплекс получения изображений IGF (Image Generation Facility, Lanham, шт.Мэриленд). Срок исполнения заказа колеблется от 1 до 6 недель в зависимости от требований, предъявляемых заказчиком к обработке изображений. В то же время, если заказаны данные от TM, архивированные в компьютерном формате, то срок исполнения заказа не превышает недели. Сроки выполнения заказов по данным от TM (архивированным и новым) были несколько снижены в октябре 1991 года, когда фирма EOSAT приступила к обработке данных от ИСЗ Landsat-4,5 с использованием новой системы обработки данных, созданной для работы с информацией, передаваемой космическим аппаратом Landsat-6.

Если потребитель подает заявку на получение новых данных, то срок ее выполнения составляет от двух до семи недель с момента передачи снимков с ИСЗ.

Стандартной продукцией фирмы EOSAT являются оцифрованные изображения земной поверхности, записанные на совместимые с ЭВМ 9-дорожечные магнитные ленты с плотностью записи 6250 или 1600 байт на дюйм, 8-мм магнитные ленты типа Exabyte, магнитные диски, фотографические снимки и другие носители информации.

При продаже продукции и получении на нее заявок фирма EOSAT использует свои специфические термины, смысл которых поясняет рис.2.10:

1) подвижная сцена в цифровом отображении (Movable Digital Scene);
2) субсцена (Sub-Scene) размером 100 x 100 км;
3) минисцена (Mini-Scene) размером 100 x 50 км или 50 x 100 км;
4) стандартный кадр (Standart Landsat Image) размером 185 x 170 км (185 км — ширина кадра);
5) полоса (Row), включающая множество кадров вдоль трассы ИСЗ, причем нумерация кадров вдоль полосы осуществляется с севера на юг, начиная с 80° СШ;
6) центр сцены (Nominal Scene Center), который обычно варьируют в пределах ±20 км от трассы ИСЗ;

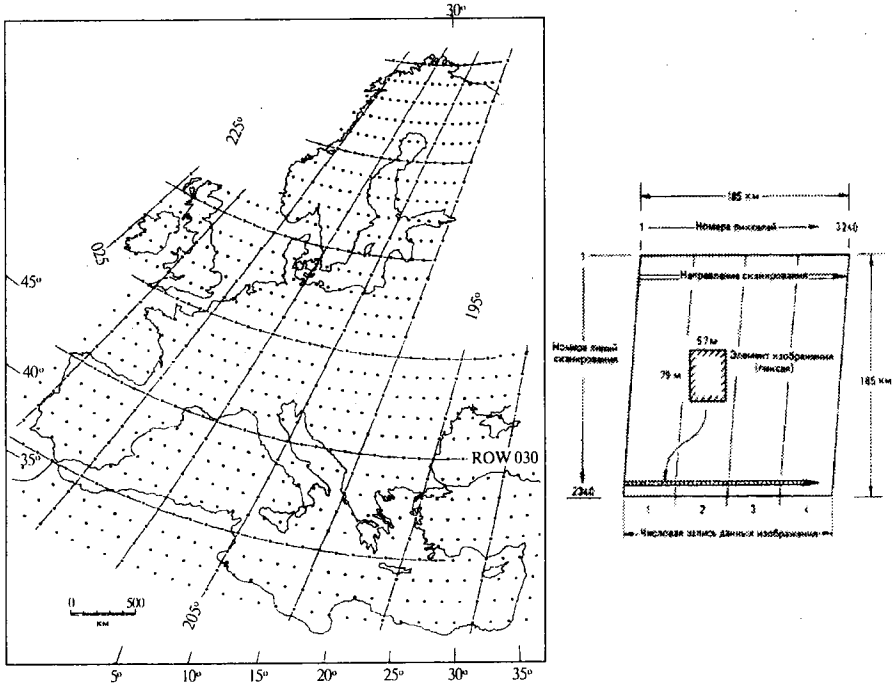


Рис.2.10. К пояснению форматов типовой продукции фирмы EOSAT /2/.

7) номинальная площадь сцены (Nominal Scene Area).

Наиболее распространенной является следующая продукция (*табл.2.5*):

1. Данные землеобзора, полученные с помощью аппаратуры TM и представленные в цифровой форме:

- полные сцены и квадрантные сцены (квадранты);
- подвижные сцены;
- геодезическая продукция, закодированная геодезическим (эллипсоидным) кодом.

2. Продукция, полученная с помощью аппаратуры TM и зафиксированная на цветной пленке:

- квадрант;
- субквадрант.

3. Продукция многоспектрального сканирующего устройства MSS:

- продукция в цифровой форме;
- на цветной пленке;
- продукция на черно-белой пленке.

Таблица 2.5

Характеристики типовой продукции фирмы EOSAT

Наименование продукции	Условный код продукции	Размер, км (С-Ю x В-З)	Дополнительные сведения
1. Полные и квадрантные сцены в цифровой форме			
Полная сцена	TM FFSF	185 x 170	—
Квадрантная сцена (квадрант)	TM FFSQ-1	100 x 85	—
2. Подвижные сцены в цифровой форме			
Подвижная сцена	TM SQ 6	100 x 100	—
Подвижная сцена	TM MQ 6	50 x 100	—
Подвижная сцена	TM MQ 6A	100 x 50	—
3. Продукция в цветном изображении			
Позитивное изображение на прозрачной подложке	TM FF 1	185 x 170	Масштаб 1:10
На бумаге размером 254 мм (10 дюймов)	TM FP 1	185 x 170	М 1:1000000
На бумаге размером 508 мм (20 дюймов)	TM FP 5	185 x 170	М 1:500000
На бумаге размером 1016мм (40 дюймов)	TM FP 2	185 x 170	М 1:250000
4. Продукция в цветном изображении в виде квадранта			
Позитивное изображение на прозрачной подложке	TM QF 5–1	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 1*)
то же	TM QF 5–2	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 2*)
то же	TM QF 5–3	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 3*)
то же	TM QF 5–4	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 4*)
На бумаге размером 254 мм	TM QP 5–1	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 1*)
то же	TM QP 5–2	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 2*)
то же	TM QP 5–3	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 3*)
то же	TM QP 5–4	92.5 x 85	М 1:500000 (*квадрант 4*)
На бумаге размером 504 мм	TM QP 2–1, 2–2, 2–3, 2–4	92.5 x 85	М 1:250000 (*для всех квадрантов*)
На бумаге размером 1270мм (50 дюймов)	TM QP 1–1, 1–2, 1–3, 1–4	92.5 x 85	М 1:100000 (*для всех квадрантов*)
5. Геодезическая закодированная информация			
Полная сцена	TGF 6	185 x 170	—
Квадрантная сцена	TGF 6	100 x 100	—
Лист-карта	TGM 6	55.5 x 91.2	0.5° x 1°

Информация о стоимости основной продукции системы LANDSAT по состоянию на 1991 г. приведена в *табл.2.6.*

С марта 1993 г. компания EOSAT прекратила прием снимков камеры MSS и осуществляет все операции по производству и продаже снимков через центр хранения и учета данных EROS Data Center. К этому времени в центре EROS было накоплено более 8 тыс. снимков камеры TM, полученных в основном за 1985–89 гг. Стоимость архивных снимков TM была снижена с 4400 долл. до 1500 долл., а стоимость всех полномасштабных сцен камеры MSS составила в среднем 200 долл. за снимок. Стоимость вновь получаемых фотографий TM составляет около 2700 долл., а ЭВМ-совместимых МЛВП колеблется от 2500 до 5950 долл.

Стоимость изображения 1 км^2 земной поверхности у фирмы EOSAT составляет в среднем 0.14 долл. Для сравнения, аналогичный показатель у фирмы Spot Image, занимающейся коммерческим распространением снимков с ИСЗ Spot, составляет 0.68 долл. Это обеспечивает фирме EOSAT определенное преимущество на рынке материалов космической съемки.

Таблица 2.6

Стоимость типовой продукции фирмы EOSAT

Наименование продукции, масштаб (М)	Размер сцены, км	Цена в долл. (1991)	
		Нового снимка	Копии
Полная сцена и квадрант в цифровой форме, полученные аппаратурой TM:			
полная сцена	185 x 170	3960	90
квадрант	100 x 85	2500	за МЛВП
Подвижная сцена в цифровой форме, полученная аппаратурой TM:			
полная сцена	185 x 170	4900	90
субсцена	100 x 100	3200	за МЛВП
минисцена	50 x 100	2400	
Геодезическая продукция в цифровой форме, полученная аппаратурой TM:			
полная сцена	4900		90
квадрант	3600		за МЛВП
лист карты	55 x 92	2500	
корректировка карт местности	450 за лист		—
Гибкий диск с информацией, полученной аппаратурой TM:			
стандартный образец	15 x 15	250	—
образец, выбранный покупателем из архива	15 x 15	600	120
Продукция TM, зафиксированная на цветной пленке			

а) Для полной сцены			
на позитивной пленке, М 1:1000000	185 x 170	1800	360
печать на бумаге, М 1:1000000	185 x 170	1300	260
печать на бумаге, М 1:500000	185 x 170	1400	280
печать на бумаге, М 1:250000	185 x 170	1500	300
б) Для квадранта			
на позитивной пленке, М 1:500000	92.5 x 85	1200	240
печать на бумаге, М 1:500000	92.5 x 85	900	180
печать на бумаге, М 1:250000	92.5 x 85	1000	200
печать на бумаге, М 1:100000	92.5 x 85	1200	240
в) Для субквадранта			
печать на бумаге, М 1:50000	46 x 42	2400	480
на специальной бумаге, М 1:50000	46 x 42	4700	940
Продукция устройства MSS в цифровой форме:			
BSQ 1600	185 x 170	1000	90
BSQ 6250	185 x 170	1000	90
BIL 1600	185 x 170	1000	90
BIL 6250	185 x 170	1000	90
Продукция устройства MSS в виде цветного изображения:			
на позитивной пленке, М 1:1000000	185 x 170	600	120
печать на бумаге, М 1:250000	185 x 170	1000	200
Продукция устройства MSS в черно-белом изображении:			
на негативной пленке, М 1:1000000	185 x 170	175	35
на позитивной пленке, М 1:1000000	185 x 170	155	31
печать на бумаге, М 1:1000000	185 x 170	95	19

На начальной стадии коммерческого использования системы, в 1983–1984 гг., когда общее руководство программой LANDSAT осуществлялось организацией NOAA, доходы от продажи информации со спутника Landsat-4, составляли около 600 тыс.долл. в месяц. Общий доход от продажи снимков системы LANDSAT в 1989 г. составил 25 млн долл., в 1990 г. — 30 млн долл., а в 1991 г. было запланировано увеличение доходов на 10–15% по сравнению с предыдущим годом. В 1990 г. компанией EOSAT планировалось получить прибыль за период 1985–1995 гг. в размере 495 млн долл.

2.2. СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ SPOT

2.2.1. *Общая характеристика программы SPOT*

Французская космическая система изучения природных ресурсов Земли SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) активно функционирует с февраля 1986 г. Система преимущественно используется для получения информации дистанционного зондирования, необходимой для решения задач картографирования, землепользования, сельского и лесно-

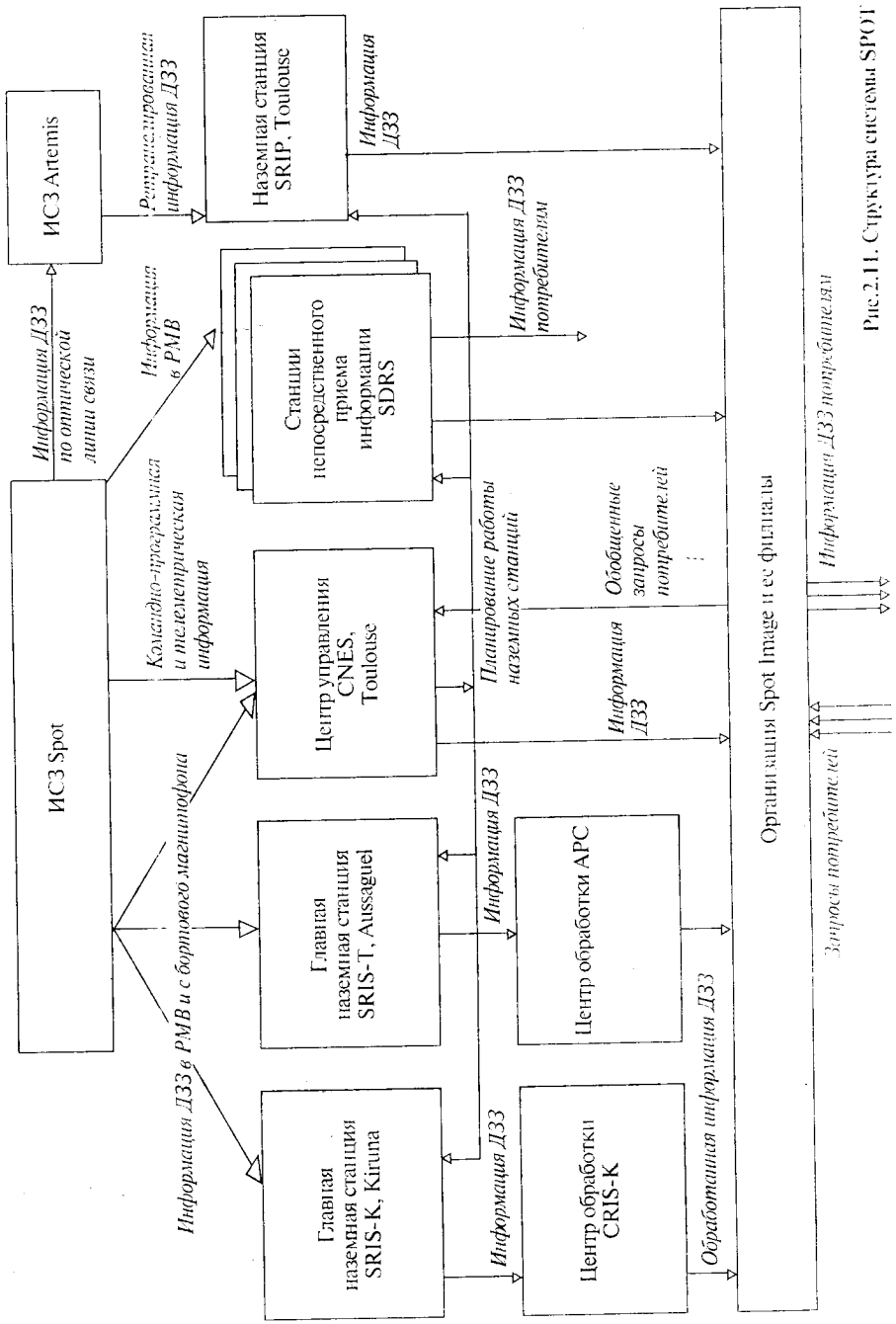


Рис.2.11. Структура системы SPOT

го хозяйства, планирования градостроительства, для составления цифровых карт местности и контроля за изменениями состояния окружающей среды. Структура системы SPOT представлена на рис.2.11 (подробное описание наземного сегмента приведено в п.2.2.5).

Работы по программе SPOT были начаты космическим агентством Франции CNES (Centre Nationale d'Etudes Spatiales) в 1975 г. с подготовки концепции создания национальной космической системы дистанционного зондирования. В соответствии с первоначальным вариантом проекта системы, разработанным в 1977 г., общие затраты по программе SPOT оценивались в 3.5 млрд.фр.франков (580 млн долл.), однако этот проект не нашел одобрения в совете европейского космического агентства ESA. Окончательное решение по созданию системы было принято французским правительством в 1978 г., причем головным разработчиком была выбрана фирма Matra Marconi Space.

Относительный вклад различных организаций в финансирование программы SPOT приведены в *табл.2.7.*

Таблица 2.7

Участие государственных и частных организаций в финансировании программы SPOT на различных этапах

Наименование организации	Участие в финансировании программы SPOT, %	
	Начальное	Текущее
Национальное космические агентство Франции CNES	39.0	34.47
Национальный географический институт (*Institute Geographique National*)	10.0	11.27
фирма Matra Marconi Space	8.8	23.01
организация Societe Europeene de Propulsion	8.8	11.25
Комитет геологических и минералогических исследований (*Bureau de Recherches Geologiques et Minieres*)	7.4	0.95
Французский институт нефти (*Institute Francais du Petrole*)	7.4	2.72
банк Credit Lyonnais	—	1.19
Национальный парижский банк (*Banque Nationale de Paris*)	—	1.19
организация Societe Generale	—	1.19
фирма Paribas	—	0.60
Шведское космическое агентство (*Swedish Space Corporation*)	6.0	5.94
фирма Telespazio	—	2.32
общее участие различных бельгийских организаций	4.0	3.26

В 1982 г., еще на начальном периоде разработки системы, в Тулузе была создана организация Spot Image, ответственная за коммерческое использование данных ДЗЗ, поступающих со спутников серии Spot. Начальный капитал фирмы Spot Image составил 14 млн фр.франков. Общие зат-

раты на создание этой фирмы достигают 41.1 млн долл. и поделены между государственными предприятиями и частными фирмами Франции (34% — национальное космическое агентство CNES, 45% — пять других французских коммерческих предприятий), Швеции (6%), Бельгии (4%) и ряда других стран. В результате приватизации системы SPOT, завершившейся в 1989 г., наземный сегмент, за исключением общенациональной системы управления функционированием космических аппаратов, был передан частной фирме Spot Image, которая включает три филиала: Spot Image Corp в США, Spot Image Services в Австралии и Spot Asia в Сингапуре.

Орбитальный сегмент системы SPOT принадлежит государству — национальному космическому агентству Франции CNES. Космическое агентство CNES является спонсором системы SPOT, несет основную ответственность за ее развитие и финансирование и покрывает из своего бюджета значительную часть текущих расходов по содержанию системы.

Непосредственное коммерческое использование системы осуществляют фирмы Spot Image (Франция), Spot Image Corp (США), Spot Imaging Services (Австралия), SSC Sattelitenbild (Швеция), Spot Asia (Сингапур) и 60 других дистрибьютеров в 53 странах. Продаже подлежат изображения любого участка поверхности Земли без каких-либо ограничений. Продажная цена снимка участка площадью 60 x 60 км колеблется от 850 фр.франков (142 долл.) до 2500 фр.франков (415 долл.) в зависимости от разрешающей способности и размера снимка. Например, 850 фр.франков стоил снимок размером 50 x 50 см с разрешением 20 м, а 2500 фр.франков — снимок 50 x 50 см, но с разрешением 10 м.

В 1991 г. ежегодный доход от продажи космических снимков и от взносов станций приема спутниковой информации составил 40 млн долл. (204 млн.фр.франков, из них прибыль — 5.5 млн.фр.франков) и ожидается, что к 1996–1997 гг. он достигнет 100 млн долл. В предыдущие годы доходы фирмы распределялись следующим образом, млн долл.: 32 (1990), 23 (1989), 16 (1988), 11 (1987) и 3 (1986). Основной доход приватизированного сектора образуется за счет американского филиала фирмы SPOT, однако, в последние годы отмечается рост удельного веса прибылей, приносимых филиалом Spot Asia. Ожидается, что к 2000 г. доходы фирмы Spot Image достигнут 300–500 млн долл. в год и будут полностью покрывать расходы на эксплуатацию системы в целом.

2.2.2. *Орбитальный сегмент системы SPOT*

Орбитальный сегмент системы SPOT составляют 1–2 ИСЗ, причем второй космический аппарат, как правило, представляет собой спутник с временем активного существования, превысившим расчетное. В соответствии с принятой программой был предусмотрен последовательный запуск шести космических аппаратов: в 1986, 1990, 1993 гг. и, ориентировочно, в 1997, 2002 и 2007 гг.

Разработка и изготовление космических аппаратов системы SPOT осуществляются на основе эволюционной модернизации унифицированного служебного модуля ИСЗ Spot. Причиной такого подхода является техническая политика фирмы Matra Marconi Space, заключающаяся в снижении затрат на изготовление последовательных образцов космических аппаратов системы.

Стоимость одного ИСЗ системы SPOT первого поколения (Spot-1,2,3) несколько ниже, чем соответствующий показатель первых космических аппаратов системы LANDSAT и составляет около 100 млн долл. Всего на разработку и постройку трех ИСЗ первого поколения было затрачено около 260 млн долл. В то же время, стоимость перспективных спутников Spot-5 (5a) и Spot-6 (5b) превышает 300 млн долл. за образец, что соответствует стоимости современных ИСЗ типа Landsat.

2.2.2.1. Космический аппарат Spot-1 был запущен 22 февраля 1986 г. при помощи ракеты-носителя Ariane-1 с полигона Kourou (Фр.Гвиана). Расчетный срок активного существования на орбите этого спутника составлял 2 года, однако реально ИСЗ находился в оперативном использовании с марта 1986 г. по конец 1990 г. За этот период суммарное время отказов спутника не превысило 0.5% от общей продолжительности его функционирования.

Спутник был выведен на солнечносинхронную околокруговую орбиту высотой 824 x 829 км с наклонением 98.7°. Местное время пересечения экватора в восходящем узле орбиты составляло 10 ч 30 мин, пролет над одним и тем же районом на поверхности Земли обеспечивался каждые 26 суток (369 витков). Коррекции высоты орбиты спутника выполнялись один раз в 2 месяца, а наклонения — ежегодно. Положение на орбите регулировалось при помощи 8 ракетных двигателей на гидразине с тягой 15.6 Н. Общий запас гидразина составлял 150 кг и по истечении 3 лет активного существования на орбите израсходовано было лишь 20 кг.

Основными разработчиками космического аппарата Spot-1 являлись фирмы Matra Marconi Space (общая координация работ, разработка системы получения видеоизображений), Aerospatiale (несущая конструкция ИСЗ, система терморегулировки, солнечные батареи), а также Sodern (оптическая система).

Космический аппарат был выполнен на базе унифицированной платформы Mk-1, имел высоту корпуса 3.5 м (рис.2.12) и размах солнечных батарей 15.6 м. Система энергообеспечения, в которую входят также три никель-кадмиевые батареи емкостью 24 А·ч, обеспечивала мощность, выдаваемую в нагрузку, 1382 Вт в начале срока активного существования и 1326 Вт — в конце срока (значения приведены на момент равноденствия, при напряжении бортовой сети 36 В).

На космическом аппарате Spot-1 были установлены две камеры HRV (п.2.2.3), передача изображений поверхности Земли с которых осуществлялась в реальном масштабе времени, либо с бортового магнитофона фирмы Odetics со временем непрерывной регистрации сигнала до 22 мин. В качестве дополнительной аппаратуры на спутнике был установлен радиолокационный маяк-ответчик, предназначенный для наведения и калибровки наземных радиолокационных станций полигона Kourou.

Расчетная точность трехосной стабилизации спутника равнялась 0.15°, однако в действительности точность была выше и по разным оценкам составляла 0.065—0.1°. При этом погрешность привязки изображения к географической системе координат не превышала 387—552 м (при расчетном значении 1500 м). В результате геометрической коррекции нескольких изображений остаточная ошибка могла быть снижена до 12—22 м.

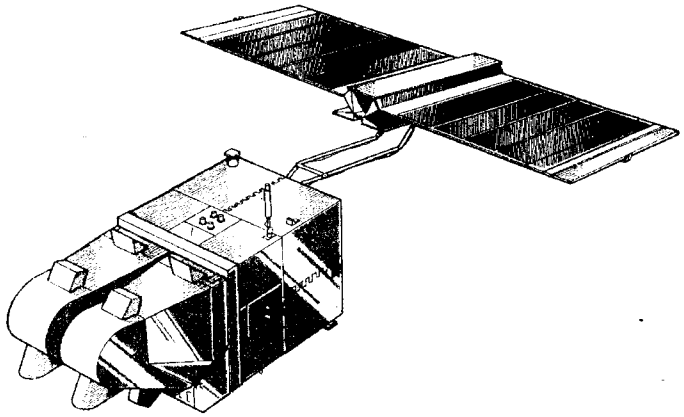


Рис.2.12. Космический аппарат Spot-1.

В середине января 1991 г. ИСЗ Spot-1 был переведен в орбитальный резерв. После этого телеметрирование бортового оборудования осуществлялось не реже, чем 1 раз за 6 витков с тем, чтобы при необходимости обеспечить перевод спутника из резервного в оперативное состояние. При этом на восстановление работоспособности ИСЗ требовалось не более двух недель. Такая возможность была использована в период с марта по октябрь 1992 г., когда ИСЗ Spot-1 был вновь переведен в оперативное состояние, чтобы, работая совместно со спутником Spot-2, обеспечить более полное выполнение заявок на информацию ДЗЗ, число которых возросло в период созревания и сбора урожая сельскохозяйственной продукции в северном полушарии. В ходе совместной работы ИСЗ Spot-1 в реальном масштабе времени передавал изображения Европы и Среднего Востока (оба комплекта аппаратуры магнитной записи Odetics на этом космическом аппарате вышли из строя в 1986 и 1990 гг., соответственно), а ИСЗ Spot-2 обеспечивал передачу как снимков РМВ, так и изображений, записанных на бортовой магнитофон. Орбиты обоих спутников были оптимизированы таким образом, чтобы обеспечить получение стереоскопических изображений районов на широте около 41°. К маю 1992 г. со спутника Spot-1 было передано в общей сложности около 1.9 млн. изображений (из них порядка 60—80 тыс. снимков — в период совместной работы с ИСЗ Spot-2), а наработка первой и второй камер HRV составила

2700 и 2550 час, соответственно. Вторично ИСЗ Spot-1 возобновлял свою работу в качестве оперативного спутника в 1993 г.

2.2.2.2. Космический аппарат Spot-2 был запущен 22 января 1990 г. ракетой-носителем Ariane-4 с полигона Kourou и введен в оперативное использование 21 марта 1990 г. Этому предшествовал анализ качества передаваемых со спутника изображений, который был завершен в начале марта 1990 г. и подтвердил, что получаемые снимки изображения Земли удовлетворяют требованиям, предъявляемым к коммерческой продукции (требования к качеству снимков ИСЗ Spot приведены в п.2.2.6).

ИСЗ Spot-2 выведен на солнечносинхронную околокруговую орбиту высотой 819 x 822 км, плоскость которой совпадает с орбитой ИСЗ Spot—1, а аргумент широты перигея смещен на 180°.

Конструкция этого космического аппарата и состав полезной нагрузки совпадают с ИСЗ Spot-1, с теми лишь отличиями, что на ИСЗ Spot-2, впервые для спутников этой системы, была использована аппаратура точного определения параметров орбиты DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), а запас гидразина был увеличен на 12 кг, необходимых для выполнения начальной коррекции орбиты.

Как и в предшествующем ИСЗ серии Spot, при эксплуатации спутника Spot-2 возникли осложнения с использованием бортовых магнитофонов американской фирмы Odetics. Первый бортовой магнитофон вышел из строя через год после запуска, а в 1993 г. износилась записывающая головка второго магнитофона и изображения стали регистрироваться с пропусками.

К маю 1992 г. со спутника было передано около 1 млн изображений, при этом наработка первой и второй камер HRV составила 1410 и 1260 час., соответственно. В ноябре 1993 г. ИСЗ Spot-2 был переведен в резервное состояние.

2.2.2.3. Космический аппарат Spot-3 был запущен 26 сентября 1993 г. при помощи ракеты-носителя Ariane-4 с полигона Kourou и введен в оперативное использование в ноябре того же года, взамен предшествующего ИСЗ Spot-2. Расчетный срок активного существования составляет 3 года. Спутник вышел из строя в ноябре 1996 г.

Параметры орбиты, конструкция и состав полезной нагрузки этого спутника аналогичны ИСЗ Spot-2. В качестве дополнительной целевой аппаратуры на борту спутника установлено 25-килограммовое устройство POAM-2 (Polar Ozone & Aerosol Measurement) для исследования озона и аэрозолей в полярных областях в рамках эксперимента, проводимого ВВС США (USAF Space Test Program).

2.2.2.4. Запуск космического аппарата второго поколения Spot-4 планируется на декабрь 1997 г. с полигона Kourou ракетой-носителем Ariane-4.

Расчетный срок активного функционирования увеличен с 2—3 лет для ИСЗ Spot первого поколения до 5 лет, причем гарантируемая вероятность исправной работы по истечении 4-летнего срока эксплуатации составляет 0.8.

В разработке и создании космического аппарата Spot-4, стоимость которого оценивается в 260 млн фр.франков, приняли участие следующие фирмы: Matra Marconi Space (головной исполнитель, сборка ИСЗ, разработка бортовой системы обработки данных, системы ориентации, включая инерциальные устройства, датчики Солнца и звезд), Aerospatiale (механические элементы, система терморегулирования, панели солнечной батареи), Alenia (элементы конструкции, электроника приводов гироскопов и магнитометров), Alcatel Espace (передатчик), CASA (кабельные соединения), CRISA (программное обеспечение), Crouzet (система жизнеобеспечения ИСЗ, крепежные соединения платформы, устройство разворачивания и реконфигурации ИСЗ), ETCA (система энергообеспечения), Laben (электроника приводов гироскопов и магнитометров), Saab (центральный компьютер), SAFT (аккумуляторные батареи), SAGEM (гироскопы), SEP (система управления движением), Sodern (датчики горизонта Земли, датчики звезд, фотоприемники). Для изготовления бортовых магнитофонов вместо американской фирмы Odetics привлечена французская Schlumberger Industries.

В отличие от ИСЗ Spot первого поколения, космический аппарат Spot-4 и последующие Spot-5,6 выполняются на базе унифицированной платформы Mk-2. Платформа Mk-2 предназначена для размещения более тяжелых ИСЗ с полной массой до 2.5 т и массой полезной нагрузки до 840 кг (соответствующие характеристики использовавшейся ранее платформы Mk-1 составляют 1.9 т и 550 кг).

В качестве целевой аппаратуры на ИСЗ Spot-4 планируется установить две усовершенствованных оптико-электронных камеры HRVIR, широкоугольную камеру Vegetation, а также экспериментальный прибор POAM-3. К дополнительной целевой аппаратуре относятся система определения параметров орбиты DORIS, радиолокационный маяк-ответчик, аналогичный устанавливаемым на ИСЗ первого поколения, а также комплекс приборов PASTEC (PASsager TEChnologique), предназначенный для экспериментального изучения орбитальной среды, и демонстрационный прибор PASTEL (PAssager Spot de TElecommunication Laser), обеспечивающий оптическую линию связи с пропускной способностью 50 Мбит/с через геостационарный спутник Artemis в рамках проекта ESA SILEX.

На спутниках Spot второго поколения предприняты меры, направленные на повышение точности трехосной ориентации ИСЗ до 0.03. Система ориентации ИСЗ Spot-4 включает три маховика, два датчика магнитного момента (magnetorquers), ИК-датчики горизонта Земли типа STD-16, датчики Солнца, а также гироскоп типа Regys 10. Активными элементами системы ориентации являются четыре пары микродвигателей на гидразине с тягой по 15.6 Н, обеспечивающие управление по углу рыскания и проведение коррекций орбиты, а также четыре пары двигателей с тягой по 3.5 Н для управления по тангажу и крену. Запас топлива двигателей системы ориентации также увеличен и составляет 300 кг.

Солнечная батарея марки GSR-3 выполнена в виде пяти жестких, развертываемых в космосе панелей (на платформе Mk-1 используются гибкие панели) массой 74 кг и размерами 1.9 x 2.6 м, которые состоят из 120 подвижных элементов. Мощность солнечной батареи достигает 2500 Вт в начале срока существования ИСЗ на орбите и снижается до 2200 Вт после 5 лет его эксплуатации. В систему энергообеспечения входят также четыре никель-кадмиевые аккумуляторные батареи емкостью по 40 А·ч каждая.

На борту ИСЗ второго поколения Spot-4 устанавливаются 2 магнитофона фирмы Schlumberger весом 121 кг и емкостью 120 Гбит, обеспечивающих время непрерывной записи 40 мин каждый при скорости записи 50 Мбит/с. Один магнитофон способен записывать информацию с двух камер HRVIR, второй при этом является резервным. Потребляемая мощность магнитофонов составляет 175 Вт в режиме записи, 260 Вт — воспроизведения, 12 Вт — ожидания. Магнитофоны рассчитаны на 70 тыс. циклов регистрации (около 10 лет штатной эксплуатации, магнитофоны фирмы Odetics были рассчитаны на 2 года эксплуатации).

2.2.2.5. Запуск очередных спутников второго поколения Spot-5 (5a) и Spot-6 (5b) планируется на 2002 и 2007 гг., соответственно. Расчетный срок активного существования останется прежним и составит 5 лет.

Для повышения рентабельности программы SPOT создание перспективных космических аппаратов осуществляется с максимальным использованием научно-технического задела, полученного при разработке ИСЗ Spot-4. Оценочная стоимость работ по созданию и запуску двух новых ИСЗ составляет 6—7 млрд фр.франков.

В качестве целевой аппаратуры на космических аппаратах Spot-5,6 планируется устанавливать по три оптико-электронных камеры HRG, прибор Vegetation и усовершенствованную систему радиоопределения DORIS-NG.

Ожидается, что получение стереоизображений земной поверхности будет обеспечиваться за один виток, а не на двух различных витках, как у предшествующих ИСЗ этой серии. Благодаря установке на борту спутника дополнительной (третьей) камеры HRG, непрерывность поступления данных, в том числе и стереоскопических, будет обеспечиваться даже в случае выхода из строя одной из камер.

2.2.3. *Целевая аппаратура космических аппаратов системы SPOT*

Общей особенностью оптико-электронных камер HRV, HRVIR и HRG, устанавливаемых на ИСЗ Spot, является возможность отклонения камеры от направления в надир для проведения съемки в стороне от трассы ИСЗ. Благодаря этому суммарная полоса обзора спутника расширяется до 950 км, а периодичность съемки заданного района поверхности Земли снижается до 1—4 суток. Съемка земной поверхности может осуществляться в следующих пяти режимах:

1) наблюдение в надире, при этом осуществляется покадровое формирование снимков участков поверхности Земли 60 x 60 км, расположен-

ных слева и справа от трассы ИСЗ и перекрывающихся на 3 км, суммарная ширина полосы обзора составляет при этом 117 км;

2) в режиме смещенного наблюдения полоса обзора смещается влево или вправо от трассы спутника не более, чем на 475 км, снимки формируются непрерывно, причем размеры наблюдаемого участка поверхности Земли вдоль трассы всегда составляют 60 км, а в поперечном направлении меняются от 60 км до 80 км в зависимости от удаленности полосы обзора от трассы;

3) при просмотре отдельных участков формируются снимки только интересующих районов, отстоящих от трассы ИСЗ не более, чем на 475 км;

4) в режиме повторного наблюдения осуществляется съемка одного и того же участка на нескольких непоследовательных витках;

5) в стереоскопическом режиме обеспечивается съемка одного участка поверхности Земли на двух непоследовательных витках с последующим построением стереоскопического изображения этого участка.

2.2.3.1. В качестве основной целевой аппаратуры на ИСЗ Spot первого поколения устанавливаются две оптико-электронные камеры HRV (High Resolution Visible), в которых впервые был использован покадровый метод съемки без механического сканирования элементов камеры. Благодаря этому повышается надежность устройства, обеспечивается возможность получения стереоскопических (за два витка) изображений объектов на поверхности Земли, а также выборочного наблюдения избранных районов сцены.

Камера HRV построена на основе фотоприемного устройства марки DTA-01 (рис.2.13), разработанного фирмой Sodern. На космическом аппарате Spot-1 в составе камеры использовались также линейки детекторов с непосредственной связью модели 122 фирмы Fairchild, а на ИСЗ Spot-2,3 применялись 1728-элементные линейки приборов с зарядовой связью (ПЗС) модели TH 7801A фирмы Thomson-CSF. Для разделения приходящего светового пучка по спектральным диапазонам в качестве светоделителя использовалась призма.

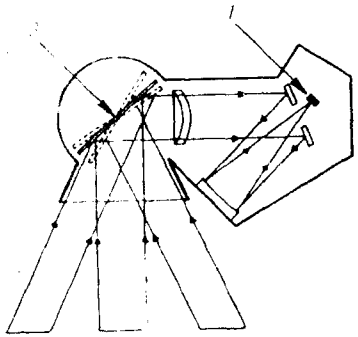


Рис.2.13.
Принцип работы фотоприемного устройства DTA-01:

1 — линейки детекторов ПЗС;
2 — Поле зрения в надире;
3 — Перемещаемое зеркало.

В панхроматическом канале излучение проходит сквозь призму, причем границы панхроматического диапазона определяются в данном случае характеристиками поглощательных и интерференционных фильтров, установленных на линейке ПЗС. Выделение пучка, соответствующего зеленому (B1) диапазону, осуществляется дихроическим зеркалом, красный (B2) и ближний ИК (B3) диапазоны разделяются вторичным зеркалом. Число пикселов в панхроматическом диапазоне — 6000 (для этого используется четыре 1728-элементных линейки ПЗС), а в остальных — 3000 (по две линейки ПЗС на диапазон). Отношение сигнал/шум при максимальной (минимальной) освещенности составляет 700 (90) в диапазоне B1, 650 (40) — B2, 800 (50) — B3 и 500 (70) — в панхроматическом диапазоне. Масса фотоприемного устройства составляет 2.5 кг, потребляемая мощность — 2.7 Вт, основной диаметр — 211 мм (255 мм — по крепежному фланцу).

В целом камера HRV имеет следующие характеристики:

- масса каждой камеры: 250 кг;
- спектральные диапазоны в режиме многоспектрального наблюдения: 0.5—0.59 (диапазон B1), 0.61—0.68 (B2), 0.79—0.89 (B3) мкм;
- диапазон в панхроматическом режиме: 0.51—0.73 мкм;
- пространственное разрешение: 20 м в режиме многоспектрального наблюдения и 10 м в панхроматическом режиме;
- радиометрическое разрешение: 256 уровней в многоспектральном и 64 уровня в панхроматическом режимах;
- максимальное отклонение камеры от направления в надир: 27° по обе стороны от трассы ИСЗ с дискретностью 0.6°, благодаря чему ширина суммарной полосы обзора увеличивается до 950 км;
- ширина одновременно просматриваемой полосы: 60 км в надире и 80 км при максимальном отклонении камеры (две камеры HRV обеспечивают в надире полосу просмотра 117 км с 3-километровым перекрытием);
- периодичность просмотра заданного района на средних широтах: 26 суток без наведения камеры на район, 1—4 суток с наведением;
- скорость передачи информации: 25 Мбит/с с каждой камеры.

2.2.3.2. На космическом аппарате Spot-4 будет установлен улучшенный многоспектральный радиометр HRVIR (High Resolution Visible Infra-Red), в котором вместо панхроматического диапазона будет использоваться средний ИК-диапазон, а также будет обеспечена возможность независимого задействования двух камер. При этом вместо фотоприемника модели DTA-01 будет использован фотоприемник DTA-03 (рис.2.14). В диапазонах B1-B3 будут использованы линейки ПЗС модели 7811 фирмы Thomson. В нововведенном среднем ИК-диапазоне применяются линейки из 3000 детекторов на InGaAs-структурах. Система термостабилизации позволяет поддерживать температуру детекторов среднего ИК-диапазона, равной 5°C с точностью 0.01°C, а температуру приборов с зарядовой связью — 20°C с точностью 0.1°C. Новый фотоприемник по сравнению с моделью DTA-01 обеспечивает более высокое отношение сигнал/шум во

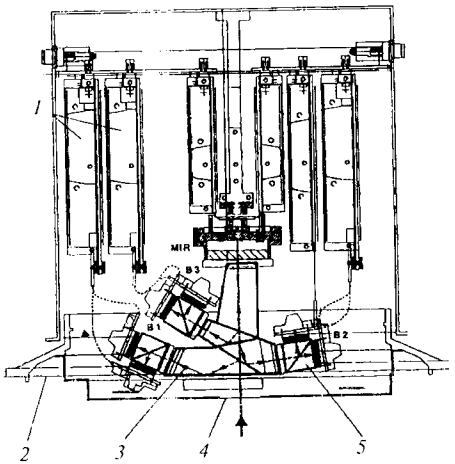


Рис.2.14. Фотоприемное устройство DTA-03:

1 — электронные устройства
2 — плоскость крепления к телескопу
3 — светоделитель
4 — входной экран
5 — узел стыковки линеек ПЗС

всех спектральных диапазонах за исключением диапазона B2, что объясняется увеличенным вдвое пространственным разрешением в этом диапазоне. Так, при максимальной (минимальной) освещенности гарантируемое соотношение сигнал/шум составляет: 900 (250) — в диапазоне B1, 350 (60) — B2, 1000 (100) — B3 и 650 (3) — в среднем ИК-диапазоне. Масса устройства DTA–03 составляет 7.4 кг, потребляемая мощность — 10.5 Вт, размеры — 200 x 250 мм, диаметр крепежного фланца — 250 мм.

MIR — ИК Основные характеристики камеры HRVIR следующие:

- спектральные диапазоны: 0.50–0.59 (B1), 0.61–0.68 (B2), 0.79–0.89 (B3), 1.580–1.750 мкм (средний ИК);
- разрешение в многоспектральном режиме: 20 м во всех диапазонах;
- в односпектральном режиме работы задействуется диапазон B2, разрешение при этом составляет 10 м.

Остальные характеристики камеры HRVIR совпадают с предшествующей моделью HRV.

2.2.3.3. На космических аппаратах Spot-5,6 планируется установить три камеры HRG со следующими техническими характеристиками:

- спектральные диапазоны: 0.55, 0.61–0.68, 0.64 мкм (видимые), 0.78–0.89, 0.85, 1.5–1.7 мкм (ИК), 0.5–0.75 (панхроматический);
- пространственное разрешение: 10 м в многоспектральном режиме и 5 м — в панхроматическом;
- полоса просмотра: 60 км (одна камера), 117 км (две камеры) и 174 км (три камеры).

Важной особенностью камер HRG является возможность их отклонения от направления в надир вдоль трассы ИСЗ в обе стороны на 19.2°, благодаря чему планируется обеспечить формирование стереоскопических изображений за один пролет спутника, а не за несколько, как это делается на на существующих ИСЗ этой серии.

2.2.3.4. На космических аппаратах второго поколения Spot-4,5,6 планируется устанавливать радиометр Vegetation (VGT), предназначенный для наблюдения растительного покрова, мониторинга и предсказания урожайности посевов, а также изучения процессов взаимодействия биосферы и геосферы.

Радиометр Vegetation разрабатывается на базе прибора построения изображений DTA-05 фирмы Sodern и будет иметь следующие характеристики:

- масса прибора: 160 кг;
- спектральные диапазоны: 0.61–0.68, 0.78–0.89, 1.58–1.75 мкм и экспериментальный диапазон 0.43–0.47 мкм;
- пространственное разрешение: 1.15 км в режиме непосредственной передачи и 4 км в режиме воспроизведения с бортового магнитофона;
- ширина полосы обзора: 2200 км.

2.2.3.5. В качестве вспомогательной полезной нагрузки на ИСЗ Spot-2,3,4 устанавливается система DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), разработанная французской фирмой Dassault Electronique и предназначенная для точного определения параметров орбиты. Для исключения влияния ионосферы предусмотрен двухчастотный доплеровский маяк, излучающий непрерывные сигналы на частотах 2036.25 и 401.25 МГц.

Точность определения скорости движения ИСЗ составляет 0.3 мм/с, причем время измерения доплеровского сдвига частоты составляет 10 с. Среднеквадратическая ошибка (СКО) измерения высоты спутника не превышает 2–4 см.

На перспективных ИСЗ Spot-5,6 будет устанавливаться усовершенствованная система DORIS-NG, основным отличием которой от существующей является возможность вычисления координат ИСЗ бортовым радионавигационным комплексом в реальном масштабе времени. СКО определения трехмерных координат ИСЗ не будет превышать 5 м, остальные характеристики системы останутся прежними. Данные DORIS-NG будут передаваться с борта ИСЗ со скоростью менее 100 бит/с.

2.2.4. ***Характеристики радиолиний передачи данных с ИСЗ Spot***

2.2.4.1. На космических аппаратах Spot-1,2,3 информация с двух камер HRV или с бортовых магнитофонов Odetics (до 22 мин) передается со скоростью 2 x 25 Мбит/с на частоте 8253 МГц с использованием передатчика с усилителем на ЛБВ мощностью 20 Вт фирмы Thomson-CSF. Ширина спектра излучаемого сигнала составляет 100 МГц. Масса бортовой передающей системы достигает 240 кг, потребляемая мощность в режиме непосредственной передачи составляет 170 Вт, а в режиме воспроизведения записанной информации — 270 Вт.

2.2.4.2. Характеристики линии передачи данных камеры HRVIR с ИСЗ Spot-4 аналогичны спутникам первого поколения, однако время непрерывной передачи информации с бортовых магнитофонов фирмы Schlumberger вырастет до 40 мин.

2.2.4.3. Суммарная скорость передачи данных с трех камер HRG, устанавливаемых на ИСЗ Spot-5,6, будет превышать 50 Мбит/с. Передача информации будет осуществляться в диапазоне 8025–8400 МГц.

2.2.4.4. Ожидается, что передача информации с аппаратуры Vegetation будет осуществляться в X- и/или L-диапазонах частот со скоростью 500 кбит/с.

2.2.4.5. На всех космических аппаратах серии Spot устанавливается радиомаяк с частотой излучения 8307 МГц и шириной спектра 100 кГц, предназначенный для облегчения наведения приемной антенны земной станции на ИСЗ.

2.2.5. ***Наземный сегмент системы SPOT***

В состав наземного сегмента системы SPOT входят следующие элементы (рис.2.11).

1. Центр управления в Тулузе (Франция), обеспечивающий функционирование ИСЗ на орбите, перепрограммирование бортовой аппаратуры, прием и предварительную обработку информации ДЗЗ.

2. Две главные наземные станции приема информации ДЗЗ: станция SRIS-T (Station de Reception des Images Spatiales) в Aussaguel (Франция, рис. 2.15) и станция SRIS-K в Kiruna (Швеция).

3. Наземная станция SRIP (Station de Reception des Pastel) в Тулузе, обеспечивающая прием информации дистанционного зондирования по оптической линии через геостационарный ИСЗ Artemis с использованием оборудования PASTEL.

4. Центр предварительной обработки и архивирования данных в Тулузе APC (Archive and Preprocessing Center), обеспечивающий выполнение заявок потребителей информации ДЗЗ.

5. Центр предварительной обработки данных CRIS-K (Centre de Rectification des Images Spatiales) в Kiruna.

6. Станции непосредственного приема информации SDRS (Spot Direct Receiving Stations), обеспечивающие прием только информации PMB и находящиеся в Принс Алберт и Гатино (Канада), Хайдерабад (Индия), Маспаломас (Канарские о-ва, станция принадлежит ESA), Куяба (Бразилия), Лэд Крабанг (Таиланд), Хатояма (Япония), Исламабад (Пакистан), Хартебистхоек (Ю.Африка), Эр Рияд (Саудовская Аравия), Алис-Спринге (Австралия), Тель Авив (Израиль), Котопакси (Эквадор), Фучино (Италия), Парепаре (Индонезия), Сингапур и Гун-ли (Тайвань).

7. Организация Spot Image и ее филиалы (п.2.2.1), ответственные за коммерческое использование космической информации ДЗЗ.

Область приема каждой из двух главных станций SRIS-A и SRIS-K охватывает зону радиусом в 2.5 тыс.км. Совместно эти станции контролируют Северную Европу, Северную Америку, Южную Европу, Северную Африку и принимают за один год порядка 500 тыс. изображений. При обеих станциях функционируют центры обработки принятой информации (APC и CRIS-K, соответственно), которые за сутки обрабатывают около 700 сцен. Обработанные изображения закладываются в архив или

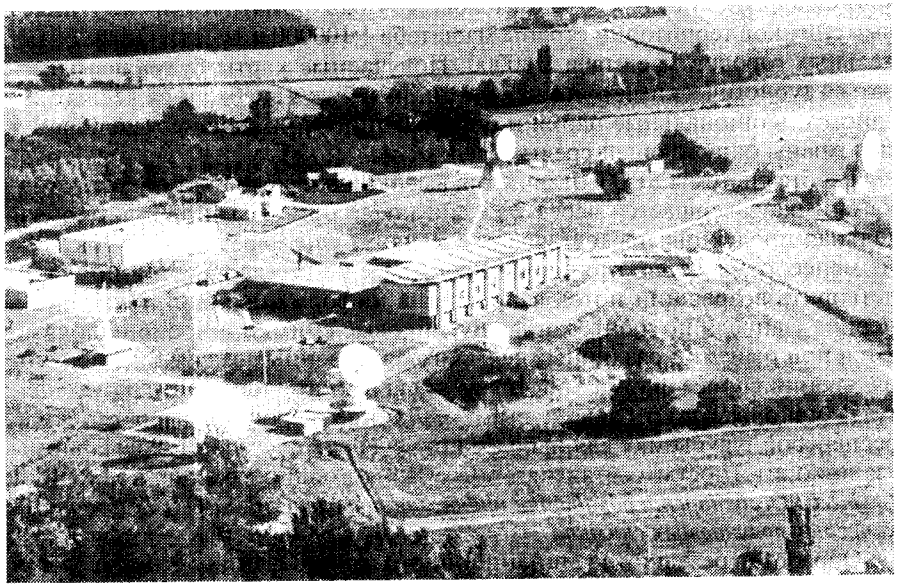


Рис.2.15. Пункт приема информации Aussaguel (Франция, фото CNES).

доставляются заказчику. Необходимо отметить, что информацию ДЗЗ, записанную на бортовой магнитофон, могут принимать только главные станции SRIS-T и SRIS-K.

Стоимость каждой из наземных приемных станций типа SDRS, большинство из которых совмещено с пунктами приема информации с ИСЗ системы LANDSAT, оценивается более чем в 4 млн долл. Например, канадская станция прямого приема информации оценивается в 5.8 млн.кан.долл., из которых 4.5 млн кан.долл. приходятся на оборудование.

Контракты с зарубежными станциями на прием информации с ИСЗ Spot заключаются фирмой Spot Image сроком на три года. Стоимость контракта до 1990 г. составляла 5 млн.фр.франков в год, а с 1990 г. возросла до 7 млн.фр.франков в год. По окончании трех лет контракт продлевается или прекращается. В структуре доходов фирмы Spot Image доходы от использования приемных станций SDRS иностранными государствами составляют около 30% от всех доходов.

Фирма Spot Image практикует распространение не только «сырой» информации дистанционного зондирования, но также и технологий ее обработки. Так, в 1995 г. национальное управление картографии Зимбабве заключило контракт стоимостью 6.2 млн.фр.франков с организацией Spot Image на поставку технологий и оборудования для обработки спутниковых снимков, которые будут использоваться для составления топографических карт /16/. В том же году был заключен контракт на сумму 5.4

млн фр.франков о передаче Зимбабве 154 панхроматических спутниковых снимков территории страны масштаба 1:100000 и десяти снимков отдельных городов масштаба 1:50000. Получаемые карты будут использоваться туристическими организациями, ими будут снабжаться лесные хозяйства, национальные парки и организации, занимающиеся проблемами охраны окружающей среды.

Работа системы SPOT отличается высокой оперативностью: подготовка снимка завершается через 2–3 дня после приема данных, а окончательная продукция предоставляется клиенту еще через 8–11 суток. Тем не менее, отмечается, что фирма Spot Image не всегда в состоянии удовлетворить возросший поток запросов на информацию ДЗЗ, особенно в период с апреля по июнь, когда спутниковые снимки широко используются при решении различных сельскохозяйственных задач. В целях упорядочения спроса фирма Spot Image стала взимать дополнительную плату за приоритетность заказа съемки. Данное мероприятие обеспечило бесперебойную съемку для наболее критических случаев. Доходы фирмы «за приоритетность» составляют более 10% от общих доходов.

2.2.6. *Особенности обработки информации в системе SPOT. Требования к качеству получаемых снимков*

Обработка результатов дистанционного зондирования осуществляется с использованием программного обеспечения, разработанного фирмами MS2i, Matra Marconi Space и Marconi Research Centre. По степени сложности различают следующие уровни обработки информации, получаемой космическими аппаратами системы SPOT:

- (уровень 1): основная радиометрическая и геометрическая коррекция (без учета наземных опорных точек и восстановления положения ИСЗ);
- (уровень 1А): первичная информация с проведенной нормализацией откликов ПЗС-детекторов в каждом из спектральных диапазонов, пригодная для построения стереоскопических изображений и базовых радиометрических исследований;
- (уровень 1В): полная радиометрическая и ограниченная геометрическая коррекция, основной уровень предобработки для фотографической интерпретации, тематического анализа, а при необходимости и для формирования стереоскопических пар;
- (уровни 2,2В): коррекция изображений в соответствии с заданной картографической проекцией;
- (уровень 2А): соответствует точной обработке на уровне 2, но может быть выполнена без использования карты наземных опорных точек;
- (уровень S): сравнение сцен, основанное на использовании наземных опорных точек, обеспечивающих совмещение снимков с точностью 0.5 пиксела, выполняется при разнице в углах наблюдения не более 0.6° (по другим данным — не более 1.8°);
- (уровень 1АР): оптимизирован для фотограмметрических приложений с использованием аналитических стереоплоттеров.

Результаты обработки представляются на стандартных, совместимых с ЭВМ магнитных лентах, гибких магнитных дисках, компакт-дисках и в виде фотоформ.

Для оценки геометрического качества изображений, полученных с использованием ИСЗ системы SPOT, используются следующие показатели /15/:

1) точность местооопределения;
2) линейные искажения, анизоморфизм, локальная когерентность;
3) погрешности совмещения изображений;
4) планиметрическая и альтиметрическая точность (фотограмметрические характеристики).

1. Точность местоопределения. При проведении съемки в направлении надира гарантируемая среднеквадратическая погрешность местооопределения, соответствующая обработке уровня 1В, не превышает 1500 м. Для выполнения этого требования используются различные средства уточнения параметров орбиты космического аппарата, включая систему DORIS, а также параметров его ориентации. Периодическая оценка точности привязки к местности производится путем статистической обработки достаточно большого количества изображений различных районов на поверхности Земли.

2. Для вертикальной ориентации линии визирования (или плоского ландшафта) внутреннее качество изображений со спутников Spot определяется следующими показателями.

2.1. Линейные искажения. Этот параметр определяется как относительная погрешность между фактическим расстоянием на земной поверхности и его значением, полученным на снимке. Требуется, чтобы эта величина не превышала 1%. Данный параметр контролируется регулярно 2 раза в год.

2.2. Анизоморфизм. Значение этой характеристики определяется эксцентриситетом эллипса, полученного при съемке находящейся на поверхности Земли окружности. Предельно допустимая величина этого параметра составляет 0.001.

2.3. Локальная когерентность. Данный параметр характеризует относительную разность между теоретическим (10/20 м) и фактическим шагом дискретизации по строкам и столбцам. Изменение значения шага дискретизации может возникать на стыке двух линеек ПЗС (для построения одного изображения используется до четырех линеек одновременно), однако, эти отклонения не должны превышать 30% шага дискретизации.

3. Рассматриваются погрешности совместной регистрации изображений, полученных в одинаковых геометрических условиях: трех изображений, полученных одновременно в многоспектральном режиме, или двух разновременных изображений, совмещенных в соответствии с уровнем обработки S.

3.1. При многоспектральной регистрации оценивается радиус наименьшей окружности, охватывающей три точки поверхности, соответствую-

щие одному и тому же пикселу в трех спектральных диапазонах. Требуемая величина погрешности при многоспектральной регистрации не должна превышать 30% шага дискретизации.

3.2. При получении совмещенных изображений в соответствии с уровнем обработки S остаточная среднеквадратическая ошибка регистрации не должна превышать 50% шага дискретизации. Значение этого параметра зависит главным образом от точности работы системы ориентации спутника.

4. Требования к погрешностям высокоточных изображений.

4.1. Точность координатной привязки картографической продукции системы SPOT не должна быть хуже 20 м для любой точки снимка, с проведенной геометрической коррекцией в соответствии с уровнями 2, 2A и 2B.

4.2. В стереоскопическом режиме среднеквадратическая погрешность измерения высоты объектов на поверхности Земли не должна превышать 10 м (для панхроматического режима).

Радиометрические показатели качества изображений, полученных при помощи ИСЗ Spot, включают:

1) характеристики шума вдоль столбцов изображения (шум детектора);

2) характеристики шума по всему изображению;

3) точность абсолютной калибровки.

1. Шум детектора. Поскольку строки изображения формируются линейками ПЗС, то шум вдоль каждого столбца является следствием шума соответствующего детектора линейки. Требования по данному показателю выражены в виде пересчитанного к земной поверхности коэффициента эквивалентной шумовой отражательной способности N_1. Считается, что значение этого коэффициента при угле возвышения Солнца более 30° не должно превышать 0.005.

Переход от N_1 к шумовой эквивалентной энергетической яркости N_2, как фактическому показателю качества аппаратуры, осуществляется с учетом угла возвышения Солнца и ряда характеристик атмосферы. Отношение сигнал/шум системы периодически определяется при помощью бортовой калибровочной лампы.

2. Шум по всему изображению. В камерах HRV и HRVIR изображения формируются при помощи 9000 детекторов в многоспектральном режиме (по 3000 на диапазон) или 6000 детекторов в панхроматическом режиме. Каждый из детекторов имеет собственные радиометрические показатели, характеризуемые дисбалансом (темновой ток) и коэффициентом чувствительности. Темновой ток определяется ежемесячно путем полного затенения детекторов.

Различия от детектора к детектору по чувствительности определяются статистическими методами на основе анализа изображений больших территорий, покрытых снегом. Для этого раз в 3–4 месяца производится съемка каких-либо районов Гренландии или Антарктиды. Для участка изображения размером 10 x 10 пикселей требуется, чтобы показатель N_1 не превышал 0.007. Для всего изображения максимальное допустимое значение этого параметра составляет 0.0085.

3. Точность абсолютной калибровки позволяет определить связь между значениями на выходе датчика и характеристиками входного потока излучения. Требуемая точность восстановления этой зависимости составляет 10%.

Абсолютная калибровка осуществляется при помощи: замеров характеристик тестовых районов на поверхности Земли; ежемесячной бортовой калибровки с использованием калибровочной лампы и калибровки по Солнцу; статистической обработки изображений районов, одновременно наблюдаемых двумя камерами HRV, с целью их взаимной калибровки.

2.3. ИНДИЙСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ IRS

Индийская система дистанционного зондирования IRS (Indian Remote Sensing satellite system) является первой национальной системой, специально предназначенной для изучения природных ресурсов Земли, и составной частью национальной системы управления природными ресурсами Индии NNRMS (National Natural Resources Management System).

2.3.1. *Орбитальный сегмент системы IRS*

В состав орбитального сегмента системы входят 1–2 оперативных космических аппарата на круговых солнечно-синхронных орбитах. Расчетный срок активного существования индийских спутников на орбите составляет 3 года.

Спутники первого поколения (Irs-1A,1B,1C,1D,1E,P2,P3) предназначены в основном для изучения земной поверхности, наблюдения прибрежных зон океана и почвенного слоя Земли, решения задач сельского и лесного хозяйства, землепользования, контроля за расходованием водных ресурсов. Космические аппараты второго поколения (Irs-P4,P5,P6) будут обеспечивать картографирование земной поверхности, заблаговременное предупреждение об опасных природных явлениях, решение задач сельского и лесного хозяйства, мониторинг окружающей среды и изучение природных ресурсов Земли.

2.3.1.1. Запуск ИСЗ Irs-1A осуществлен 17 марта 1988 г. советской РН SL-3 «Восток» с полигона Тюратам. Спутник был выведен на околокруговую солнечно-синхронную орбиту высотой 867 x 913 км с наклонением 99.03° и местным временем пересечения экватора в нисходящем узле орбиты 10 ч 25 мин, причем после двух лет эксплуатации местное время пересечения экватора изменилось до 10 ч 10 мин. Пролет над одним и тем же участком поверхности происходит каждые 22 дня (307 витков), расстояние по экватору между двумя последовательными витками равняется 2872 км.

Разработка космического аппарата осуществлялась под руководством спутникового центра национального космического агентства (ISRO Satellite Centre) с участием фирмы Hindustan Aeronautics (конструкция ИСЗ) и центра космических применений ISRO (ISRO Space Applications Centre, аппаратура построения изображений). Общая стоимость спутника составила 650 млн рупий.

Масса ИСЗ в начале функционирования составляет [illegible] кий аппарат имеет форму параллелепипеда с размерами 1.6 x 1.56 x 1.1 м (рис.2.16). Солнечные батареи с панелями общей площадью 8.58 м² обеспечивают мощность энергетической установки 620 Вт в конце активного срока существования. В области тени электроэнергия обеспечивается двумя никель-кадмиевыми батареями емкостью 40 А·час.

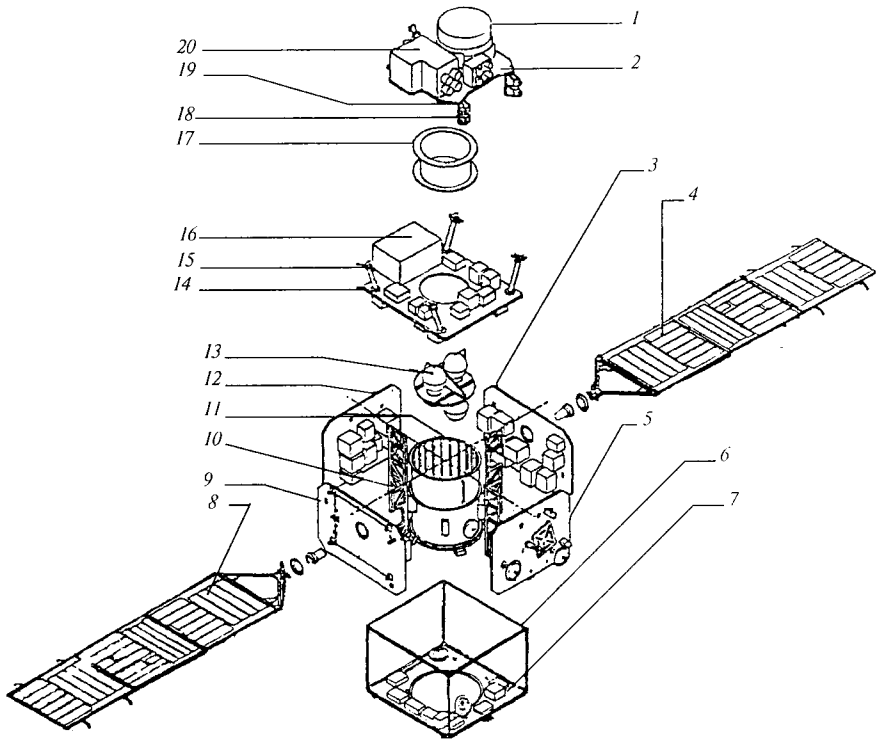


Рис.2.16. Космический аппарат Irs-1C:

1 — панхроматическая камера PAN
2 — аппаратура WiFS
3 — панель для размещения электронного оборудования
4 — панели солнечной батареи, расположенные на стенке корпуса, обращенной к Солнцу
5 — панель для размещения электронного оборудования
6 — корпус ИСЗ
7 — нижнее основание корпуса
8 — панели солнечной батареи, расположенные на теневой стенке
9 — панель для размещения электронного оборудования
10 — ферменные конструкции
11 — несущий цилиндр
12 — панель для размещения электронного оборудования
13 — топливные баки
14 — верхнее основание корпуса
15 — двигатели орбитальной коррекции
16 — аппаратура магнитной записи
17 — цилиндр тепловой изоляции аппаратурной платформы от основной части корпуса ИСЗ
18 — датчики Земли
19 — аппаратурная платформа
20 — камера LISS-3

Стабилизация ИСЗ трехосная с точностью 0.5° по углу рыскания и 0.3° по углам тангажа и крена. Для определения дальности до ИСЗ используется когерентный ответчик S-диапазона, а для измерения радиальной скорости спутника — двухканальная доплеровская система. Расчетная точность определения параметров орбиты составляет 1 км (реальная точность определения параметров орбиты ИСЗ Irs-1A не хуже 400 м). Периодически, в среднем 1 раз за 45 суток, выполняются коррекции орбиты, благодаря которым отклонение трассы ИСЗ от определенной опорной точки на поверхности Земли не превышает 12 км.

В качестве целевой аппаратуры на спутнике установлены три оптико-электронные камеры на ПЗС: одна камера LISS-1 и две камеры LISS-2. Передача изображений со всех трех камер была начата 7 апреля 1988 г. после проведения цикла орбитальных испытаний космического аппарата. С тех пор по состоянию на конец 1992 г. было передано более 480 тыс.сцен. Записывающая аппаратура на борту ИСЗ отсутствует, все снимки передаются в реальном масштабе времени.

Температура датчиков получения изображений поддерживается постоянной в диапазоне 15—20°С, аккумуляторных батарей 0—10°С, а остального радиоэлектронного оборудования 0—40°С. Помутнение отражателей теплозащиты, предположительно вызванное дегазацией космического аппарата, и изменение местного времени пересечения экватора привело в 1990 г. к возрастанию температуры отдельных бортовых систем и по некоторым показателям эксплуатационные характеристики спутника приблизились к технологическому пределу.

2.3.1.2. Космический аппарат Irs-1B запущен 29 августа 1991 г. советской РН SL-3 «Восток» с полигона Тюратам и выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 857 x 919 км, с наклонением 99.25°. Спутник введен в эксплуатацию 16 сентября 1991 г. Его характеристики аналогичны ИСЗ Irs-1A.

2.3.1.3. Неудачная попытка запуска космического аппарата Irs-1E с помощью индийской РН PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) с ракетного полигона Sriharikota была предпринята 20 сентября 1993 г.

Конструктивно спутник представлял собой модернизированную версию ИСЗ Irs-1A. В качестве аппаратуры дистанционного зондирования на спутнике были установлены камера LISS-1 и сканер MEOSS (Monocular Electro-Optical Stereo Scanner) западногерманского производства, аналогичный использовавшемуся на индийском исследовательском ИСЗ Sross-2.

2.3.1.4. Успешный запуск космического аппарата Irs-P2 осуществлен 15 октября 1994 г. с помощью РН PSLV с полигона Sriharikota на орбиту высотой 829 км, с наклонением 98.6°. Конструкция этого спутника аналогична ИСЗ Irs-1C. В качестве аппаратуры дистанционного зондирования установлены две камеры LISS-2.

2.3.1.5. ИСЗ Irs-1C 28 декабря 1995 г. выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 817 км. Контракт на запуск ИСЗ с помощью российской РН SL-3 с полигона Тюратам был подписан 18 января 1991 г.

Головным разработчиком ИСЗ Irs-1C является спутниковый центр ISRO Satellite Center, кроме того, в разработке космического аппарата участвуют центр космических приложений ISRO (аппаратура построения изображений) и фирмы Hindustan Aeronautics (конструкция корпуса ИСЗ), Thomson Tubes Electroniques (уислители X-диапазона на ЛБВ), ISRO Inertial Systems Unit (гироскопы системы стабилизации).

На космическом аппарате устанавливаются многоспектральная (LISS-3) и панхроматическая оптико-электронные камеры, а также широкоугольная камера WiFS. По сравнению с запущенными ранее спутниками, ИСЗ Irs-1C позволяет получать изображения с более высоким пространственным и спектральным разрешением, обеспечивает запись изображений на борту (продолжительность записи информации ДЗЗ до 24 мин) и более частый обзор заданного участка поверхности Земли.

Спутник выводится на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой 817 км, с наклонением 98.69°. Пересечение экватора в нисходящем узле орбиты происходит в 10 ч 30 мин по местному времени, повторный пролет над одним и тем же районом для камеры LISS-3 осуществляется каждые 24 дня (341 виток), а для панхроматической и широкоугольной камер — каждые пять суток.

Масса спутника в начале орбитального функционирования составляет 1350 кг. Космический аппарат имеет размеры 1.6 x 1.56 x 1.1 м. Каждая из двух панелей солнечных батарей состоит из трех пластин 1.1 x 1.46 м. Мощность бортовой энергетической установки в конце активного срока существования достигает 830 Вт. В области тени энергию обеспечивают две никель-кадмиевые батареи мощностью 21 А·час. Стабилизация трехосная с точностью 0.2° по углу рыскания и 0.15° по углам тангажа и крена.

2.3.1.6. Запуск космического аппарата Irs-P3 осуществлен 21 марта 1996 г. с помощью РН PSLV с полигона Sriharikota. Высота орбиты спутника составляет 817 км. ИСЗ Irs-P3 является промежуточной моделью при переходе к эксплуатации спутников серии Irs второго поколения (типа Irs-2). На спутнике установлены широкоугольная камера WiFS с дополнительным коротковолновым ИК диапазоном, сканирующий спектрометр MOS (Modular Optoelectronic scanning Spectrometer), а также астрономический комплекс научно-исследовательской аппаратуры, предназначенный для измерения временных вариаций и спектральных характеристик космического рентгеновского излучения.

2.3.1.7. Запуск очередного космического аппарата Irs-P4 планируется на конец 1997 г. Спутник будет выводиться на солнечно-синхронную орбиту высотой около 800 км с полигона Sriharikota при помощи РН PSLV. На космическом аппарате будут установлены оптико-электронная камера LISS-3 и широкоугольная камера WiFS с дополнительным коротковолновым ИК диапазоном.

2.3.1.8. В конце 1998 г. планируется запустить ИСЗ Irs-P5, на котором будут установлены камеры LISS-4, OCT и широкоугольная камера WiFS с повышенным пространственным разрешением (125 м). Аппаратура OCM позволяет решать широкий спектр океанографических задач, связанных с изучением динамики развития фитопланктона и выявлением источников загрязнения океана.

2.3.1.9. Запуск космического аппарата Irs-1D планируется на 1998–1999 гг. с помощью РН PSLV с полигона Sriharikota. Характеристики спутника, включая состав бортовой аппаратуры ДЗЗ, аналогичны ИСЗ Irs-1C.

2.3.1.10. Космический аппарат Irs-P6 планируется вывести на орбиту в конце 1999 г. На космическом аппарате будет устанавливаться панхроматическая камера высокого разрешения HR PAN. Спутник преимущественно будет использоваться для картогорафирования земной поверхности, построения цифровых карт местности и контроля за ростом населенных пунктов.

2.3.2. ***Целевая аппаратура космических аппаратов серии Irs***

Состав аппаратуры дистанционного зондирования, устанавливаемой на ИСЗ серии Irs, представлен в *табл.2.8.* Основные характеристики аппаратуры приведены ниже.

Таблица 2.8

Аппаратура ДЗЗ, устанавливаемая на космических аппаратах серии Irs

ИСЗ	Комплект установленной аппаратуры ДЗЗ									
	LISS-1	LISS-2	LISS-3	LISS-4	PAN	HR-PAN	WiFS	MEOSS	MOS	OCM
Irs-1A	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Irs-1B	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Irs-1C	—	—	1	—	1	—	1	—	—	—
Irs-1D	—	—	1	—	1	—	1	—	—	—
Irs-1E	1	—	—	—	—	—	—	1	—	—
Irs-P2	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Irs-P3	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—
Irs-P4	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—
Irs-P5	—	—	—	1	—	—	1	—	—	1
Irs-P6	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—

На первых ИСЗ серии Irs устанавливаются камеры типа LISS-1,2 (Linear Imaging Self-Scanning system) индийского производства /5,6/. Камеры работают в четырех спектральных диапазонах, совместимых с диапазонами камер TM (Landsat) и HRV (Spot). Спектральные диапазоны и области применения снимков, полученных в соответствующих диапазонах, представлены в *табл.2.9.*

Изображения, полученные при помощи камер LISS-1 и LISS-2, используются национальным агентством Индии NRSA преимущественно для решения задач землепользования, инвентаризации лесного хозяйства, обнаружения грунтовых вод, изучения прибрежной зоны океана, выявления границ пустынных земель, определения площади посадок и прогнозирования урожайности пшеницы, риса, сорго, хлопка, земляных орехов, табака и т.п.

Таблица 2.9

Спектральные диапазоны камер LISS–1, LISS–2

№	Диапазон, мкм	Особенности использования
1	0.45 — 0.52	изучение береговой зоны, выделение границ растительного покрова
2	0.52 — 0.59	всхожесть растительности, разделение горных и земляных пород, измерение глубины моря
3	0.62 — 0.68	поглощение хлорофилла, определение характеристик посадок
4	0.77 — 0.86	определение характеристик воды, геологических объектов, количества растительной биомассы

2.3.2.1. Камера LISS-1 сдержит 4 линейки по 2048 элементов ПЗС со спектральными фильтрами. Общая масса устройства 38.5 кг. Фокусное расстояние составляет 162.2 мм, угол зрения 9.4°. При оцифровке изображений используется 128 уровней квантования (7 бит на пиксел изображения). Разрешение на поверхности Земли равняется 72.5 м, ширина полосы обзора 148.48 км. Размер стандартной сцены камеры LISS-1 (рис.2.17) составляет 148.48 x 174 км (2048 x 2400 пикселов).

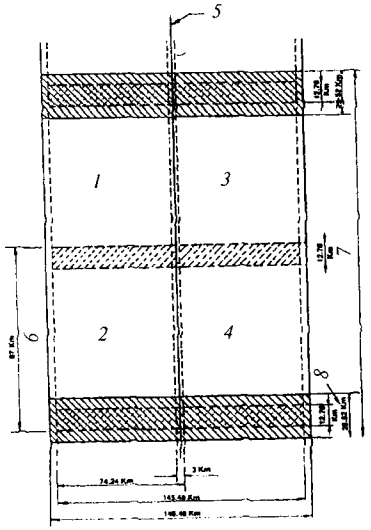


Рис.2.17. Характеристики сцен, получаемых камерами LISS-1, LISS-2:

1 — центр первого снимка камеры LISS-2A
2 — центр второго снимка камеры LISS-2A
3 — центр первого снимка камеры LISS-2B
4 — центр второго снимка камеры LISS-2B
5 — трасса ИСЗ
6 — продольный размер снимка камеры LISS-2
7 — продольный размер снимка камеры LISS-1
8 — перекрытие снимков камеры LISS-1 вдоль трассы ИСЗ

При использовании одного ИСЗ типа Irs повторный просмотр заданного района камерой LISS-1 обеспечивается каждые 22 дня, а при совместном применении спутников Irs-1A и Irs-1B периодичность повторного просмотра снижается вдвое и составляет 11 суток.

2.3.2.2. Камеры LISS-2 устанавливаются попарно (LISS-2A и LISS-2B) на спутниках Irs-1A,1B,P2, обеспечивая при этом режим стереоскопической съемки. Каждая камера содержит восемь линеек по 2048 элементов ПЗС со спектральными фильтрами (спектральные диапазоны приведены в *табл.2.9*). Фокусное расстояние составляет 324.4 мм, угол зрения каждой камеры 4.7°. Радиометрическое разрешение — 128 уровней квантования. Разрешение на поверхности Земли равняется 36.25 м (на ИСЗ Irs-P2 разрешение 32 x 37 м), ширина полосы обзора каждой камеры 74.24 км.

На космических аппаратах Irs-1A,1B камеры LISS-2A и LISS-2B расположены по обе стороны от LISS-1 и обеспечивают 3-км перекрытие своих полос обзора. При этом суммарная ширина полосы обзора составляет 145.45 км, а время повторного наблюдения заданного участка на поверхности Земли — 22 дня при использовании одного спутника и 11 суток при использовании двух ИСЗ. Суммарная ширина полосы обзора для ИСЗ Irs-P2 составляет 132 км, а время повторного наблюдения — 24 дня. Размеры сцен камер LISS-2A и LISS-2B подобраны таким образом, что 4 таких сцены образуют стандартный снимок камеры LISS-1 (рис.2.17).

2.3.2.3. Спектральные диапазоны камеры LISS-3, устанавливаемой на спутниках Irs-1C,1D,P4, совпадают с представленными в табл.2.9, с тем лишь отличием, что диапазон 0.45–0.52 мкм в видимом участке спектра заменен на котротковолновый ИК диапазон 1.55–1.70 мкм. Изображения, полученные с камеры LISS-3, преимущественно используются для контроля за расходованием земных и водных ресурсов, определения степени поражения посевов вредными насекомыми, прогнозирования урожаев, определения видов лесной растительности, плотности лесного покрова и количества растительной биомассы, а также в интересах оценки степени антропогенного воздействия на окружающую природную среду.

В рабочем режиме мощность, потребляемая камерой, достигает 85 Вт. Камера содержит 3 линейки по 6000 элементов ПЗС с фильтрами на 2, 3 и 4 диапазоны (см. *табл.2.9*). Пространственное разрешение при этом составляет 23.5 м, а ширина полосы обзора 142 км. Еще одна линейка из 2100 элементов ПЗС на InGaAs-структурах, охлажденная до температуры -10°C, обеспечивает получение изображений в коротковолновом ИК диапазоне с разрешением 70.5 м при полосе обзора 148 км. Время повторного наблюдения заданного участка поверхности Земли — 24 дня.

2.3.2.4. Камера LISS-4 планируется к установке на ИСЗ Irs-P5 и будет обеспечивать получение изображений в видимом (от зеленого до красного участка спектра), ближнем ИК и коротковолновом ИК диапазонах с пространственным разрешением около 10 м. Ширина полосы обзора камеры будет составлять 40 км, время повторного пролета над заданным районом — 22 дня.

2.3.2.5. Сканирующий спектрометр MOS (Modular Optoelectronic scanning Spectrometer) устанавливается на ИСЗ Irs-P3, а также на российском исследовательском модуле «Природа» (п.3.7) и предназначен для изучения поглощения кислородом O_2 излучений в ближнем ИК диапазоне, определения индекса вегетации, а также анализа состояния посевов и почвенного слоя Земли. Комплект MOS-A спектрометра работает в 4 участках ближнего ИК диапазона (0.755–0.767 мкм), комплект MOS-B — в 13 участках видимого и ближнего ИК диапазонов (0.408-1.01 мкм). Пространственное разрешение составляет 2.7 км и 650 м, а спектральное разрешение 1.4 нм и 10 нм для комплектов MOS-A и MOS-B, соответственно. Полоса обзора каждого комплекта — 80 км, относительная радиометрическая точность измерений не хуже 1%.

2.3.2.6. Панхроматическая камера PAN, установленная на ИСЗ Irs-1C,1D, осуществляет стереоскопическую съемку в диапазоне 0.50–0.75 мкм с разрешающей способностью 5.8 м. Получаемые изображения используются для топографирования земной поверхности, съемки городских построек, уточнения цифровых карт местности, оценки запасов лесоматериалов и определения видов лесной растительности. Камера состоит из трех линеек элементов ПЗС, каждая линейка имеет полосу обзора 23.9 км, а ширина суммарной полосы составляет 70 км. Положение полосы обзора может отклоняться от трассы на ±398 км (±26°), с шагом в 0.2°, что соответствует удалению от трассы на 2.57 км в надире. С учетом возможности наведения камеры на заданный район на поверхности Земли периодичность повторного просмотра не превышает 5 суток. Потребляемая мощность камеры составляет 55 Вт.

2.3.2.7. Панхроматическая камера высокого разрешения HR PAN, планируемая к установке на ИСЗ Irs-P6, будет обеспечивать получение стереоскопических изображений земной поверхности в масштабе не хуже 1:10000. Съемка будет осуществляться в видимом диапазоне спектра с пространственным разрешением 2.5 м и полосой обзора 10 км.

2.3.2.8. Широкоугольная камера WiFS (Wide-Field Sensor), устанавливаемая на ИСЗ серии Irs, используется для наблюдения за глобальными климатическими изменениями, засухами, половодьями, для измерения альбедо, изучения растительного покрова Земли, проведения регионального агроклиматического планирования и анализа сельскохозяйственного потенциала.

Аппаратура WiFS исполняется в трех различных модификациях. На спутниках Irs-1C,1D используется камера, аналогичная по конструкции аппаратуре LISS-1. Фотоприемная часть камеры выполнена в виде четырех линеек, каждая из которых включает 2048 элементов ПЗС. Прием излучений осуществляется в двух диапазонах: 0.62–0.68 мкм и 0.77–0.86 мкм. Фокусное расстояние составляет 56.420 мм, разрешающая способность — 188 м при ширине полосы обзора 774 км (сектор обзора ±27°). Повторный просмотр заданного участка местности обеспечивается каждые 5 суток.

На ИСЗ Irs-P3,P4 дополнительно предусмотрен коротковолновый ИК диапазон 1.55–1.75 мкм, а ширина полосы обзора увеличена до 804 км. Остальные характеристики камеры WiFS остались без изменений.

На космическом аппарате Irs-P5 планируется использовать камеру WiFS, обеспечивающую прием излучений в видимом (красный участок спектра), ближнем ИК и коротковолновом ИК диапазонах. Пространственная разрешающая способность камеры будет улучшена и составит 125 м при ширине полосы обзора 750 км.

2.3.2.9. Аппаратура OCM, планируемая к установке на ИСЗ Irs-P5, будет использоваться для анализа цвета поверхности океана в видимом и ближнем ИК участках спектра. Получение изображений будет обеспечиваться в восьми диапазонах с пространственным разрешением 500 м.

2.3.3. *Характеристики радиолиний передачи данных с ИСЗ серии Irs*

Информация с камеры LISS-1 поступает в режиме непосредственной передачи в S-диапазоне со скоростью 5.2 Мбит/с. Используется двухпозиционная фазовая манипуляция. Мощность бортового передатчика составляет 5 Вт.

Информация с каждой камеры LISS-2 передается в X-диапазоне со скоростью 10.4 Мбит/с. Скорость передачи уплотненного потока данных с двух камер составляет 20.8 Мбит/с. Используется четырехпозиционная фазовая манипуляция. Мощность бортового передатчика составляет 20 Вт.

Скорость передачи изображений камеры LISS-3, полученных в трех видимых диапазонах, составляет 35.7 Мбит/с. Суммарная скорость передачи информации камеры LISS-3 — 42.45 Мбит/с.

С камеры LISS-4 изображения будут передаваться со скоростью 70 Мбит/с по радиоканалу в X-диапазоне частот.

Информация со спектрометра MOS передается со скоростью 3.9 Мбит/с.

Панхроматическая информация с камеры PAN передается в X-диапазоне частот со скоростью 84.903 Мбит/с.

Скорость передачи информации с широкоугольной камеры WiFS, установленной на ИСЗ Irs-1C,1D,P3,P4, составляет 2.02 Мбит/с. Передача данных ДЗЗ с камеры WiFS ИСЗ Irs-P5, имеющей повышенное пространственное разрешение, будет осуществляться со скоростью около 7 Мбит/с.

Скорость передачи информации с астрономического комплекса аппаратуры, установленного на ИСЗ Irs-P3, составляет 40 кбит/с.

Информация, зарегистрированная на бортовой магнитофон, передается в X-диапазоне частот. Мощность бортового передатчика составляет при этом 40 Вт.

Телеметрическая информация реального масштаба времени передается со скоростью 256 бит/с, а при воспроизведении с бортового запоминающего устройства, способного регистрировать ТЛМИ на протяжении 98 минут, — со скоростью 4 кбит/с. На спутниках серии Irs устанавливается также маяк X-диапазона, облегчающий наведение наземных станций приема информации.

2.3.4. *Наземный сегмент системы Irs*

Структура наземного сегмента системы IRS показана на рис.2.18. Функции траекторных измерений, приема телеметрии и управления оперативными космическими аппаратами системы IRS выполняют наземные станции индийского космического агентства ISRO (Indian Space Research Organization), расположенные в Bangalore (основная), Lucknow и Mauritius (резервные). На начальном этапе, в ходе орбитальных испытаний вновь запущенного спутника, дополнительно могут привлекаться наземные станции, находящиеся в Malindi (ESA), Weilheim (Управление аэрокосмических исследований Германий DFVLR, Deutsche Forschungsanstalt fur Luft— und Raumfahrt), Fairbanks (NOAA) и на Медвежьих Озерах (Центр космической связи ОКБ МЭИ, Россия). Типовая наземная станция оснащается антенной системой с добротностью в S-диапазоне 20 дБ/К и обеспечивает точность определения дальности до спутника 10 м и точность измерения радиальной скорости 10 см/с. Излучаемая мощность наземной станции составляет при этом 2 кВт.

Центр управления космическими аппаратами SCC (Spacecraft Control Centre) находится в Bangalore и совмещен с основной наземной станцией.

Изображения передаются на наземную станцию в Shadnagar, расположенную в 55 км к югу от Hyderabad и оснащеную параболической антенной диаметром 10 м, добротность которой в S- и X-диапазонах составляет 19 дБ/К и 31 дБ/К, соответственно. Наземная станция в Shadnagar позволяет принимать также данные дистанционного зондирования, передаваемые с ИСЗ Noaa, Landsat, Spot и Ers. Принимаемая информация регистрируется на МЛВП, кроме того, информация ДЗЗ совместно с результатами внешнетраекторных измерений и данными о состоянии и регулировках бортовой аппаратуры регистрируется на служебные компьютерные магнитные ленты ACCT (Ancillary Computer Compatible Tapes). Магнитные ленты ACCT используются для получения высококачественных снимков с глубокой радиометрической и геометрической коррекцией.

Сбор, обработка и архивирование информации, прием заявок от потребителей, а также распространение снимков осуществляются в Информационном центре Национального агентства дистанционного зондирования NDC (NRSA Data Centre, NRSA — National Remote Sensing Agency, Hyderabad) и в Центре космических приложений SAC (Space Applications Centre, Ahmedabad).

В системе IRS предусмотрены следующие уровни обработки информации дистанционного зондирования. «Уровень-0»: формирование снимков формата 70 мм в реальном масштабе времени на станции приема в Shadnagar. «Уровень-1»: снимки «просмотрового» (brows) формата 63 x 65 мм с точностью географической привязки 10 км; выполняются путем компенсации погрешностей, связанных с вращением Земли, и радиометрической коррекции. «Уровень-2»: стандартная продукция с выполненной геометрической и радиометрической коррекцией, компенсированным вращением Земли; снимки выполняются в формате 241 мм с точностью

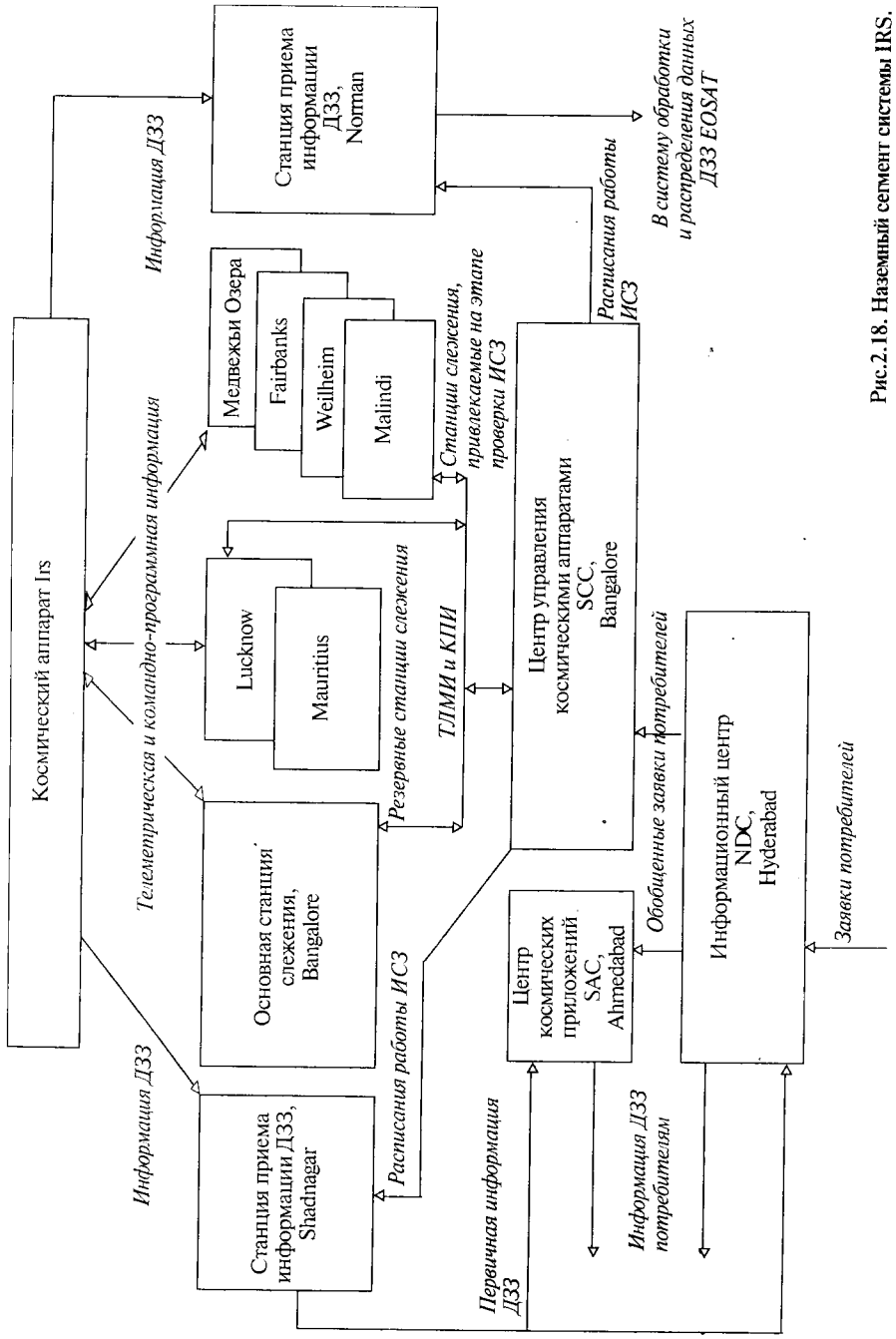


Рис.2.18. Наземный сегмент системы IRS.

географической привязки 2.2 км. «Уровень-3»: высокоточная продукция, при построении которой используются наземные опорные точки; точность привязки составляет 100—250 м, снимки выполняются в формате 241 мм; возможна выдача изображений в цифровом формате на МЛВП с плотностью записи 1600 байт на дюйм, либо 6250 байт на дюйм.

Конкурентоспособность информации дистанционного зондирования, получаемой с помощью индийских ИСЗ типа Irs, обеспечивается высоким качеством и относительно низкой стоимостью предлагаемых снимков. Так, стоимость одного обработанного снимка масштаба 1:250000, полученного камерой LISS-1, или снимка масштаба 1:125000, полученного камерой LISS-2, составляет в среднем 3000 рупий (около 100 долл.).

Подготовка квалифицированного персонала для работы с информацией ДЗЗ, поступающей с ИСЗ системы IRS, осуществляется под руководством Министерства космоса (Department of Space) в Индийском институте дистанционного зондирования IIRS (Indian Institue of Remote Sensing, Dehra Dun) Национального агентства NRSA. Помимо центрального учебного центра IIRS, обеспечивающего обучение специалистов высшей квалификации, подготовительные курсы малой и средней продолжительности созданы в ряде других государственных индийских организаций, включая Национальное агентство дистанционного зондирования NRSA (Hyderabad), Центр космических приложений SAC, Институт дистанционного зондирования IRS (Institute of Remote Sensing, Madras) и Региональные центры службы дистанционного зондирования RRSSCs (Regional Remote Sensing Service Centres), находящиеся в Bangalore, Dehra Dun, Nagpur, Jodhpur и Kharagpur.

В соответствии с контрактом, подписанным между фирмами Antrix и EOSAT (см. также п.2.1.1), прием изображений, передаваемых с ИСЗ системы IRS, с конца 1994 г. осуществляется двумя станциями фирмы EOSAT, расположенными в Norman.

2.4. ЯПОНСКИЙ ИСЗ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ADEOS

Космические аппараты серии Adeos (ADvanced Earth Observation Satellite) используются Национальным агентством космических разработок Японии NASDA для решения различных геофизических задач, связанных с наблюдением земной поверхности, изучением химического состава и динамики атмосферы, включая водооборот и процессы глобального теплообмена, а также в интересах ряда океанографических приложений.

Разработка и создание ИСЗ Adeos осуществляется по совместному контракту фирмами Mitsubishi Electric, Nippon Electric и Toshiba. Кроме того, в проекте участвуют американская фирма Odetics (в части разработки бортовых магнитофонов DDS-6000EC), французская Sodern (датчики STD-16 системы ориентации) и английская BAe Space Systems (система охлаждения интерферометра IMG).

Спутники серии Adeos выводятся на расчетную солнечно-синхронную орбиту высотой 797 км, наклонением 98.59° и местным временем пересечения экватора в нисходящем узле орбиты 10 ч 30 мин. Период повторного пролета над заданным участком на поверхности Земли составляет 41 сутки (585 витков).

Успешный запуск первого космического аппарата Adeos-1 состоялся 17 августа 1996 г. при помощи японской ракеты-носителя Н-2 с полигона Tanegashima. При этом реальная высота орбиты составила 804 км, наклонение — 98.62°. Очередной ИСЗ Adeos-2 планируется вывести на орбиту в 2000 г.

Космический аппарат Adeos-1 (рис.2.19) имеет модульную конструкцию, гарантируемый срок активного существования спутника составляет 3 года. Солнечная батарея размером 3 х 15 м обеспечивает мощность, выдаваемую в нагрузку по истечении 3 лет функционирования на орбите, не ниже 4.5 кВт. Кроме того, на спутнике устанавливаются 5 никель-кадмиевых батарей емкостью 35 А·час с максимальной глубиной разряда 20%. Трехосная система стабилизации ИСЗ обеспечивает точность ориентации не хуже 0.3° по каждой оси, максимальная скорость разворота спутника составляет 0.003 град/сек.

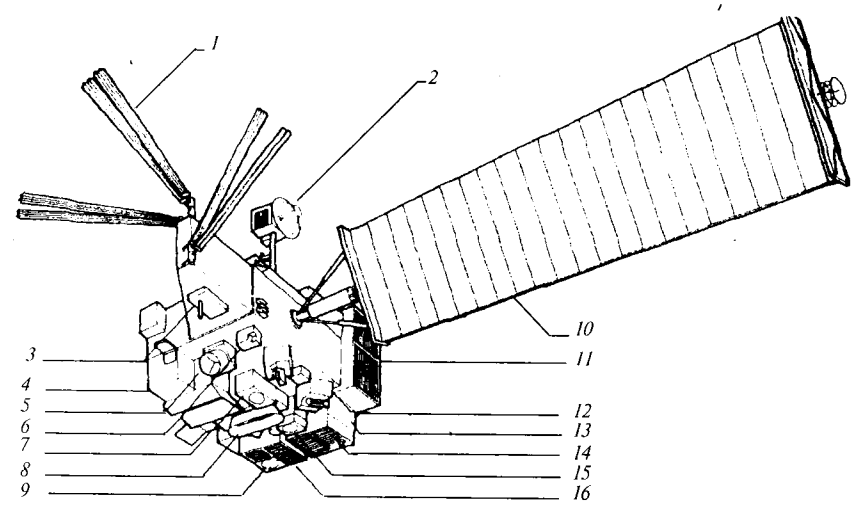


Рис.2.19. Космический аппарат Adeos-1:

1 — скаттерометр NSCAT
2 — антенна передачи данных через ИСЗ DRTS
3 — антенна УКВ-диапазона
4 — скаттерометр OCTS
5 — аппаратура RIS
6 — спектрометр TOMS
7 — интерферометр IMG
8 — радиометр AVNIR
9 — антенна X-диапазона
10 — панель солнечной батареи
11 — подсистема обработки данных ДЗЗ
12 — спектрометр ILAS
13 — подсистема управления
14 — антенна S-диапазона
15 — поляриметр POLDER
16 — подсистема непосредственной передачи данных ДЗЗ

2.4.1. *Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Adeos-1*

Основными приборами дистанционного зондирования, обеспечивающими получение информации в интересах агентства NASDA, являются радиометр AVNIR и сканер OCTS. Остальная аппаратура является дополнительной и в большинстве случаев устанавливается для продолжения проводившихся ранее наблюдений.

2.4.1.1. Усовершенствованный радиометр AVNIR (Advanced Visible and Near-IR radiometer) разрабатывается компанией MELCO и предназначен для получения высокоинформативных снимков земной поверхности и прибрежных зон океана. Радиометр (рис. 2.20) имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.42–0.50, 0.52–0.60, 0.61–0.69 мкм (в видимом участке спектра); 0.76–0.89 мкм (в ближнем ИК диапазоне); 0.52–0.69 мкм (при съемке в панхроматическом режиме);
- пространственное разрешение: 16 м (при многоспектральной съемке), 8 м (в панхроматическом режиме);
- ширина полосы обзора: 80 км (сектор обзора 5.7°);
- ширина полосы просмотра: 1088 км (направление съемки может отклоняться на 40° по обе стороны от трассы ИСЗ);
- скорость передачи информации: 60 Мбит/с в многоспектральном и панхроматическом режимах;

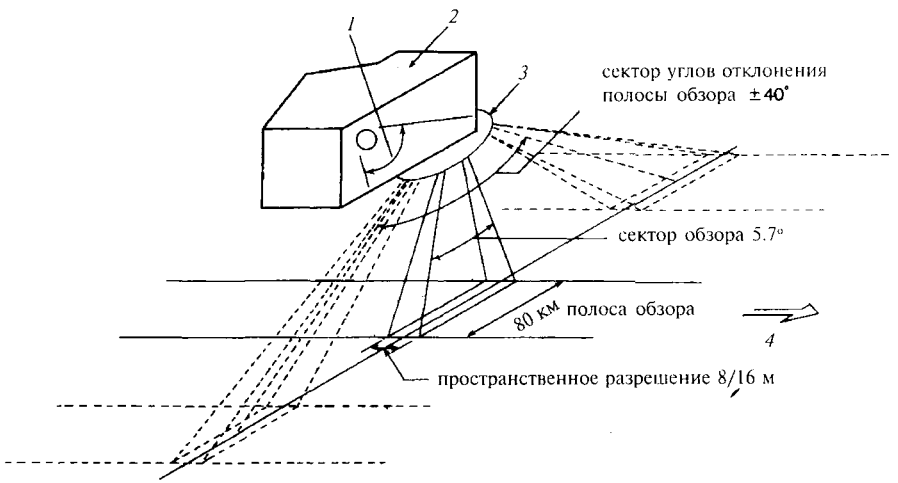


Рис.2.20. Принцип работы радиометра AVNIR:

1 — сектор углов калибровки по Солнцу
2 — оптическая система
3 — экран
4 — направление полета ИСЗ

- масса прибора: 250 кг;
- потребляемая мощность: 230 Вт.

2.4.1.2. Сканер окраски и температуры океана OCTS (Ocean Colour and Temperature Scanner) разрабатывается корпорацией NEC и предназначен для измерения температуры поверхности океана, изучения динамики развития фитопланктона, анализа состояния окружающей природной среды, а также исследования процессов взаимодействия океана и атмосферы.

Сканер (рис. 2.21) имеет следующие основные технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.402–0.422, 0.433–0.453, 0.479–0.501, 0.511–0.529, 0.555–0.575, 0.660–0.680 мкм (в видимом участке спектра); 0.745–0.785, 0.845–0.885 мкм (в ближнем ИК диапазоне); 3.55–3.88 мкм (в ИК диапазоне); 8.25–8.80, 10.3–11.4, 11.4–12.7 мкм (в тепловом ИК диапазоне);
- пространственное разрешение: 700 м;
- ширина полосы обзора: 1400 км;

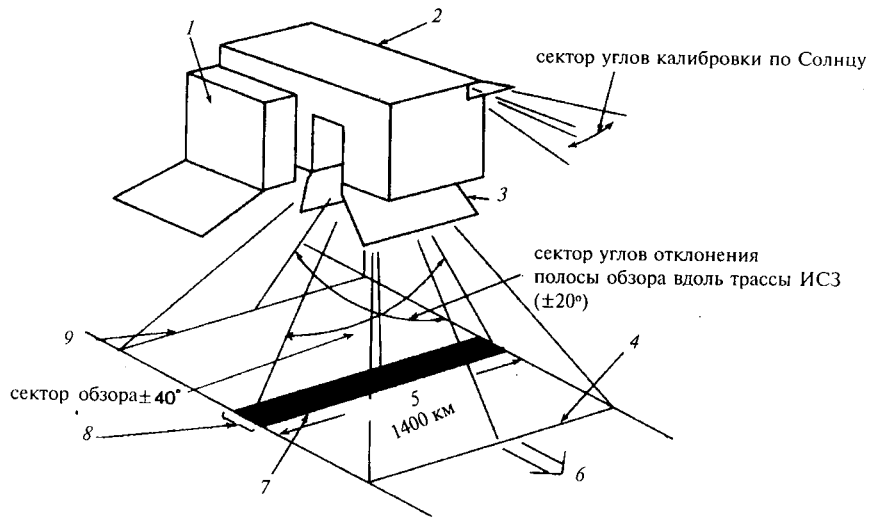


Рис.2.21. Принцип работы сканера OCTS

1 — блок охлаждения
2 — оптическая система
3 — экран
4 — сканирование при отклонении полосы обзора по ходу движения
5 — ширина полосы обзора
6 — направление полета ИСЗ
7 — сканирование в надире
8 — 10 строк изображения за один цикл сканирования в направлении поперек трассы ИСЗ
9 — сканирование при отклонении полосы обзора против хода движения

• скорость передачи информации: 30 Мбит/с, предусмотрен также режим передачи информации низкого разрешения со скоростью около 20 кбит/с;
• масса прибора: 320 кг;
• потребляемая мощность: 315 Вт.

Предусмотрена возможность отклонения вращающегося сканирующего зеркала на 40° по обе стороны вдоль трассы ИСЗ для снижения влияния солнечных бликов.

2.4.1.3. Скаттерометр NSCAT (Nasa SCATterometer) разрабатывается Лабораторией реактивного движения JPL (Jet Propulsion Laboratory, NASA) и представляет собой активную микроволновую радиолокационную систему для определения скорости и направления приповерхностного морского ветра.

Для этого при помощи трех антенн скаттерометра осуществляется измерение эффективной площади рассеяния морской поверхности в надире и на расстоянии 600 км по обе стороны от подстпутниковой точки ИСЗ.

Скаттерометр NSCAT имеет следующие технические характеристики:
• частота зондирующих сигналов: 13.995 ГГц;
• пространственное разрешение: 50 км;
• ширина полосы обзора: 1200 км;
• периодичность повторной съемки поверхности Земли: 2 суток;
• точность определения положения участка съемки: 25 км (абсолютная), 10 км (относительная);
• точность определения скорости ветра: 2 м/с при скорости 3–20 м/с, либо 10% при скорости 20–30 м/с;
• точность определения направления ветра: 20°;
• скорость передачи информации: около 3 кбит/с;
• масса прибора: 237 кг;
• потребляемая мощность: 275 Вт.

2.4.1.4. Установленный на ИСЗ Adeos спектрометр картирования озонового слоя TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) аналогичен прибору, использующемуся на спутниках изучения озонового слоя Земли Toms-EP. Подробное описание спектрометра приведено в п.8.2.

2.4.1.5. Поляриметр POLDER (POLarization and Directionality of the Earth Reflectance) устанавливается в интересах Национального космического агентства Франции CNES и предназначен для измерения поляризационных и спектральных характеристик солнечного света, рассеянного атмосферными аэрозолями, облачностью, морской и земной поверхностями в различных направлениях.

Поляриметр выполнен в виде детекторов на ПЗС, перед которыми на вращающемся колесе установлены спектральные и поляризационные фильтры. Прибор POLDER имеет следующие технические характеристики:
• рабочие длины волн: 0.443, 0.490, 0.565, 0.670, 0.763, 0.765, 0.865 и 0.910 мкм;
• пространственное разрешение в надире: 6 x 6 км;

• ширина полосы обзора: 1800 км (вдоль трассы) x 2400 км (в поперечном направлении);
• относительная точность измерений: 2–3%;
• скорость передачи информации: 900 кбит/с;
• масса прибора: 33 кг;
• потребляемая мощность: 40 Вт.

Для частот 0.443, 0.670 и 0.865 мкм предусмотрены фильтры с поляризаторами, рассчитанными на прием трех различных поляризационных составляющих излучения Земли (всего 9 комбинаций «частота/поляризация»). Фильтры на частоты 0.443, 0.490, 0.565, 0.763, 0.765 и 0.910 мкм используются без поляризаторов.

2.4.1.6. Интерферометр IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse gases) разрабатывается корпорацией Toshiba по заказу Министерства внешней торговли и промышленности MITI (Ministry of International Trade and Industry). Прибор выполнен на основе интерферометра Майкельсона и предназначен для измерения концентрации в атмосфере двуокиси углерода, метана, двуокиси азота и других газов, вызывающих «парниковый» эффект.

Интерферометр имеет следующие характеристики:
• диапазон длин волн: 3.3–14.5 мкм;
• спектральное разрешение: 0.1 линий на см;
• мгновенное поле зрение: 0.6° x 0.6°;
• пространственное разрешение в надире: 8 км;
• ширина полосы обзора: 32 км;
• скорость передачи информации: 900 кбит/с;
• масса прибора: 115 кг;
• потребляемая мощность: 150 Вт.

2.4.1.7. Усовершенствованный спектрометр ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer), установленный на ИСЗ Adeos-1, разрабатывается по заказу Агентства по окружающей среде (Environment Agency). Спекторометр используется для проведения измерений в высоких широтах и позволяет определять концентрацию малых газовых компонентов (O_3, CH_4, NO_2, N_2O, H_2O, $CFCl_2$, HNO_3) на высотах от 10 до 60 км. Наблюдение заката и восхода Солнца обеспечивается двумя отдельными камерами. Каждая камера включает телескоп диаметром 12 см с 44 пироэлектрическими детекторами на диапазоны 6.0–6.8 мкм и 7.3–11.8 мкм и 3-см телескоп с решеткой фотодиодов на диапазон 0.753–0.784 мкм. Спектрометр имеет следующие характеристики:
• рабочие диапазоны: 0.753–0.784 мкм (видимый), 6.0–6.8 и 7.3–11.8 мкм (тепловой ИК);
• пространственное разрешение в точке касания: 13 x 2 км (в ИК-диапазоне), 2 x 2 км (в видимом диапазоне спектра);
• точность измерений: 5% (для озона — 1%);
• скорость передачи информации: 500 кбит/с;
• масса прибора: 118 кг;
• потребляемая мощность: 90 Вт.

2.4.1.8. Аппаратура RIS (Re[illegible] Space) устанавливается в интересах Агентства по окружающей среде и представляет собой уголковый отражатель лазерного излучения. Прибор RIS массой 50 кг имеет диаметр 50 см и предназначен для исследования озона, фторуглеродов, двуокиси углерода и других малых газовых составляющих при помощи наземного лазера, работащего в диапазоне 0.4–14 мкм. Пространственное вертикальное разрешение составляет несколько километров и зависит от типа анализируемого газа.

2.4.2. ***Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Adeos-2***

В интересах японского космического агентства NASDA на перспективном ИСЗ серии Adeos /7/ планируется установить аппаратуру GLI и радиометр AMSR. Остальные приборы ДЗЗ, как и прежде, являются дополнительной полезной нагрузкой.

2.4.2.1. Радиометр AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) будет использоваться для изучения водяного пара, наблюдения за ветром и осадками, измерения температуры поверхности моря, съемки снегового и ледового покровов.

Радиометр AMSR разрабатывается на основе приборов MSR, устанавливаемых на ИСЗ серии MOS, и имеет следующие технические характеристики:

- рабочие частоты: 6.9, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, 50.3, 52.8 и 89.0 ГГц;
- пространственное разрешение: 5–50 км (в зависимости от частоты принимаемого излучения);
- радиометрическая точность: 1К;
- ширина полосы обзора: 1600 км;
- скорость передачи информации: около 130 кбит/с.

2.4.2.2. Построитель изображений GLI (GLobal Imager) предназначен для анализа цвета и измерения температуры поверхности океана путем пассивного зондирования в 22 видимых, 5 коротковолновых ИК и 2 тепловых ИК диапазонах спектра. Прибор обеспечивает пространственное разрешение 1 км в тепловых ИК и 250 м в остальных диапазонах спектра. Ширина полосы обзора составляет 1600 км. При работе в режиме низкого (1 км) разрешения скорость передачи информации составляет около 4 Мбит/с, а в режиме высокого разрешения — до 60 Мбит/с. Предусмотрена также возможность непосредственной передачи потребителям снимков с пространственным разрешением 6 км, которые формируются за счет прореживания отсчетов в исходных изображениях. Скорость передачи информации при этом составляет 16 кбит/с, данные передаются в УКВ-диапазоне.

2.4.2.3. Спектрометр ILAS-2, планируемый к установке на ИСЗ Adeos-2, будет отличаться от прибора ILAS добавлением одного видимого и одного инфракрасного диапазонов.

Поляриметр POLDER, устанавливаемый на космическом аппарате Adeos-2, полностью аналогичен соответствующему прибору предыдущего ИСЗ этой серии.

2.4.2.4. Прибор Sea Winds предназначен для измерения скорости и направления приповерхностных морских ветров. Зондирование осуществляется на частоте 13.402 ГГц, при этом обеспечивается пространственное разрешение 50 км со среднеквадратической ошибкой определения положения зондируемого участка 15 км. Ширина полосы обзора прибора Sea Winds такова, что за двое суток обеспечивается просмотр до 90% всей поверхности Мирового океана.

2.4.2.5. Система сбора данных DCS (Data Collection System) устанавливается на ИСЗ Adeos-2 и некоторых других спутниках дистанционного зондирования (Goes, Alos, Mos-1B) в интересах Службы сбора данных (Data Collection Service) и обеспечивает сбор информации, передаваемой наземными, морскими и воздушными платформами геофизического мониторинга окружающей среды.

В состав передаваемой информации входят идентификационный номер платформы, а также данные о температуре воздуха и воды, атмосферном давлении, влажности воздуха, скорости и направлении ветра, скорости и направлении морских и речных течений. Данные, передаваемые с платформы, записываются на борту ИСЗ, а затем сбрасываются в уплотненном информационном потоке при пролете над соответствующим наземным центром обработки.

2.4.3. ***Особенности передачи информации с ИСЗ Adeos-1***

Высокоскоростная информация ДЗЗ, поступающая с AVNIR, OCTS, POLDER, IMG и ILAS, регистрируется на три бортовых магнитофона со скоростями записи 3, 6 и 60 Мбит/с, а затем воспроизводится со скоростью 60 Мбит/с.

Низкоскоростная информация с приборов NSCAT и TOMS регистрируется со скоростью 4096 бит/с на два других бортовых магнитофона, используемые также для записи телеметрии, после чего воспроизводится со скоростью 524 кбит/с. На спутнике предусмотрен один резервный магнитофон со скоростями записи и воспроизведения 4096 бит/с и 33 кбит/с, соответственно.

На наземные станции информация передается по трем линиям X-диапазона частот (8150–8350 МГц):

- линии X1, X2 обеспечивают скорость передачи 60 Мбит/с, в передатчике использованы твердотельные параметрические усилители (ТТПУ) мощностью 40 Вт;
- скорость передачи данных по линии X3 составляет 6 Мбит/с, при этом используются ТТПУ мощностью 5 Вт; эта линия может быть использована только для сброса информации, поступающей с приборов NSCAT и TOMS.

Рассматривается возможность передачи информации дистанционного зондирования через японские гестационарные ИСЗ-ретрансляторы. На первом этапе передача данных ДЗЗ будет осуществляться через ИСЗ Ets-6 со скоростью 3 Мбит/с, а затем через ИСЗ Comets со скоростью до 66 Мбит/с на частоте 2287.5 МГц в S-диапазоне и частоте 25850 МГц в K_a-диапазоне.

Информация низкого разрешения, формируемая путем соответствующей обработки снимков сканера OCTS на борту спутника, будет передаваться непосредственно местным потребителям (рыболовецким судам, например) со скоростью 20 кбит/с на частоте 465.00 МГц.

Космические аппараты серии Adeos отличаются относительно высокой автономностью функционирования. Бортовой компьютер спутника позволяет записывать передаваемую из наземного центра управления 7-дневную программу функционирования ИСЗ. При этом закладка команд на борт осуществляется со скоростью 500 бит/с. Телеметрическая информация с борта ИСЗ передается на частоте 2.22 ГГц в реальном масштабе времени со скоростью 4096 бит/с, а в режиме воспроизведения с бортового магнитофона — со скоростью 524 кбит/с.

2.5. БРАЗИЛЬСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА МЕСВ

Бразильская космическая программа МЕСВ (Missao Espacial Completa Brasileria) была принята в 1978 г. и с 1980 г. начались работы по созданию наземного сегмента и последовательному запуску космических аппаратов двух типов. Спутники серии SCD предназначены исключительно для сбора данных с наземных платформ геофизического мониторинга, в то время, как ИСЗ серии SSR будут обеспечивать получение и передачу в наземный центр обработки изображений земной поверхности. Общая стоимость программы МЕСВ оценивается в 1 млрд долл., из которых около 280 млн долл., будут затрачены на разработку пяти спутников, а оставшиеся средства выделены на создание бразильской ракеты-носителя VLS (Veiculo Lancador de Satelites).

Космические аппараты сбора данных серии SCD (Satelites de Coleta de Dados) выводятся на орбиту высотой около 750 км с наклонением 25° и периодом обращения 100 мин. ИСЗ массой 115 кг выполнен в виде восьмиугольной призмы высотой 1 м и диаметром 0.7 м. Панели солнечных батарей, размещенные на боковых стенках и основаниях призмы, обеспечивают мощность, выдаваемую в нагрузку, до 60 Вт. В области тени электропитание обеспечивается никель-кадмиевой батареей емкостью 8 А ч. Спутник стабилизирован вращением со скоростью 120 оборотов в минуту вокруг оси, ориентация которой выбирается несовпадающей с направлением на Солнце, что позволяет избежать перегрева оснований ИСЗ. Стоимость одного космического аппарата серии SCD составляет 20 млн долл., расчетный срок активного функционирования — 2 года.

В качестве целевой аппаратуры на спутниках устанавливаются приемо-передатчики, обеспечивающие сбор, запись на борту ИСЗ и передачу на Землю информации с находящихся на территории Бразилии платформ геофизического мониторинга окружающей среды DCP (Data Collection Platform). Аналогичные приемо-передатчики устанавливаются на китайско-бразильских ИСЗ серии Cbers. Передача данных с наземных платформ на борт ИСЗ осуществляется на частотах 401.65 МГц и 401.62 МГц, причем первая из них совпадает с частотой, выделенной для системы сбора метеоинформации Argos, установленной на спутниках серии Noaa (п.4.1.1.13). Работа по каждому из двух указанных частотных каналов позволяет обслуживать одновременно до 200 наземных платформ (всего на территории Бразилии к концу 1992 г. было установлено около 20 платформ DCP).

Сброс информации в наземный центр обработки осуществляется на частотах 462.6 МГц и 2267 МГц.

Запуск космического аппарата SCD-1 был осуществлен 9 февраля 1993 г. ИСЗ SCD-2 планируется вывести на орбиту в 1997 г., дата запуска ИСЗ SCD-3 уточняется. Основной задачей, возложенной на ИСЗ этой серии, является сбор информации о состоянии природной среды в бассейне р.Амазонки и прилегающих тропических лесах. При этом с платформ DCP передаются данные о температуре и влажности воздуха, концентрации углекислого газа и озона, а также другая информация.

Космические аппараты дистанционного зондирования SSR (Satelites de Sensoriamento Remoto) выводятся на солнечно-синхронные орбиты высотой 640 км с наклонением 98°. Спутник будет иметь массу 170 кг, из них 20 кг отведено на запас гидразина, необходимый для проведения коррекций орбиты. Разворачиваемые панели солнечных батарей обеспечат мощность бортовой энергетической установки не менее 135 Вт.

Запуски космических аппаратов серии SSR запланированы на 1998-й и 2000 гг. На борту этих спутников будет установлена камера на ПЗС IIS, предназначенная, прежде всего, для контроля состояния растительного покрова.

Передача снимков будет осуществляться только над территорией Бразилии. Камера IIS разработана бразильской организацией ESCA (Engenharia de Sistemas de Controle e Automacao S/A) и имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.63–0.69 и 0.77–0.89 мкм;
- пространственное разрешение: 200 м;
- ширина полосы обзора: около 800 км;
- скорость передачи информации: 1.6 Мбит/с;
- масса камеры: 10 кг;
- потребляемая мощность: 15 Вт.

Ответственность за разработку космических аппаратов по программе МЕСВ, а также создание соответствующего наземного сегмента возложена на Национальный институт космических исследований Бразилии INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), находящийся в Sao Jose dos Campos. Открытие центра управления спутниками, расположенного в INPE, состоялось в сентябре 1989 г. Основная станция приема снимков со спутников серии SSR находится в Cuiaba. Информация с платформ DCP передается спутниками серии SCD на принадлежащую INPE станцию, расположенную в Cachoeira Paulista в 80 км к северо-западу от Sao Paulo.

2.6. КИТАЙСКО-БРАЗИЛЬСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ CBERS

Совместная китайско-бразильская система изучения природных ресурсов Земли CBERS (China/Brazil Earth Resources Satellite system, китайское название Ziyuan) предназначена для получения снимков земной поверхности с высоким и средним разрешением, контроля состояния околоземного космического пространства, а также сбора данных с наземных платформ геофизического мониторинга окружающей среды. Снимки, принимаемые с космических аппаратов системы CBERS, используются не только в интересах государственных организаций Китая и Бразилии, но и распространяются среди зарубежных потребителей. Ожидается, что эта продукция составит конкуренцию информации дистанционного зондирования, получаемой с использованием систем LANDSAT и SPOT.

Стоимость всего проекта CBERS оценивается в 150 млн долл. Около 30% средств внесено бразильской стороной, на долю которой отведена разработка широкоугольной камеры WFI (прототип этой камеры испытывается на спутниках MECB-SSR). Национальным институтом космических исследований Бразилии INPE разрабатываются приемо-передающая система сбора данных с платформ DCP, конструкция спутника, энергетическая, телеметрическая и командная бортовые подсистемы, а также вспомогательное наземное электронное оборудование. Китайская сторона обеспечивает запуск двух спутников серии Cbers при помощи ракетноситеелей CZ-4A (стоимость каждого запуска около 25 млн долл.). Создание камеры на ПЗС, являющейся основным прибором ДЗЗ космических аппаратов Cbers, возложено на китайский Радиотехнический институт Xian Institute of Radio Technology.

В соответствии с совместным китайско-бразильским проектом планировалось вывести на орбиту два аналогичных космических аппарата, причем первый ИСЗ будет обеспечивать получение данных преимущественно в интересах Китая, а второй — Бразилии. Запуск ИСЗ Cbers-1 с китайского полигона Taiyuan запланирован на начало 1998 г.

Очередной спутник этой серии планируется вывести на орбиту в 1998—1999 гг. Орбитальный сегмент системы CBERS базируется на околокруговых солнечно-синхронных орбитах высотой 778 км, наклонением 98.5° и местным временем пересечения экватора 10 ч 30 мин. Повторный пролет над заданным участком местности происходит каждые 26 суток (373 витка). Расчетный срок службы космических аппаратов составляет 2 года.

Космические аппараты Cbers массой около 1400 кг стабилизированы по трем осям и имеют размеры корпуса 1.8 x 2.2 x 2.2 м. Развертываемая на орбите панель солнечной батареи размером 6.3 x 2.3 м обеспечивает мощность, выдаваемую в нагрузку, 985 Вт. В качестве целевой аппаратуры на спутниках устанавливаются камера на ПЗС, многоспектральный сканер ИК-диапазона и широкоугольная камера WFI. Время передачи информации с этих приборов на зарубежные станции приема, участвующие в программе CBERS, не может превышать 20 мин. за один виток. Кроме того, на спутниках размещаются монитор космической среды SEM и приемо-ответчик сбора данных с платформ DCP (п.2.5).

Камера на ПЗС (CCD camera) предназначена в основном для съемки растительного покрова Земли и имеет конструкцию, подобную камерам типа HRV, устанавливаемым на спутниках серии Spot. Для записи изображений на борту космических аппаратов Cbers устанавливаются экспериментальные магнитофоны емкостью 40 Гбит со скоростью записи 53 Мбит/с. В целом камера имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.51—0.71 мкм (панхроматический), 0.45—0.52, 0.52—0.59, 0.63—0.69 мкм (видимый участок спектра), 0.77—0.89 мкм (ближний ИК);
- пространственное разрешение в надире: 10 м (в панхроматическом диапазоне), 19.5 м (в видимых диапазонах), 80 м (в ближнем ИК диапазоне);
- геометрические искажения изображения: не более 0.3 пиксела;
- радиометрическая точность: при кодировании изображения используется 512 уровней квантования;
- ширина полосы обзора: 113 км;
- период повторного просмотра заданного участка в режиме отклонения камеры от направления в надир: 3 суток;
- скорость передачи информации: 2 x 53 Мбит/с.

Многоспектральный сканер ИК-диапазона IRMSS (Infra-Red Multi-Spectral Scanner) имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.50—1.1 мкм (видимый участок спектра), 1.55—1.75 мкм (ближний ИК), 2.08—2.35 мкм (коротковолновый ИК), 10.4—12.5 мкм (тепловой ИК);
- пространственное разрешение: 156 м (в тепловом ИК диапазоне), 77.8 м (в остальных диапазонах);
- радиометрическая точность: при кодировании изображения используется 512 уровней квантования;
- ширина полосы обзора 120 км;
- размеры стандартного снимка: 120 км x 778 км;
- периодичность повторного просмотра заданного участка: 26 суток;
- скорость передачи информации: 6.13 Мбит/с.

Широкоугольная камера WFI (Wide Field Imager) предназначена для съемки земной поверхности с 4-дневной периодичностью:

- рабочие диапазоны: 0.63—0.69 и 0.77—0.89 мкм;
- пространственное разрешение: 258 м;
- радиометрическая точность: при кодировании изображения используется 512 уровней квантования;
- ширина полосы обзора: 890 км;
- скорость передачи информации при сжатии на борту с коэффициентом 8/6: 1.1 Мбит/с.

Монитор космической среды SEM (Space Environment Monitor) представляет собой комплекс датчиков, установленных внутри корпуса ИСЗ

и обеспечивающих измерение характеристик потока протонов и электронов (с диапазоном энергий 0.5–4 МэВ), а также потока заряженных частиц (с диапазоном энергий 1–40 кэВ). Скорость передачи информации с прибора SEM составляет 160 бит/с.

Передача информации с борта ИСЗ Cbers осуществляется в X-диапазоне частот (8103–8321 МГц) при помощи двух передатчиков. Первый передатчик оснащен двумя усилителями на ЛБВ мощностью 20 Вт и предназначен для сброса цифровых данных камеры на ПЗС со скоростью 2 x 53 Мбит/с с использованием квадратурной фазовой манипуляции. Второй передатчик имеет выходную мощность 8 Вт (использован твердотельный параметрический усилитель) и предназначен для передачи суммарного цифрового потока со скоростью около 8 Мбит/с, образованного путем уплотнения данных сканера IRMSS и камеры WFI.

2.7. РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ НА БАЗЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «РЕСУРС-О»

2.7.1. *Общая характеристика программы «Ресурс-О»*

Российские космические аппараты серии «Ресурс-О» оснащаются аппаратурой высокого и среднего разрешения, обеспечивающей съемку поверхности Земли в нескольких спектральных диапазонах. В настоящее время информационные возможности отечественной системы на базе ИСЗ «Ресурс-О» сопоставимы с возможностями американской системы ДЗЗ LANDSAT. Разработка и создание космических аппаратов серии «Ресурс-О» осуществляются во ВНИИ Электромеханики (Москва).

Отдельные приборы дистанционного зондирования, методики обработки и интерпретации поступающей информации, а также особенности практического применения спутников первого поколения «Ресурс-О1» отрабатывались на космических аппаратах серии «Метеор-Природа». Основным отличием спутников типа «Ресурс-О1» от своих предшественников является возможность передачи с борта ИСЗ цифровых изображений, благодаря чему потребителям стали доступны не только многозональные фотографии земной поверхности, но и оцифрованные снимки на магнитных лентах.

Орбитальный сегмент системы состоит из одного космического аппарата, находящегося в оперативном использовании. Первый оперативный ИСЗ «Ресурс-О1–2» (Космос-1939) был запущен 20 апреля 1988 г. с полигона Тюратам и выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 617 x 660 км с наклонением 97.97°. Очередной ИСЗ этой серии «Ресурс-О1–3» был успешно выведен на орбиту 4 октября 1994 г. ракетой-носителем «Зенит-2» и до настоящего времени является оперативным космическим аппаратом системы. Запуск ИСЗ «Ресурс-О1–4» запланирован на конец 1997 — начало 1998 г.

Спутники серии «Ресурс-О1» (рис.2.22) выполняются на базе платформы космического аппарата «Метеор-3», имеют увеличенный до 3–5

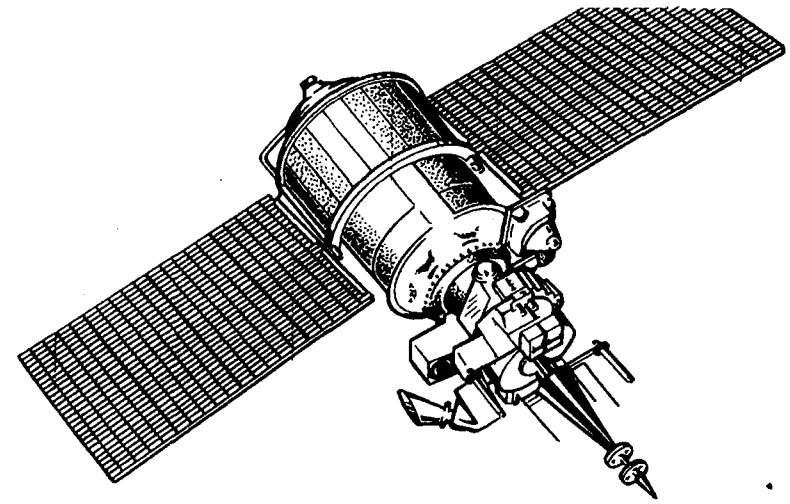


Рис.2.22. Космический аппарат серии «Ресурс-О1».

лет срок активного существования и приспособлены для проведения съемки с орбит различной высоты. Масса ИСЗ составляет 1900 кг, из которых 500 кг приходится на полезную нагрузку. Спутники стабилизированы по трем осям, их высота составляет около 5 м, а размах панелей солнечной батареи достигает 10 м. Система энергообеспечения ИСЗ имеет среднюю мощность, выдаваемую в нагрузку, около 500 Вт.

2.7.2. *Аппаратура дистанционного зондирования космических аппаратов серии «Ресурс-О»*

Бортовой информационный комплекс космического аппарата серии «Ресурс-О1» предназначен для получения, формирования, уплотнения и передачи на наземные пункты приема информации дистанционного зондирования, полученной в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. В состав бортового информационного комплекса входят бортовая измерительная аппаратура (БИА) и бортовая информационная система (БИС). В свою очередь, БИА включает:

- моноблок из двух многозональных оптико-электронных сканирующих устройств высокого разрешения МСУ-Э, установленных на общей поворотной платформе;
- два комплекта многозонального оптико-механического сканирующего устройства среднего разрешения с конической разверткой МСУ-СК.

2.7.2.1. Многозональные сканирующие устройства высокого разрешения МСУ-Э устанавливаются попарно на общей поворотной платформе. При съемке водных поверхностей предусмотрена возможность отклонения общей платформы на угол 39°, что позволяет изменять угол визирования и выбирать оптимальный режим наблюдения.

Одна камера МСУ-Э включает три твердотельных 1000-элементных линейки ПЗС-фотоприемников, причем каждая линейка работает в своем спектральном диапазоне. Камера МСУ-Э имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.5–0.6, 0.6–0.7 и 0.8–0.9 мкм;
- пространственная разрешающая способность в надире: 45 м (поперек направления полета), 34 м (вдоль направления полета);
- радиометрическая точность: 256 уровней квантования сигнала;
- ширина полосы обзора: 45 км;
- угол отклонения сектора обзора в направлении, перпендикулярном трассе ИСЗ: ±30° с дискретностью 2°, благодаря чему ширина суммарной просматриваемой полосы увеличивается до 800 км, а также обеспечивается возможность стереоскопической съемки выбранных объектов при пролете на последовательных витках;
- скорость сканирования: 200 строк/с;
- потребляемая мощность: 150 Вт;
- масса прибора: 27 кг.

Предусмотрены два основных режима передачи информации с камер МСУ-Э: передача данных полного пространственного разрешения с одной камеры (детальный режим), либо передача данных с обеих камер, но с ухудшенным вдвое пространственным разрешением (обзорный режим, в котором передается каждая вторая строка детального изображения). В обзорном режиме обеспечивается просмотр полосы шириной не менее 80 км, образующейся за счет объединения полос обзора двух камер с 10-км перекрытием.

2.7.2.2. Многозональное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-СК обеспечивает дистанционное определение температуры подстилающей поверхности по измерениям уходящего ИК-излучения в окне прозрачности атмосферы. В приборе реализован принцип конического сканирования, заключающийся в перемещении визирного луча по поверхности конуса с осью, направленной в надир. Устройство МСУ-СК имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.5–0.6, 0.6–0.7, 0.7–0.8, 0.8–1.1 мкм (видимые и ближние ИК участки спектра) и 10.4–12.6 мкм (тепловой ИК участок);
- пространственное разрешение: 140 м (в видимом и ближних ИК участках), 550 м (в тепловом ИК участке);
- радиометрическая точность: 256 уровней квантования сигнала;
- ширина полосы обзора: 600 км;
- скорость сканирования: 12.5 строк/с;
- максимальная потребляемая мощность: 295 Вт;
- масса прибора: 56 кг.

В перспективе планируется запуск космических аппаратов второго поколения типа «Ресурс-О2», на которых будут устанавливаться сканирующие устройства МСУ-Э1, МСУ-СК и микроволновый зондировщик МИВЗА-М.

2.7.2.3. Основным отличием усовершенствованного сканера МСУ-Э1 от предыдущего образца МСУ-Э является улучшенное до 25 м пространственное разрешение. Остальные характеристики прибора планируется оставить без изменений.

2.7.2.4. Устройство микроволнового зондирования атмосферы МИВЗА-М будет обеспечивать определение общего содержания влаги в атмосфере. Устройство будет работать на частотах 20, 35 и 94 ГГц и обеспечивать пространственное разрешение 80, 55 и 20 км, соответственно. Съемка будет вестись в полосе обзора шириной 1500 км.

2.7.3. ***Особенности передачи информации со спутников серии «Ресурс-О1»***

Установленное на космическом аппарате типа «Ресурс-О1» бортовое запоминающее устройство обеспечивает многодорожечную высокоплотную запись информации на магнитную ленту в течение 6–6.5 мин в виде двух цифровых потоков с общей скоростью 7.68 Мбит/с и вероятностью искажения символа не более 10^{-4}. Воспроизведение зарегистрированных данных осуществляется с той же скоростью и в том же формате, что и при записи.

Передача зарегистрированных изображений или изображений, полученных в реальном масштабе времени, осуществляется по радиолинии сантиметрового диапазона волн (*табл.2.10*) в следующих основных режимах:

- передача детальных снимков, полученных одной камерой МСУ-Э в трех спектральных диапазонах;
- передача снимков, полученных камерой МСУ-СК в четырех спектральных диапазонах;
- одновременная передача обзорных снимков, полученных двумя камерами МСУ-Э в трех спектральных диапазонах.

Таблица 2.10

Характеристики радиолинии передачи информации с ИСЗ серии «Ресурс-О1»

Наименование параметра радиолинии	Значение параметра
несущая частота	8.0–8.5 ГГц
ширина спектра передаваемого сигнала	7 МГц
выходная мощность передатчика	10 Вт
вид модуляции	ДОФМ
коэффициент усиления передающей антенны:	
в направлении 26° от надира	1.3
в направлении 80° от надира	0.2
поляризация передающей антенны	правая круговая
максимальный коэффициент эллиптичности	0.65
энергетический запас в радиолинии при максимальной дальности	4 дБ
скорость передачи информации	7.68 Мбит/с
гарантированная вероятность ошибки на 1 бит информации	10^{-5}

Во всех режимах работы передача видеоинформации со сканирующих устройств сопровождается передачей вспомогательной телеметрической информации, которая используется как для оперативного контроля некоторых параметров аппаратуры бортового измерительного комплекса, так и для пространственной привязки, геометрической и фотометрической коррекции видеоинформации при ее вторичной обработке на средствах потребителя.

Прием и регистрация данных дистанционного зондирования, передаваемых космическими аппаратами серии «Ресурс-О», осуществляется в Главном (Обнинск) и региональных (Новосибирск и Хабаровск) центрах приема, регистрации и первичной обработки данных Росгидромета, а также при помощи персональных станций приема информации ДЗЗ (гл. 10).

3 КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОСНАЩЕННЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРОЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

При активном радиолокационном зондировании природной среды используются три основные типа приборов: высотомеры, скаттерометры и радиолокационные системы бокового обзора с реальной и синтезированной апертурой.

Радиолокационные высотомеры применяются для измерения высотного профиля подстилающей поверхности с точностью 2–8 см и могут быть использованы для получения информации о морском геоиде, гравитационных аномалиях, высоте волн, скорости ветра, уровнях приливов, скорости поверхностных течений, ледовом покрове и неоднородностях его поверхности, а также о любых других процессах, которые приводят к изменениям среднего уровня или состояния поверхности моря /34, 36/.

Принцип действия скаттерометров (измерителей характеристик рассеяния) основан на зависимости абсолютной величины удельной эффективной площади рассеяния морской поверхности и уровня ее анизотропии в азимутальной плоскости от скорости и направления приводного ветра. Основным назначением спутниковых скаттерометров является определение синоптического поля ветра, что принципиально не требует высокого разрешения по координатам. Приборы такого типа создаются на основе РЛС с непрерывным излучением, что позволяет обеспечить достаточно высокий энергетический потенциал при малой излучаемой мощности и осуществлять селекцию отраженных сигналов по доплеровскому сдвигу частоты.

Радиолокационные системы бокового обзора (РЛС БО) относятся к числу наиболее универсальных и информативных датчиков дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне. При этом различают некогерентные радиолокационные системы, азимутальная (вдоль трассы ИСЗ) разрешающая способность которых определяется размерами реальной апертуры антенны, а также РЛС с синтезированием апертуры, в которых высокая разрешающая способность достигается за счет когерентной обработки отраженных сигналов, принимаемых по мере движения спутника по орбите. Преимуществом некогерентных РЛС БО являются

широкая полоса обзора, разрешение в которой не зависит от состояния (изменчивости) зондируемой поверхности, сочетающаяся с относительной простотой как самого радиолокатора, так и системы обработки информации. В то же время, радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенны (РСА) позволяют получать значительно более высокое азимутальное разрешение при съемке геофизических объектов, положение которых остается неизменным на периоде когерентного накопления отраженных сигналов.

Пространственная разрешающая способность радиолокационной аппаратуры ДЗЗ (10–100 м для РСА и 1–2 км для некогерентных РЛС БО) сопоставима с разрешением оптических систем. Информативность радиолокационных изображений Земли зависит от энергетического потенциала и разрешающей способности РЛС, от полноты измерения поляризационных характеристик рассеяния наблюдаемых геофизических объектов, а также от структуры зондируемой поверхности и ее электрофизических характеристик. В то же время, качество радиолокационной съемки не зависит от условий освещенности поверхности Земли и наличия облачного покрова, что выгодно отличает эти системы от средств дистанционного зондирования в видимом диапазоне спектра. Кроме того, с использованием РЛС БО могут быть получены изображения земной поверхности, скрытой растительным покровом, а также определены диэлектрические свойства поверхностного слоя.

Необходимо отметить также, что сложность и стоимость разработки радиолокационных систем космического базирования, особенно РСА, как правило, превосходит соответствующие показатели для других приборов дистанционного зондирования. В результате космические платформы, оснащенные бортовыми радиолокаторами, являются наиболее дорогостоящими, крупногабаритными и массивными спутниками среды всех аппаратов ДЗЗ, а целевое назначение спутника определяется прежде всего возможностями его радиолокационной системы. Это в полной мере относится к рассмотренным в настоящей главе зарубежным (ERS, Envisat, JERS, Alos, RADARSAT) и отечественной («АЛМАЗ») космическим системам, и именно по этой причине российский многофункциональный модуль «Природа», оснащенный наряду с прочей аппаратурой дистанционного зондирования радиолокатором «Траверс», помещен в эту главу.

3.1. ЕВРОПЕЙСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ERS

Работы по программе ERS (European Remote Sensing satellite) начаты Европейским космическим агентством ESA в 1981 г. Первый космический аппарат Ers-1 был запущен в 1991 г. и с тех пор осуществляется всепогодная, глобальная и систематическая съемка земной поверхности с целью уточнения прогнозов погоды на основе измерения направления ветра и температуры морской поверхности, картирования ледяных покровов, выявления зон загрязнения морской поверхности, контроля состояния прибрежных зон и решения других, прежде всего океанографических, задач. Кроме того, ИСЗ Ers могут быть использованы для получения информации ДЗЗ в интересах сельского и лесного хозяйства, проведения геологических изысканий, а также в ряде других приложений. Структура системы ERS представлена на рис.3.1.

Головным разработчиком ИСЗ Ers является компания Dornier (Германия), кроме того, в создании космического аппарата участвовали фирмы Matra (корпус ИСЗ, Франция), Marconi Space Systems (радиолокационная система AMI, Великобритания), Alenia Spazio (радиовысотомер RA, Италия), Laben (бортовой комплекс обработки информации ДЗЗ, Италия), Contraves (несущая конструкция полезного модуля, Швейцария), Fokker (оборудование терморегулирования полезного модуля, кабельные соединения, Германия), Aerospatiale (панель солнечной батареи и лазерные отражатели, Франция), British Aerospace (прибор ATSR, Великобритания), INS (аппаратура PRARE), ETCA (система электропитания, Бельгия), MDA (наземное оборудование, Канада).

Затраты на финансирование программы ERS распределяются следующим образом, %: Германия — 24, Франция — 18.31, Великобритания — 13.34, Италия — 10.61, Канада — 9.1, Нидерланды — 5, Швеция — 3.9, Бельгия — 3.72, Испания — 2, Дания — 1.99, Швейцария — 1.7, Норвегия — 1.5. Тем не менее, относительно свободный доступ к информации, поступающей с космических аппаратов серии Ers, не ограничивается лишь европейскими странами. Так, право на использование передаваемых матермалов космической съемки получено американцами в 1986 г., когда было достигнуто соглашение об использовании станции NASA в Fairbanks для приема информации ДЗЗ в интересах решения различных научных задач национального космического агентства США с последующей передачей полученных данных ESA. С 1991 г. существует договоренность между ESA и японским космическим агентством NASDA о взаимном доступе к космическим аппаратам Ers и Jers.

3.1.1. *Орбитальный сегмент системы ERS*

В состав орбитального сегмента системы ERS входит один ИСЗ на круговой солнечно-синхронной орбите. Местное время пересечения экватора в восходящем узле орбиты спутника составляет 10 ч 30 мин, а в нисходящем — 22 ч 30 мин. На время орбитальных испытаний (первые три месяца

полета) период повторного пролета спутника над одним и тем же участком местности устанавливается равным трем суткам (43 витка), а затем используется 3-суточный период (при исследовании ледового покрова в полярных широтах), 35-суточный период (при глобальном наблюдении поверхности Земли с использованием аппаратуры AMI), либо 176-суточный период (при глобальных измерениях с использованием высотомера RA).

Стоимость разработки и постройки ИСЗ Ers-1 оценивается в сумму около 700 млн долл. В настоящее время космические аппараты типа Ers считаются наиболее сложными и дорогостоящими среди существующих спутников данного класса.

3.1.1.1. Космический аппарат Ers-1 выведен на орбиту 17 июля 1991 г. французской ракетой-носителем Ariane-4 с полигона Kourou (Фр.Гвиана). Орбита имела высоту 782 x 785 км, наклонение 98.5° и период обращения 100.465 мин. Планируемый срок активного существования ИСЗ составлял 3–4 года, вплоть до запуска следующего космического аппарата этой системы. Первое изображение поверхности Земли с ИСЗ Ers-1 было передано 27 июля 1991 г., а практическое использование спутника было начато в январе 1992 г. При этом только за первый год эксплуатации было получено более 10 тыс. радиолокационных изображений земной поверхности.

Конструкция ИСЗ Ers-1 показана на рис.3.2. Корпус космического аппарата выполнен на основе универсального модуля фирмы Matra, использовавшегося при создании ИСЗ Spot первого поколения. Платформа высотой 11.8 м была стабилизирована по трем осям с точностью 0.1–0.15°. Масса спутника в начале срока активного существования составляла 2384 кг, из них 1100 кг приходилось на полезную нагрузку, а запас гидразина достигал 317.6 кг.

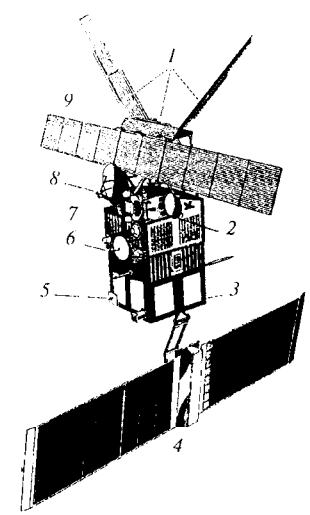


Рис.3.2. Космический аппарат Ers-1:

1 — антенны трехлучевого скаттерометра комплекса AMI
2 — экспериментальный комплекс ATSR
3 — аппаратурная платформа
4 — панель солнечной батареи
5 — аппаратура PRARE
6 — антенна передачи данных с высоким коэффициентом усиления
7 — модуль размещения электронного оборудования полезной нагрузки
8 — антенна радиолокационного высотомера RA
9 — антенна, используемая при работе комплекса AMI в режимах с синтезированием апертуры

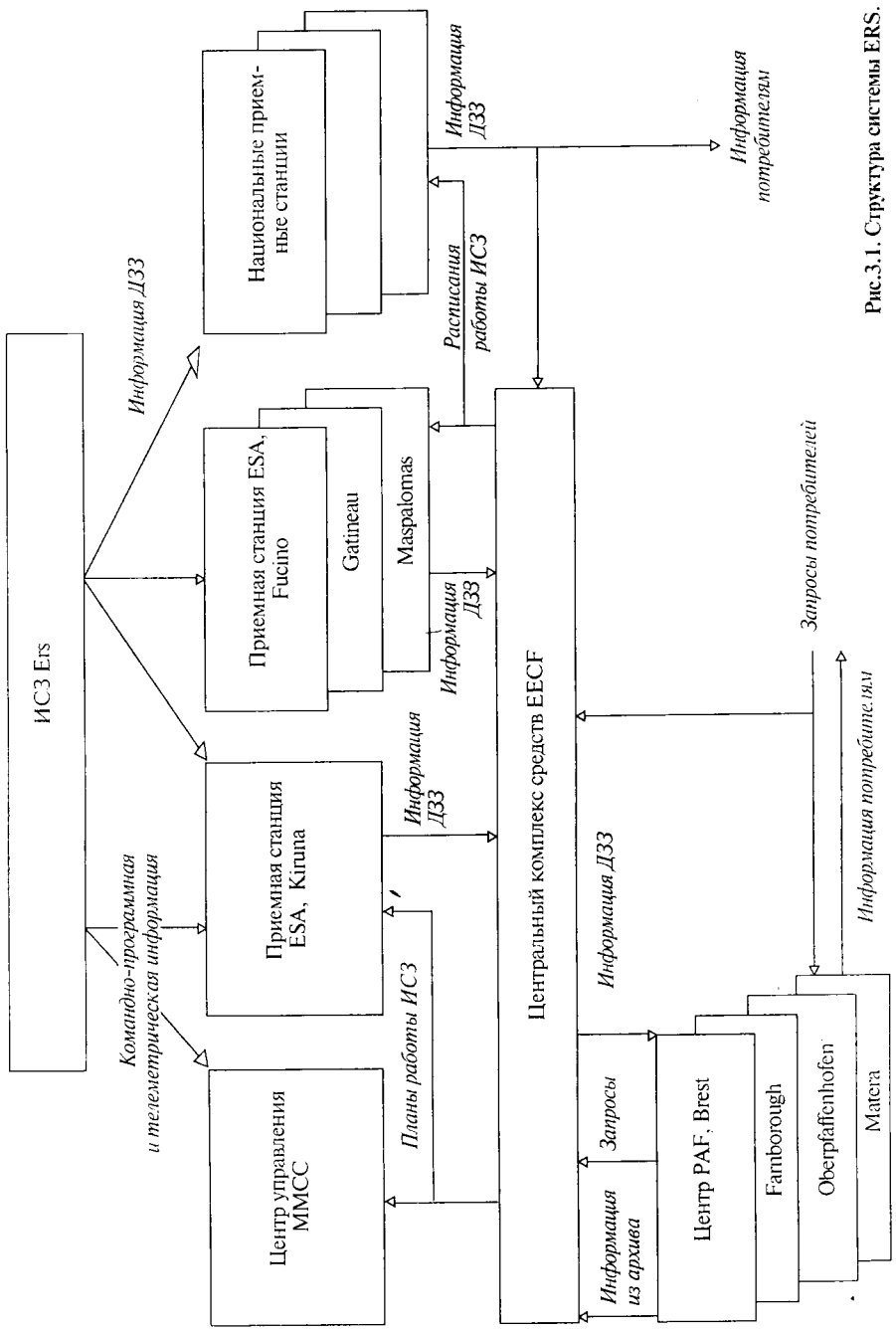


Рис.3.1. Структура системы ERS.

В состав бортовой энергетической установки спутника входили панели солнечной батареи размером 2.4 x 5.8 м (общий размах панелей — 11.7 м, суммарное число фотоэлементов — 22260), а также четыре никель-кадмиевые батареи французской фирмы SAFT емкостью 24 А·ч каждая. Гарантируемая мощность, выдаваемая в нагрузку, составляет 2.2 кВт после двух лет эксплуатации ИСЗ.

В качестве основной зондирующей аппаратуры на космическом аппарате Ers-1 были использованы аппаратура микроволнового зондирования AMI (Active Microwave Instrument), радиолокационный высотомер RA (Radar Altimeter), а также экспериментальный комплекс ATSR (Along-Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder), в состав которого входят сканирующий радиометр и устройство микроволнового зондирования. Дополнительно на спутнике был установлен прецизионный дальномер PRARE (Precise Range and Rate Equipment).

3.1.1.2. Космический аппарат Ers-2 был выведен на орбиту высотой 798 x 782 км, с наклонением 98.54° и периодом обращения 100.67 мин Запуск состоялся 21 апреля 1995 г. с полигона Kourou при помощи ракеты-носителя Ariane-4. Расчетный срок активного существования спутника составляет 3 года, при этом на смену ИСЗ Ers-2 планируется Envisat-1.

В состав бортовой аппаратуры второго космического аппарата типа Ers дополнительно включен экспериментальный прибор для исследования озонового слоя GOME (Global Ozone Monotoring Experimental), а вместо комплекса ATSR использован усовершенствованный датчик ATSR-2.

В разработке и создании этого космического аппарата участвовали организации, традиционные для программы ERS. Дополнительно были привлечены фирмы Officine Galileo (прибор GOME), Schrack (усовершенствованный радиометр в составе ATSR-2), а также Saab (разработка запоминающего устройства для бортовой ЭВМ взамен устаревшего образца, использовавшегося на Ers-1).

3.1.2. ***Целевая аппаратура космических аппаратов Ers***

3.1.2.1. Аппаратура микроволнового зондирования AMI (Active Microwave Instrument) устанавливается на обоих космических аппаратах Ers-1,2 и обеспечивает три различных режима работы.

1. Режим построения радиолокационных изображений подстилающей поверхности с использованием синтезирования апертуры антенны (AMI-SAR image mode) применяется при наблюдении береговой зоны и полярных льдов, определении состояния морской поверхности, выявлении особенностей геологического строения земной поверхности, изучении растительного и лесного покровов, при решении различных гидрологических задач и проведении интерферометрических измерений. При этом аппаратура AMI имеет следующие характеристики:

- излучаемая мощность: 1270 Вт;
- частота излучения: 5.3 ГГц;
- ширина спектра излучаемых сигналов: 15.5 ±0.06 МГц;
- поляризация излучаемых и принимаемых волн: вертикальная линейная;

- длительность импульса: 37.1 мкс;
- пространственное разрешение: 30 м;
- точность определения высоты наземных объектов при интерферометрических измерениях: 10 м;
- радиометрическое разрешение: 2.5 дБ (при пространственном разрешении 30 м) и 1 дБ (при пространственном разрешении 100 м), на кодирование каждого отсчета отводится 16-битное слово;
- ширина полосы сканирования: 100 км при угле падения излучаемых ЭМВ на поверхность Земли 23° в центре полосы обзора;
- скорость передачи информации: 105 Мбит/с, сброс данных осуществляется по радиоканалу в реальном масштабе времени, время передачи при этом не превышает 10 мин за один виток, из них не более 2 мин в тени Земли.

2. Режим изучения морских волн с использованием синтезирования апертуры антенны (AMI-SAR wave mode), обеспечивающий определение направления и длины морских волн. Данный режим программно включается каждые 200–300 км, обеспечивая получение изображений размером 6 x 6 км, по которым могут быть определены требуемые характеристики морских волн. Параметры аппаратуры AMI в этом режиме следующие:

- излучаемая мощность: 540 Вт;
- частота излучения: 5.3 ГГц;
- поляризация излучаемых и принимаемых волн: вертикальная линейная;
- точность измерения длины волны: ±25% в диапазоне 100–1000 м;
- точность определения направления волн: ±20° в диапазоне от 0 до 180°, неопределенность определения направления составляет 180°;
- скорость передачи информации: 370 кбит/с.

3. Режим трехлучевого скаттерометра (AMI Scatterometer mode), предназначенный для определения характеристик приповерхностных морских ветров. В данном режиме три передающие антенны (размеры средней — 0.35 x 2.3 м, носовой и кормовой — 0.25 x 3.6 м) формируют три луча, сканирующие в полосе шириной до 500 км, обеспечивая определение направления и скорости ветра. Элементы разрешения размером 50 x 50 км формируются с интервалом 25 км. Характеристики AMI при этом следующие:

- излучаемая мощность: 540 Вт;
- частота излучения: 5.3 ГГц;
- точность определения скорости ветра: ±2 м/с или 10% в диапазоне 2–24 м/с;
- точность определения направления ветра: ±20° в диапазоне 0–360°;
- угол падения лучей изменяется в пределах 27–58°, обеспечивая полосу обзора шириной 500 км;
- скорость передачи информации: 500 кбит/с.

Во всех трех режимах полоса обзора аппаратуры AMI смещена относительно трассы ИСЗ вправо по ходу движения.

3.1.2.2. Радиолокационный высотомер RA (Radar Altimeter), устанавливаемый на спутниках серии Ers, используется для определения скорости ветра, измерения характерной высоты волн, топографирования морской поверхности, ледяного покрова и поверхности суши, для построения контуров ледяных массивов, а также для выявления границ морских льдов. Диаметр передающей антенны высотомера RA составляет 1.2 м, излучение осуществляется на частоте 13.8 ГГц, при этом формируется луч шириной 1.3°. Пределы измерения высоты составляют 745–825 км. В зависимости от характера решаемых задач высотомер может работать в двух режимах.

В режиме исследования океана (Ocean Mode) высотомер имеет следующие характеристики:

- ширина спектра излучения: 330 МГц;
- точность измерения скорости волн: 2 м/с при точности определения значения коэффициента обратного рассеяния 0.5 дБ;
- точность измерения высоты волн 0.5 м или 10% в диапазоне 1–20 м в пределах пятна размером 1.6–2.0 км.
- точность определения высоты подъема поверхности моря: 10 см с разрешением 2 см.

Режим определения характеристик ледяного покрова (Ice Mode) предполагает работу высотомера с более низким пространственным разрешением (около 7 км) и преимущественно используется при топографировании ледяных покровов, определении типа льда и выявления границ ледяного покрова. Ширина спектра излучения составляет при этом 82.5 МГц.

Для проведения периодических уточнений параметров орбиты, а также для калибровки радиолокационного высотомера на космических аппаратах Ers устанавливаются лазерные уголковые отражатели.

3.1.2.3. Экспериментальный комплекс ATSR (Along-Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder) космического аппарата Ers-1, включает 4-канальный ИК-радиометр (разработка Великобритания-Австралия) и двухканальное микроволновое устройство вертикального зондирования (Франция). Радиометр инфракрасного диапазона предназначен для измерения температуры поверхности моря и суши, температуры верхушек облаков и облачного покрова и имеет следующие характеристики:

- длина волны принимаемого излучения: 1.6, 3.7, 11 и 12 мкм;
- радиометрическое разрешение при измерении температуры поверхности моря в пределах квадратного участка 50 x 50 км (0.5° x 0.5° по широте и долготе): не хуже 0.5 К, при этом считается, что плотность облачного покрова составляет не более 80%;
- точность определения температуры поверхности суши: 0.1 К;
- пространственное разрешение при коническом сканировании в пределах полосы шириной 500 км: 1 x 1 км (мгновенное поле зрения в надире).

Микроволновое устройство зондирования обеспечивает поступление информации ДЗЗ о содержании аэрозолей в земной атмосфере, концентрации водяного пара и облачных капель, а также состоянии растительного покрова Земли. Получаемые данные используются также в качестве корректирующей информации для ИК-радиометра ATSR, работающего в режиме измерения температуры поверхности моря, и высотомера RA. Технические характеристики микроволнового устройства комплекса ATSR следующие:

- рабочие частоты: 23.8 и 36.5 ГГц;
- ширина спектра принимаемых сигналов: 400 МГц;
- точность определения вертикального профиля концентрации водяного пара в пределах пятна размером 20–25 км: 10%.

3.1.2.4. На ИСЗ Ers-2 установлен усовершенствованный комплекс ATSR-2, в радиометре которого дополнительно предусмотрены 4 диапазона видимого и ближнего ИК участков спектра: 0.65, 0.85, 1.27 и 1.6 мкм. В целом характеристики и особенности функционирования комплекса остались прежними. Скорость передачи информации ATSR-2 составляет 1 Мбит/с.

3.1.2.5. Спектрометр GOME (Global Ozone Monotoring Experiment), установленный на космическом аппарате Ers-2, используется для построения вертикальных профилей концентрации озона (O_3) и малых газовых компонентов (NO, NO_2, BrO, H_2O, O_2/O_4) в тропосфере и стратосфере, измерения потоков солнечного излучения, отражаемого поверхностью Земли и рассеиваемого атмосферой. В приборе GOME используется система DOAS (Differential Optical Absorbtion Spectroscopy), в основу которой положен стандартный метод регистрации обратного рассеяния солнечного излучения, который ранее применялся на ИСЗ Nimbus-7.

Прибор имеет массу 50 кг, потребляемая мощность достигает 45 Вт в режиме штатного функционирования. В состав спектрометра входят 4 детектора, работающие в спектральных диапазонах 0.24–0.295, 0.29–0.405, 0.4–0.605 и 0.59–0.79 мкм. Каждый детектор представляет собой решетку из 1024 фотодиодов, температура которых поддерживается в пределах 39–41°С при помощи охладителей на эффекте Пельтье. Калибровка детекторов осуществляется по внутреннему источнику, по Луне и по Солнцу.

Вертикальное разрешение при определении концентрации озона O_3 составляет 5 км. Угол сканирования и время интегрирования изменяются в пределах от ±2° до ±31° и от 0.1 до 3000 с, соответственно. При этом ширина полосы обзора изменяется от 120 до 960 км, а горизонтальное разрешение — от 40 x 40 км до 40 x 320 км. Скорость передачи информации прибора GOME составляет 40 кбит/с.

3.1.2.6. Аппаратура PRARE (Precise Range and Rate Equipment) устанавливается на ИСЗ Ers и обеспечивает определение параметров орбиты спутника путем одновременной передачи двух сигналов, модулированных псевдослучайной последовательностью, на сеть мобильных наземных станций. Сигналы передаются на частотах 2.248 и 8.489 ГГц, мощность бортового передатчика при этом составляет 1 Вт. На наземной станции, оснащенной антенной диаметром 60 см, определяются запаздывание и доплеровский сдвиг принимаемых сигналов, причем измеренная разница во временах прихода сигналов S- и X-диапазонов позволяет осуществлять ионосферную коррекцию. Полученные таким образом данные о дальности до ИСЗ и его радиальной скорости передаются обратно на

борт спутника по радиолинии X-диапазона частот (около 7.2 ГГц) при помощи передатчика мощностью 2 Вт. Данные системы PRARE формируются со скорость около 4 кбит/с, накапливаются в специальном бортовом ЗУ емкостью 512 кбайт, а затем сбрасываются при пролете в зоне соответствующего пункта приема информации. Точность определения наклонной дальности до ИСЗ составляет 4–8 см.

Контракт стоимостью в 5 млн марок ФРГ на построение 20–30 мобильных ответчиков, входящих в наземную сеть станций, обеспечивающих работу аппаратуры PRARE, был выдан фирме Dornier в апреле 1989 г. На космическом аппарате Ers-1 аппаратура PRARE вышла из строя уже через 3 недели функционирования на орбите. С учетом этого ИСЗ Ers-2 был оснащен усовершенствованной аппаратурой определения параметров орбиты с резервным блоком и устойчивыми к воздействию радиации управляющим процессором и запоминающим устройством.

3.1.3. *Характеристики радиолиний передачи данных с космических аппаратов Ers*

Информация с аппаратуры AMI, работающей в режиме построения радиолокационных изображений (AMI-SAR image mode), передается на частоте 8.14 ГГц только в реальном масштабе времени со скоростью 105 Мбит/с.

Информация со всей зондирующей аппаратуры космического аппарата Ers, за исключением радиолокационной, объединяется в цифровой поток со скоростью около 1.1 Мбит/с и передается на Землю на частоте 8.04 ГГц, либо регистрируется на бортовой магнитофон для последующего воспроизведения в зоне радиовидимости заданной станции приема информации со скоростью 15 Мбит/с и передачи на той же частоте.

3.1.4. *Наземный сегмент системы ERS*

В состав наземного сегмента системы ERS входят следующие элементы (рис.3.1).

1. Центральный комплекс средств системы EECF (Esrin Ers Central Facility) института космических исследований ESRIN (European Space Research Institute), расположенный в Frascati (Италия), обеспечивающий организацию работы системы ERS, включая прием и обобщение запросов потребителей, планирование работы ИСЗ, обработку и распределение данных, а также контроль за качеством получаемой продукции.

2. Центр управления MMCC (Mission Managment and Control Centre) при Европейском центре обеспечения космических операций ESOC (European Space Operations Centre, Darmstadt, Германия), осуществляющий непосредственную передачу командно-программной информации и прием телеметрии с космических аппаратов Ers.

3. Основные приемные станции системы ERS, принадлежащие ESA и расположенные в Fucino (Италия), Gatineau (Канада), Maspalomas (Испания) и Kiruna (Швеция). При приеме информации с полярноорбитальных ИСЗ Ers наиболее выгодной зоной радиовидимости обладает станция в Kiruna, благодаря чему она также используется для закладки команд на борт ИСЗ и приема телеметрии, а также приема специальной информации в реальном масштабе времени и в режиме воспроизведения

с бортового магнитофона. Станция в Fucino используется для приема в режиме непосредственной передачи информации, полученной в зоне средиземноморья. Станции в Gatineau и Maspalomas осуществляют прием предварительно зарегистрированной низкоскоростной информации.

4. Центры обработки и архивирования данных PAF (Processing and Archiving Facility), расположенные в Brest (Франция), Farnborough (Великобритания, EODC — Earth Observation Data Center, создан в 1989 г.), Oberpfaffenhofen (Германия, Национальное агентство аэрокосмических исследований DFVLR) и Matera (Италия), в которых осуществляется длительное хранение первичных материалов, изготовление и рассылка продукции, оценка качества работы и калибровка бортовой аппаратуры ИСЗ, обеспечение каталогизации и наиболее полного использования получаемой информации. Центры PAF взаимодействуют с комплексом EECF с целью обновления данных ДЗЗ и выполнения пользовательских запросов.

5. Национальные станции приема данных, передаваемых с ИСЗ. Всего было запланировано создать порядка 25 приемных станций на базе вновь построенных и функционирующих в системах LANDSAT и SPOT пунктов. К 1996 г. приемные станции системы ERS были развернуты в Tromso (Норвегия), Prince Albert (Канада), Aussaguel (Франция), West Freugh (Великобритания), O'Higgins (Германия, Антарктида), Fairbanks (США), Libreville (DFVLR, Германия), Cito (Эквадор), Hyderabad (Индия), Alice Springs (Австралия), Hobart (Австралия), Kumamoto (Япония), Hatoyama (Япония), Syowa (Япония, Антарктида), Cuiaba (Бразилия), Bangkok (Таиланд), Riyadh (Саудовская Аравия), Parepare (Индонезия), Pekin (Китай), Гун-ли (Тайвань), Тель-Авив, Йоханнесбург (ЮАР), Сингапур. Зоны обслуживания станции приема информации с ИСЗ Ers показаны на рис. 3.3.

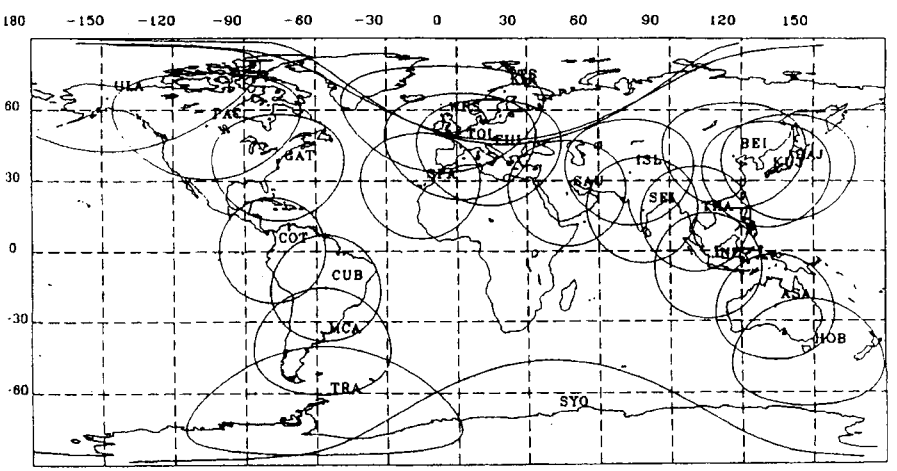


Рис. 3.3. Зоны обслуживания станции приема информации с ИСЗ Ers.

Индивидуальные потребители получают информацию непосредственно с приемных станций и из региональных комплексов в соответствии с запросами в EECF. На каждой из приемных станций информация ДЗЗ хранится на магнитных лентах высокой плотности HDDT, кроме того, каждая станция оснащена оборудованием для обработки радиолокационных изображений, полученных в режиме синтезирования апертуры, и всей остальной принимаемой информации. Распространение информации с приемных станций осуществляется с использованием существующих низкоскоростных сетей связи, а при передаче радиолокационных изображений — высокоскоростных спутниковых линий связи. Распространением радиолокационных изображений ИСЗ Ers занимаются: в Европе — организация EURIMAGE, в Северной Америке — Radarsat International, в остальных регионах мира — Spot Image.

3.2. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ENVISAT-1

В рамках проекта POEM (Polar Orbit Earth observation Mission programme, см. также п.4.2) Европейским космическим агентством ESA планируется создание космического аппарата Envisat-1, который обеспечит непрерывность наблюдений, ранее начатых с помощью спутников серии Ers. ИСЗ Envisat-1 позволит решать широкий круг океанографических задач, расширит номенклатуру данных дистанционного зондирования земной поверхности, снегового и ледового покровов, обеспечит сбор информации о химическом составе атмосферы, особенностях протекания водооборота и энергетического баланса.

Запуск ИСЗ Envisat-1 запланирован на 1998 г. с ракетного полигона Kourou (Фр.Гвиана) ракетой-носителем Ariane-5. Расчетный срок активного функционирования спутника составляет 5 лет. ИСЗ будет выведен на близкую к круговой солнечно-синхронную орбиту высотой 820 км и наклонением 98.55°. Местное время пересечения экватора в восходящем узле орбиты около 10 ч. Точность трехосной ориентации спутника составляет 0.1°, а точность измерения параметров ориентации — не хуже 0.03°. Хотя период повторного пролета спутника над заданным районом составляет 35 суток, большинство датчиков ИСЗ обеспечат полное покрытие Земли за 1—2 суток. Съемка высокоширотных районов будет осуществляться еще чаще.

Руководство созданием космического аппарата Envisat-1 (рис.3.4) возложено на фирму Dornier, разработка модульной спутниковой платформы PPF осуществляется компанией British Aerospace, панелей солнечных батарей — фирмой Fokker. Платформа PPF состоит из двух основных модулей: служебного и полезной нагрузки, и имеет следующие характеристики:

- размеры служебного модуля: 2.6 x 7.5 x 2.1 м;
- размеры модуля полезной нагрузки: 6.4 x 2.75 x 1.6 м;

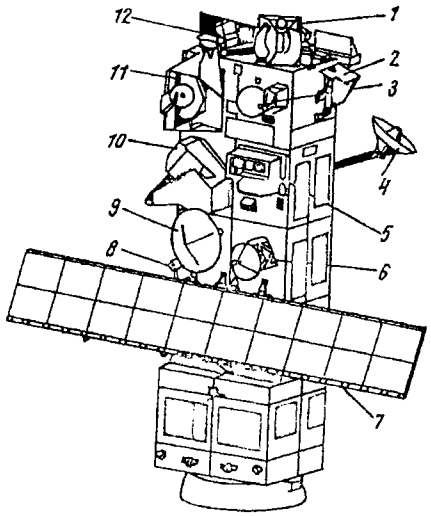


Рис.3.4. Космический аппарат Envisat-1:

1 — усовершенствованный радиометр AATSR;
2 — спектрометр SCIAMACHY для картографирования атмосферы;
3 — микроволновый радиометр MWR;
4 — антенна Ka-диапазона;
5 — сканер ScaRab;
6 — антенна X-диапазона;
7 — антенна радиолокатора с синтезированной апертурой ASAR;
8 — лазерный отражатель LLR системы точного определения параметров орбиты;
9 — антенна радиолокационного высотометра RA-2;
10 — прибор GOMOS глобального мониторинга озонового слоя;
11 — спектрометр MERIS;
12 — интерферометр Михельсона MIPAS.

- площадь для монтажа полезной нагрузки (4 секции): 34 м^2;
- масса полезной нагрузки, включая соединительные элементы: 2000 кг;
- мощность солнечных батарей: 6.5 кВт (33.1 В);
- средняя/пиковая мощность, потребляемая полезной нагрузкой: 1.9/3.0 кВт;
- передача информации полезной нагрузки (2 канала Ka-диапазона): 50—100 Мбит/с;
- запас гидразина: 300 кг;
- расчетный срок активного функционирования спутника: 4 года.

3.2.1. *Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Envisat-1*

Бортовая аппаратура дистанционного зондирования разрабатывается как ESA (приборы ASAR, RA-2, MERIS, MIPAS и GOMOS), так и национальными научными организациями на конкурсной основе. Так, разработка приборов AATSR, PRAREE и SCIAMACHY осуществляется в Германии, сканер ScaRab создается во Франции.

3.2.1.1. Усовершенствованная радиолокационная система ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) является усовершенствованным вариантом РЛС с синтезированной апертурой, использованной на ИСЗ серии Ers. Система ASAR работает на частотах С-диапазона и обеспечивает всепогодное наблюдение до семи избираемых полос вдоль трассы ИСЗ общей шириной 100 км с разрешением 30 м, либо одной полосы шириной 400 км с разрешением 100 м. Возможен режим переключаемой поляризации (горизонтальной и вертикальной) на прием и на передачу. При этом скорость передачи информации в реальном масштабе времени составляет 100 Мбит/с, передача может осуществляться до 30 мин за один виток. В

режиме глобального наблюдения осуществляется просмотр полосы шириной 400 км с разрешением 1 км. Радиометрическая точность измерений составляет 0.65 дБ, радиометрическое разрешение 1.5–3.5 дБ.

3.2.1.2. Радиолокационный высотомер RA-2 (Radar Altimeter) применяется в комплексе с РЛС СВЧ-диапазона MWR, лазерным отражателем точного определения орбиты LRR и аппаратурой определения параметров орбиты DORIS-NG. Высотомер RA-2 обеспечивает определение скорости ветра, характерной высоты волн, используется при топографировании подстилающей поверхности, для восстановления профилей и выявления границ ледяных массивов. Излучение осуществляется на частотах 13.575 и 3.2 ГГц. Пространственная разрешающая способность составляет 7 км, точность определения высоты подъема поверхности моря 10 см. Высота волн измеряется с погрешностью 0.5 м или 10%. Информация ДЗЗ передается с радиолокационного высотомера со скоростью 64 или 100 кбит/с.

3.2.1.3. Радиометр MWR (MicroWave Radiometer) обеспечивает измерение влажности атмосферы и определение поправки, необходимой для коррекции атмосферных погрешностей измерения высоты прибором RA-2. Интенсивность излучения Земли измеряется на частотах 23.8 и 35.6 ГГц с точностью 2.6 К и пространственным разрешением 20 км. Результаты измерений передаются со скоростью 0.5 кбит/с.

3.2.1.4. Усовершенствованный радиометр продольного сканирования AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) предназначен для измерения температуры верхушек облаков, земной и морской поверхности, наблюдения облачного покрова и растительности, измерения концентрации атмосферных аэрозолей. Радиометр AATSR аналогичен прибору ATSR-2, устанавливаемому на ИСЗ Ers-2, и имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны частот: 0.555, 0.659, 0.865, 1.6, 3.7, 10.85, 12 мкм;
- пространственное разрешение: 1 x 1 км;
- точность определения температуры поверхности моря в элементе разрешения 50 x 50 км при плотности облачного покрова 80%: не хуже 0.5 К;
- точность определения температуры поверхности суши: 0.1 К;
- ширина полосы обзора: 500 км;
- скорость передачи информации: 1 Мбит/с.

3.2.1.5. Сканер ScaRab (Scanner for Earth's Radiation Budget) используется для изучения радиационного баланса Земли. Измерение коротковолнового излучения в верхних слоях атмосферы осуществляется в диапазоне частот 0.2–4 мкм, а измерение суммарной радиации — в диапазоне 0.2–50 мкм. Два дополнительных узкополосных канала (0.5–0.7 мкм и 11–12 мкм) используются для выявления облаков и идентификации наблюдаемых сцен. Сканер имеет следующие основные характеристики:

- пространственное разрешение в надире: 60 км, измерения выполняются с шагом 42 км;
- ширина полосы обзора: 2200 км;
- абсолютная радиометрическая точность: ±2.5 Вт/м^2/страд;

- относительная радиометрическая точность: ±0.7 Вт/м^2/страд;
- скорость передачи информации: 1 кбит/с.

3.2.1.6. Спектрометр SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) обеспечивает продолжение наблюдений, начатых с использованием аппаратуры GOME, установленной на ИСЗ Ers-2. Спектрометрические измерения осуществляются с целью определения температуры средних слоев атмосферы, построения тропосферных и стратосферных профилей O_2, O_3, O_4, CO, N_2O, NO_2, CO_2, CH_4, H_2O, анализа концентрации малых газовых компонентов NO, HF, BrO, ClO, OClO в стратосфере и HCHO, SO_2, NO_3 в тропосфере. Рабочие диапазоны частот: 0.240–0.295; 0.290–0.405; 0.400–0.605; 0.590–0.810; 0.790–1.055; 1.000–1.700; 1.980–2.020; 2.265–2.380 мкм. Предусмотрены несколько режимов работы аппаратуры SCIAMACHY, включая режим лимба (Limb mode) и режим затенения Солнца (Sun occultation mode). В режиме лимба вертикальное разрешение составляет 3 км, ширина полосы обзора 600 км. При наблюдении в надир разрешение 32 x 215 км, ширина полосы обзора 1000 км. Скорость передачи информации в разных режимах работы меняется от 400 кбит/с до 1.9 Мбит/с.

3.2.1.7. Интерферометр Михельсона MIPAS (Michelson Interferometric Passive Atmosphere Sounder) предназначен для анализа химического состава стратосферы и тропосферы, изучения влияния на климат глобального распределения облачности, наблюдения процессов фотохимического взаимодействия газов, включая малые газовые компоненты (NO, NO_2, HNO_3, N_2O_5, $ClONO_2$, CH_4, H_2O, N_2O, O_3), исследования возможности определения концентрации HNO_4, COF_2, HOCl, CFC_s, CO, OCS, аэрозолей, C_2H_2, C_2H_4, SF_6. Наблюдение осуществляется в ИК-диапазоне 4.15–14.6 мкм со спектральным разрешением 0.025 линий на см. Вертикальное разрешение составляет 3 км, диапазон вертикального сканирования 5–100 км. Горизонтальное разрешение 30 x 300 км. Радиометрическая точность 685–970 см$^{-1}$ (1%), либо 2410 см$^{-1}$ (3%). Скорость передачи информации прибора MIPAS составляет 620 кбит/с.

3.2.1.8. Прибор GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars), состоящий из телескопа и двух спектрометров, будет обеспечивать глобальный мониторинг озонового слоя Земли путем слежения за прохождением звезд через атмосферу и лимб. Информация, поступающая с прибора GOMOS, будет использоваться для изучения вертикального профиля стратосферного озона, NO_2, H_2O, аэрозолей, а также некоторых малых газовых компонент. Наблюдение осуществляется на частотах 0.25–0.675, 0.756–0.773, 0.926–0.952 мкм с пространственным разрешением 1 км. Скорость передачи информации ДЗЗ составляет 220 кбит/с.

Приборы SCIAMACHY, MIPAS и GOMOS будут работать непрерывно, а получаемая с их помощью информация будет записываться на борту. Для этого ИСЗ планируется оснастить четырьмя магнитофонами емкостью 30 Гбит каждый. Скорость записи составляет около 5 Мбит/с, скорость воспроизведения — 50 Мбит/с.

3.2.1.9. Спектрометр среднего разрешения MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) является первым программируемым спектрометром с получением изображения. Прибор предназначен преимущественно для решения таких океанографических задач, как определение качества воды, наблюдение за динамикой развития фитопланктона и состоянием прибрежных зон, особенно выносов. Кроме того, спектрометр будет использоваться для изучения облачности и измерения влажности водяного пара, наблюдения за растительным покровом и мониторинга земной поверхности. Поверхность открытого океана будет зондироваться с пространственным разрешением 1200 м, при этом информация будет записываться в бортовое запоминающее устройство. Съемка прибрежных зон и земной поверхности будет выполняться с разрешением 300 м, а информация на Землю будет передаваться в реальном масштабе времени. Аппаратура может работать одновременно в режимах низкого и высокого разрешения. Спектрометр MERIS имеет следующие основные характеристики:

- рабочий диапазон: 0.4–1.05 мкм;
- число спектральных диапазонов: 15;
- ширина одного спектрального диапазона: программируемая от 0.0025 до 0.03 мкм;
- пространственное разрешение в подспутниковой точке: 300 или 1200 м;
- типовое отношение сигнал/шум в спектральных диапазонах, используемых для наблюдения океана: 1700;
- условия освещенности, необходимые для нормального функционирования прибора: угол места Солнца должен составлять не менее 10°, при этом за один виток прибор будет работать около 43 мин;
- ширина полосы обзора: 1150 км;
- периодичность полного просмотра поверхности Земли: 3 суток;
- скорость передачи информации без использования бортового запоминающего устройства: 24 Мбит/с (в режиме полного разрешения), 1.7 Мбит/с (в режиме низкого разрешения).

3.2.1.10. На ИСЗ Envisat-1 планируется использовать также усовершенствованную систему точного определения параметров орбиты DORIS-NG, аналогичную устанавливаемой на перспективных ИСЗ серии Spot (п.2.2.3.6).

3.2.2. *Особенности передачи информации с ИСЗ Envisat-1*

Передача данных дистанционного зондирования будет осуществляться непосредственно на наземные станции Fucino (Италия) и Kiruna (Швеция) в X-диапазоне частот в реальном масштабе времени или в режиме воспроизведения с бортового магнитофона. Кроме того, предусмотрен режим передачи информации ДЗЗ с ретрансляцией через европейский геостационарный спутник Drs-1, запуск которого намечен на 2000 г. Ретрансляция будет осуществляться в Ka-диапазоне со скоростью 100 Мбит/с. Прием информации со спутника Drs-1 будет осуществляться наземной станцией Европейского института космических исследований (ESRIN) в Frascati (Италия). Возможна одновременная передача в X- и Ka-диапазонах.

Наземная сеть приема, обработки и распределения информации, поступающей с ИСЗ Envisat-1, включает следующие элементы:

- сектор управления полетом при Европейском центре обеспечения космических операций ESOC;
- центр управления полезной нагрузкой при ESRIN;
- средства информационного обслуживания потребителей;
- станции непосредственного приема информации в X-диапазоне (Fucino, Kiruna);
- станция приема ретранслированных данных в Ka-диапазоне (Frascati);
- справочно-информационный центр в Kiruna;
- центры обработки и хранения информации;
- средства передачи данных ДЗЗ из центров обработки потребителям.

Всего для создания наземной сети приема, обработки и распределения данных ИСЗ Envisat-1 задействовано до 13 европейских фирм, среди которых лидирующей является французская компания Thomson-CSF.

3.3. ЯПОНСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ РАЗВЕДКИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ JERS-1

Космический аппарат разведки природных ресурсов Земли Jers-1 (Japan Earth Resources Satellite, японское название Fuyo-1) является первым японским спутником, на борту которого установлен комплекс аппаратуры дистанционного зондирования, включающий как пассивную оптико-электронную камеру, так и радиолокационную систему с синтезированной апертурой антенны. При помощи информации, получаемой ИСЗ Jers-1, предполагалось решать следующие задачи: поиск полезных ископаемых и энергоносителей, землепользование, поиск скоплений рыбы и мониторинг береговой зоны моря, охрана окружающей среды и предупреждение об опасных природных явлениях, ведение сельского и лесного хозяйства.

Финансирование работ по созданию ИСЗ Jers-1 осуществляется национальным космическим агентством NASDA. В качестве головного разработчика ИСЗ была выбрана фирма Mitsubisi Electric, кроме того в создании спутника приняли участие японские фирмы Nippon Electric, Toshiba, IHI (Ishikawajima-Harima Heavy Industries) и американская Odetics (аппаратура магнитной записи DDS-6000EC). Оснащение спутника аппаратурой ДЗЗ, включая выделение соответствующих финансовых средств, обеспечивается Министерством внешней торговли и промышленности Японии MITI (Ministry of International Trade and Industry). Для этого министерством MITI совместно с Агентством по науке и технике Японии STA (Science and Technology Agency) в ноябре 1986 г. была создана Национальная организация по разработке системы ДЗЗ JAROS (Japan Association for Research in Observation System), в которую вошли также фирмы Fujitsu, Hitachi, Toshiba и Nippon Electric.

Центр управления полетом, средства приема, первичной обработки, архивирования и распределения данных дистанционного зондирования

расположены в японском центре наблюдения Земли (Japan's Earth Observation Center) в Hatoyama. Закладка командно-программной информации, прием и обработка телеметрии, а также проведение внешнетраекторных измерений обеспечиваются средствами космического центра TSC (Tsukuba Space Centre) с привлечением дополнительной станции слежения в Kiruna (Швеция).

Космический аппарат Jers-1 (рис.3.5) был выведен на околокруговую солнечно-синхронную орбиту 11 февраля 1992 г. двухступенчатой японской ракетой-носителем H-1 с полигона Tanegashima. Высота орбиты — 567 x 569 км, наклонение 97.7°, местное время пересечения экватора около 10 ч 30 мин. Период повторного пролета спутника над заданным районом составляет 44 суток. Вследствие низкой высоты коррекция параметров орбиты выполняется еженедельно. Оперативное использование ИСЗ начато с 1 июня 1992 г. после того, как были устранены неисправности, возникшие в системе развертывания антенной решетки радиолокатора. Гарантируемый срок активного функционирования спутника составляет 2 года.

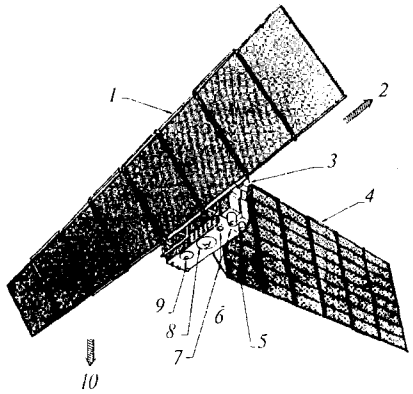


Рис.3.5. Космический аппарат Jers-1:

1 — антенна бортовой РЛС
2 — направление полета ИСЗ
3 — бортовое запоминающее устройство
4 — панель солнечной батареи
5 — радиометр видимого и ближнего ИК диапазонов
6 — датчик Земли
7 — радиометр коротковолнового ИК диапазона
8 — антенна X-диапазона частот
9 — антенна S-диапазона частот
10 — направление на Землю

Размеры корпуса спутника составляют 0.93 x 1.83 x 3.16 м, масса в начале орбитального функционирования — 1340 кг, из них 115 кг приходится на топливо, 497 кг — на полезную нагрузку. Шестисекционная панель солнечной батареи массой 56.4 кг имеет размеры 7.03 x 3.46 м и состоит из 22344 кремниевых элементов 2 x 4 см. Бортовая энергетическая установка, в которую входят также 4 никель-кадмиевые батареи емкостью 30 А·ч, обеспечивает мощность 2053 Вт. Спутник стабилизирован по трем осям с точностью 0.11° по углу крена, 0.18° по углу тангажа, 0.1° по углу рыскания.

Радиолокационная система с синтезированной апертурой антенны (реальные размеры антенной решетки 11.9 x 2.5 м) предназначена для всепогодной съемки земной поверхности и береговой зоны моря с получением

радиолокационных изображений высокого разрешения. На спутнике предусмотрено бортовое запоминающее устройство емкостью 72 Гбит, обеспечивающее запись информации, поступающей с радиолокатора со скоростью 60 Мбит/с, в течение 20 мин. Запись осуществляется в цифровом виде по двум квадратурным каналам со скоростью 30 Мбит/с в каждом канале. Радиолокационная система имеет следующие характеристики:

- рабочая частота: 1275 МГц;
- пространственное разрешение: 18 м;
- ширина полосы обзора: 75 км, край полосы обзора смещен на 326 км вправо от трассы ИСЗ;
- мощность в импульсе: 1.3 кВт;
- длительность импульса: 35 мкс;
- скорость выдачи информации: 60 Мбит/с.

Оптическая система OPS (OPtical Sensor) предназначена для получения высокоинформативных снимков земной и морской поверхности в видимом, ближнем ИК и коротковолновом ИК диапазонах. В ближнем ИК диапазоне спектра предусмотрен стереоскопический режим съемки. Система OPS имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.52–0.60 (B1), 0.63–0.69 (B2), 0.76–0.86 (B3 и B4), 1.60–1.71 (B5), 2.01–2.12 (B6), 2.13–2.25 (B7) и 2.27–2.40 (B8);
- ширина полосы обзора: 75 км;
- пространственное разрешение: 18 м x 24 м (вдоль x поперек трассы ИСЗ);
- скорость выдачи информации: около 64 Мбит/с.

Съемка в диапазонах B1-B4 обеспечивается радиометром видимого и ближнего ИК диапазонов, в диапазонах B5-B8 — радиометром коротковолнового ИК диапазона. Для формирования цифровых изображений в обоих радиометрах применены линейки из 4096 элементов ПЗС. Спаренные датчики в диапазонах B3 и B4 обеспечивают стереоскопический режим наблюдения: датчики B3 направлены в надир, а датчики B4 — вперед под углом 15.3°.

Прием информации дистанционного зондирования, передаваемой с ИСЗ Jers-1, помимо центральной станции в Hatoyama обеспечивают 14 зарубежных наземных комплексов. Основная часть комплексов рассчитана на прием информации реального масштаба времени. Данные с бортового магнитофона передаются на центральную станцию, а также, в соответствии с соглашением подписанным в 1988 г. между агентствами NASA и NASDA, на станцию, расположенную в Аляскинском университете (Fairbanks). Все данные, полученные зарубежными приемными комплексами, передаются в NASDA по наземным и спутниковым каналам связи.

Передача информации дистанционного зондирования осуществляется по двум каналам X-диапазона на частотах 8150 и 8350 МГц, со скоростью по 64 Мбит/с в каждом канале и с использованием квадратурной фазовой манипуляции. Ширина спектра передаваемых сигналов составляет 50 МГц. В каждом канале установлен выходной усилитель на ЛБВ

мощностью 20 Вт. Для передачи сигналов используется зеркальная антенна с диаграммой направленности специальной формы.

Практически с самого начала эксплуатации ИСЗ Jers-1 в принимаемых радиолокационных изображениях и снимках камеры OPS отмечаются искажения в виде продольных полос, что значительно сократило возможности агентства NASDA и министерства MITI по коммерческому использованию этих данных. С июля 1994 г. эксплуатация радиометра OPS прекращена вследствие неисправностей, возникших в системе охлаждения камеры.

3.4. ЯПОНСКИЙ ИСЗ РАЗВЕДКИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ALOS

Запуск перспективного ИСЗ Alos (Advanced Land Observation Satellite), принадлежащего японскому космическому агентству NASDA, запланирован на август 2001 г. Расчетный срок активного функционирования спутника, выводимого на солнечно-синхронную орбиту высотой около 700 км, наклонением 98.1° и периодом повторного пролета над заданным участком местности 45 суток, достигает трех лет. Местное время пересечения экватора в нисходящем узле орбиты составляет 10 ч 30 мин. Космический аппарат будет использован для получения высокоинформативных изображений и радиолокационных снимков земной поверхности в интересах решения задач землепользования, городского планирования, уточнения цифровых карт местности, наблюдения за окружающей природной средой и предупреждения об опасных явлениях. Основными приборами, планируемыми к установке на борту ИСЗ, являются радиолокационная система VSAR и радиометр AVNIR-2. Кроме того, на спутнике предполагается разместить систему сбора данных ДЗЗ DCS (п.2.4.2.6).

Радиолокационная система высокого разрешения VSAR имеет следующие технические характеристики:

- рабочая частота: 1.275 ГГц;
- ширина спектра излучаемых сигналов: 15 МГц;
- предельное пространственное разрешение: 10 м (по наклонной дальности), 5 м (вдоль трассы ИСЗ);
- точность измерения ЭПР поверхности: ±1 дБ;
- ширина полосы обзора: 70 км (в режиме высокого разрешения), 250 (в режиме низкого разрешения);
- скорость передачи информации: до 240 Мбит/с.

Радиометр AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infra-red Radiometer) является усовершенствованным вариантом прибора, использованного на ИСЗ Adeos (п.2.4.1.1), и будет использоваться преимущественно для получения панхроматических снимков с высоким пространственным разрешением. Для хранения снимков на борту спутника предусмотрено запоминающее устройство емкостью 706 Гбит. Благодаря предусмотренной возможности отклонения камеры на 40° от направления в надир обеспечивается режим стереоскопической съемки, а также существенно снижается период повторного просмотра заданного участка в многоспектральном режиме. Радиометр имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: три диапазона в видимом участке спектра (0.42–0.5, 0.52–0.6 и 0.61–0.69 мкм), один панхроматический диапазон (0.52–0.77 мкм), один ближний ИК диапазон (0.76–0.89 мкм);
- пространственное разрешение: 2.5 м (в панхроматическом режиме), 10–15 м (в многоспектральном режиме);
- ширина полосы обзора: 35 км (в панхроматическом режиме), 70 км (в многоспектральном режиме);
- ширина полосы просмотра с учетом отклонения камеры от направления в надир: 1226 км (в многоспектральном режиме), 70 км (в панхроматическом режиме);
- период повторного просмотра заданного участка с учетом возможности отклонения камеры: 2 суток (в многоспектральном режиме), 45 суток (в панхроматическом режиме);
- расчетная точность геодезической привязки изображений: 2.5 м;
- скорость передачи с учетом предварительного сжатия информации на борту ИСЗ: 240 Мбит/с (в панхроматическом режиме), 120 Мбит/с (в многоспектральном режиме).

3.5. КАНАДСКАЯ СИСТЕМА РАЗВЕДКИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ RADARSAT

Космические аппараты серии Radarsat (Radar Satellite) предназначены для глобального всепогодного сбора информации о состоянии ледового покрова, океана, лесных массивов, для оценки урожая и изучения геологических образований.

Общее руководство проектом RADARSAT осуществляется канадским космическим агентством CSA (Canadian Space Agency), на начальном этапе эти функции выполнял национальный центр дистанционного зондирования CCRS (Canada Centre for Remote Sensing). Ожидается, что к 2000 г. на проект будет затрачено 495.8 млн долл., из которых федеральным правительством будет внесено 378.4 млн долл., провинциями — 59.4 млн долл., частными организациями — 58.0 млн долл. Ежегодные расходы на эксплуатацию одного космического аппарата Radarsat составляют около 10 млн долл.

В 1989 г. с целью коммерческого распространения информации дистанционного зондирования, получаемой при помощи ИСЗ Radarsat, была создана компания Radarsat International (RSI), в которую вошли следующие канадские организации: Spar Aerospace, ComDev и MacDonald Dettwiler & Associates. Кроме того, RSI является членом консорциума ERS, а с 1990 г. права на распространение на территории Канады снимков с космических аппаратов Landsat и Spot, ранее принадлежавшие центру CCRS, также переданы компании Radarsat International.

В феврале 1991 г. между космическими агентствами Канады и США достигнута договоренность о запуске спутников Radarsat при помощи

ракеты-носителя NASA Delta-2 с Западного ракетного полигона США. В свою очередь, американские исследовательские организации получат свободный доступ к информации, передаваемой космическими аппаратами, а частные коммерческие организации примут участие в распространении этих данных.

Спутники серии Radarsat выводятся на солнечно-синхронную околокруговую орбиту высотой 743 км с наклонением 98.6° и местным временем пересечения экватора около 6 и 18 час в нисходящем и восходящем узлах орбиты, соответственно. Период пролета над одним и тем же участком территории составляет 24 суток, при этом обеспечивается оптимальный режим стереоскопической съемки поверхности (наблюдение полярных областей осуществляется ежедневно, районов с широтой 49°–70° — каждые 3 дня).

Первый космический аппарат системы RADARSAT был выведен на орбиту 4 ноября 1995 г. Запуск двух последующих ИСЗ запланирован на 2000 и 2004 гг. Планируется, что расходы на создание ИСЗ Radarsat-3 полностью окупятся за счет продажи снимков компанией Radarsat International к 2010 г. Расчетный срок активного существования спутников составляет 5 лет. Оперативное использование начинается после 3-месячных орбитальных испытаний.

Головным разработчиком ИСЗ Radarsat является организация Spar Aerospace, кроме того, в создании спутника приняли участие фирмы Canadian Astronautics (волноводные панели РЛС), Telesat, ComDev (электронные устройства), SED (системы управления и наземной обработки), MDA (специальное проверочное и наземное оборудование), Odetics (два комплекта цифровых магнитофонов), Dornier/AEG (усилители на ЛБВ), SAFT (аккумуляторные батареи), корпорация Astro Aerospace (система развертывания антенны РЛС) и Ball Aerospace Systems Group (корпус космического аппарата),

Масса ИСЗ Radarsat-1 (рис.3.6) составляет 2900 кг, из которых 1258 кг приходится на антенную решетку РЛС, 1575 кг на полезную нагрузку и 67 кг на гидразинное топливо. Размеры антенны РЛС 15.0 x 1.5 м. Высота орбиты спутника поддерживается постоянной с точностью ±10 км. КА имеет трехосную стабилизацию с точностью 0.1° по всем осям.

Спаренные пятисекционные панели солнечных батарей обеспечивают мощность энергетической установки 2.5 кВт в начале и 1.9 кВт через три года после начала эксплуатации спутника при требуемой мощности 1.5 кВт. В систему энергопитания входят также три никель-кадмиевые батареи емкостью 48 А·час.

3.5.1. *Радиолокационная система ИСЗ Radarsat*

Первоначально на космических аппаратах Radarsat наряду с радиолокационной системой с синтезированием апертуры антенны (РСА) планировалось устанавливать комплект дополнительной аппаратуры в составе усовершенствованного радиометра AATSR и/или усовершенствованного радиолокационного высотомера ARA совместно со спектрометром океанских волн OWS. В комплект радиометра AATSR должен был

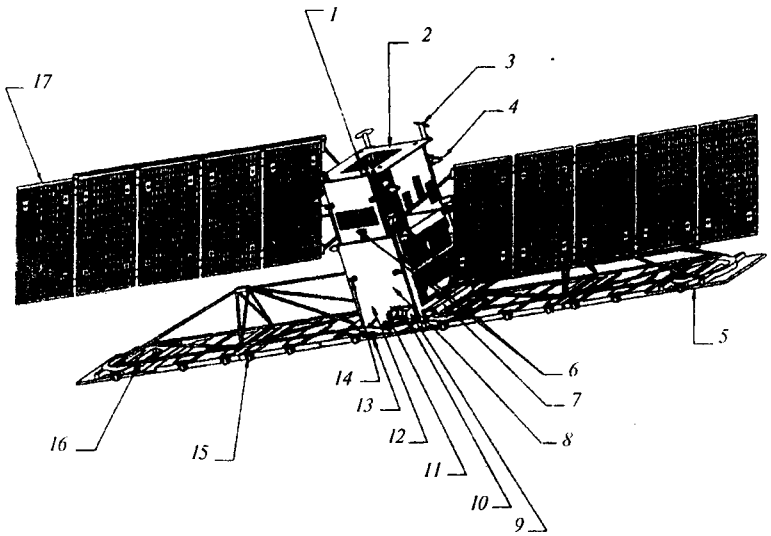


Рис.3.6. Космический аппарат Radarsat-1:

1 — панель охлаждения аккумуляторных батарей
2 — несущая конструкция ИСЗ
3 — антенна S-диапазона, направленная в зенит
4 — узлы крепления антенны РСА
5 — антенна РСА
6 — двигатель орбитальной коррекции
7 — блок разворачивания антенны РСА
8 — теплоизоляционное покрытие
9 — датчики системы ориентации, расположенные на теневой стороне ИСЗ
10 — антенна S-диапазона, направленная в надир
11 — датчик Земли
12 — аппаратурная платформа
13 — антенна X-диапазона
14 — узлы крепления панели солнечной батареи
15 — узлы крепления антенны РСА
16 — несущая конструкция антенны РСА, разворачиваемая к космосе
17 — панель солнечной батареи

входить микроволновый радиометр MWR, с помощью которого предполагалось осуществлять коррекцию данных с учетом влажности атмосферы. Позднее было принято решение об оснащении ИСЗ серии Radarsat только РСА.

Многофункциональная радиолокационная система с синтезированием апертуры антенны, устанавливаемая на ИСЗ серии Radarsat, предназначена для всепогодной съемки поверхности океана и суши, морских и полярных льдов, мониторинга береговой зоны, а также для исследования геологических образований и растительного покрова /19/. Далее рассматриваются основные группы задач, при решении которых привлекаются материалы космической съемки, полученные ИСЗ Radarsat.

1. Наблюдения за движением судов и перемещением ледового покрова. Способность РСА отличать непроходимый многолетний лед от проходимого для судов однолетнего льда, а также ежедневное картографирование всего региона Арктики оказывает известную пользу при эксплуа-

тации буровых платформ, ледоколов и осуществлении судоходства. С помощью ИСЗ Radarsat проводятся ежедневные наблюдения за маршрутами движения судов во льдах. Кроме того, РСА позволяет контролировать движение айсбергов, большое число которых представляет определенную угрозу судоходству и морским буровым платформам.

2. Наблюдение за состоянием Мирового океана. Для работы морских буровых платформ большое значение имеет не только информация об айсбергах, но и данные о состоянии океана. При разработке и уточнении моделей зарождения океанских волн и прогнозировании состояния океана необходима информация о направлении и скорости приповерхностного ветра, которая может быть получена из анализа характеристик волн по радиолокационным снимкам морской поверхности. Структура морских отмелей, где расположена основная часть всех морских буровых платформ, не препятствует распространению внутренних волн. Возможность использования РСА для контроля внутренних волн, измерения их амплитуды и наблюдения динамики распространения оказывает определенную помощь при эксплуатации морских буровых платформ.

3. Наблюдение за возобновляемыми ресурсами. Данные, полученные при помощи РСА Radarsat, используются для контроля и картографирования таких возобновляемых ресурсов, как посевы сельскохозяйственных культур, лесные угодья. При этом существенной оказывается способность РСА получать данные через облачный покров и в ночное время, что позволяет вести наблюдение за циклом развития посевов.

4. Применение в гидрологии и геологии. Геологическая сложность (трещины, сбросы, складчатость горных пород) региона в некоторых случаях указывает на содержание полезных ископаемых. Основными преимуществами применения РСА является способность проводить структурное картографирование земной поверхности в местах с плотным растительным покровом и получать геологическую информацию, более полную по сравнению с другими датчиками, особенно в зонах с лесными массивами и в случае плотной облачности. При этом широко используется режим стереоскопического представления получаемых изображений.

РСА космического аппарата Radarsat разработана фирмой Spar Aerospace с основным субподрядчиком Canadian Astronautics и имеет следующие основные характеристики:

- рабочая частота: 5.263 ГГц;
- пространственное разрешение: 9—100 м (в зависимости от режима работы, *табл.3.1*);
- поляризация излучаемых и принимаемых сигналов: линейная горизонтальная;
- средняя излучаемая мощность: 300 Вт;
- импульсная излучаемая мощность: 5 кВт;
- ширина полосы пропускания: 11.6, 17.3 и 30.0 МГц;
- частота дискретизации: 12.9, 18.5 и 32.3 МГц;
- длительность импульса: 42.0 мкс;

- частота повторения импульсов: 1270—1390 Гц;
- коэффициент неоднозначности: -22 дБ (по азимуту и по дальности);
- число уровней квантования сигнала: 4 (на каждую квадратурную составляющую I и Q);
- число уровней квантования фазы в схеме формирования луча: 8;
- время работы РЛС за один виток: не более 28 мин (20 мин при солнечном свете и 8 мин в темноте);
- скорость выдачи информации: 105 Мбит/с.

Таблица 3.1

Характеристики режимов работы РСА Radarsat

Наименование режима	Угол падения, град.	Разрешение (азимут x дальность), м	Общая полоса обзора, км	Кратность просмотра
1. Стандартный	20—49	28 x 25	500	4
2. Широкий обзор	20—40	28 x 35	300	4
3. Высокое разрешение	37—48	9 x 10	200	1
4. ScanSAR	20—39	30 x 35	300	2
(обзорный)	20—39	50 x 50	300	4
	20—49	55 x 32	500	4
	20—49	100 x 100	500	8
5. Экспериментальный	49—59	28 x 30	300	—
	10—23	28 x 40	170	—

Всего предусмотрено 5 режимов работы РЛС с синтезированной апертурой (рис.3.7, *табл.3.1, 3.2*):

1) семь стандартных перекрывающихся лучей шириной около 100 км обеспечивают максимальную ширину общей полосы обзора, равную 500 км, в режиме обеспечивается максимальная чувствительность и четырехкратное формирование изображения участка за период его нахождения в диаграмме направленности бортовой РЛС;

2) два широких неперекрывающихся луча 150 и 166 км, примыкающих к ближней стороне полосы обзора, обеспечивают четырехкратное формирование изображения заданного участка;

3) пять лучей с небольшим перекрытием шириной около 45 км каждый, примыкающие к дальнему краю полосы обзора, формирование изображения осуществляется на протяжении всего времени нахождения участка в диаграмме направленности антенны РСА (однократный просмотр), за счет чего обеспечивается максимальное разрешение, ограниченное лишь дифракционным пределом;

4) один луч с широкой полосой обзора (около 300 или 500 км), многократным просмотром и пониженным разрешением;

5) шесть частично перекрывающихся экспериментальных лучей по 75 км, в данном режиме не предъявляется жестких требований к качеству получаемых радиолокационных изображений, экспериментальный район расположен за внешним краем основной полосы обзора, имеющей ширину 500 км, либо перед ближним краем основной полосы.

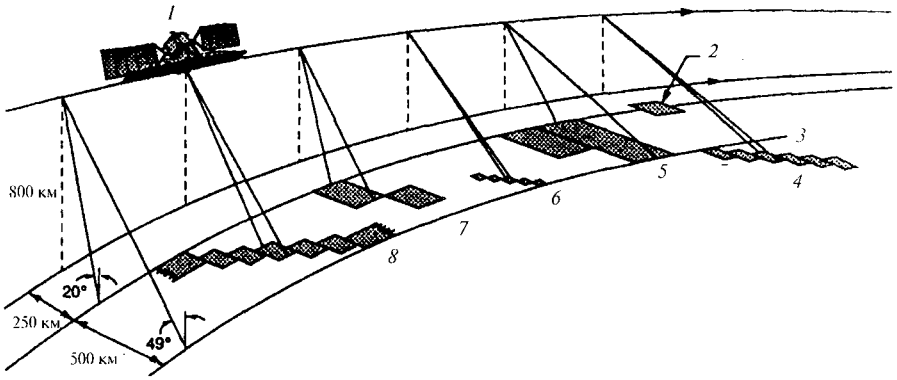


Рис.3.7. К пояснению режимов работы РСА Radarsat:

1 — ИСЗ Radarsat
2 — лучи перед ближним краем основной полосы обзора
3 — лучи за внешним краем основной полосы обзора
4 — экспериментальный режим
5 — обзорный режим (ScanSAR)
6 — режим высокого разрешения
7 — режим высокого разрешения
8 — стандартный режим

РЛС может изменять положение полосы обзора относительно трассы космического аппарата. Ширина полосы обзора варьируется в пределах от 45 до 500 км в соответствии с требуемым сектором углов наблюдения и пространственным разрешением. В режиме сканирования в широкой полосе просмотр всей территории Канады осуществляется каждые 72 часа. Основную часть времени сканирование осуществляется справа от трассы ИСЗ, что обеспечивает полное ежесуточное наблюдение всего Арктического региона. В то же время, для полной съемки территории Антарктики космический аппарат по крайней мере дважды в год совершает разворот по углу рыскания на 180° для перевода полосы обзора на левую сторону, причем эти развороты выполняются в период максимальной, а затем минимальной плотности ледового покрова.

В *табл.3.2* приведены характеристики лучей РСА в основных режимах работы. Преимущества РСА Radarsat по сравнению с другими аналогичными бортовыми радиолокационными станциями заключаются в следующем:

- обеспечивается возможность выбора полосы обзора в пределах полосы просмотра шириной 800 км путем управления положением диаграммы направленности антенны по углу места и изменения формы луча;
- выбор одного из трех значений ширины полосы пропускания РСА по высокой частоте для достижения равномерной разрешающей способности по дальности.

Таблица 3.2

Параметры лучей РСА Radarsat в основных режимах работы

Режим работы	Номер луча	Полоса обзора, км	Угол обзора, град.	
			Минимальный	Максимальный
Стандартный	1	108	20.0	27.4
	2	106	24.2	31.1
	3	107	30.5	36.9
	4	107	33.6	39.7
	5	105	36.5	42.1
	6	106	41.4	46.5
	7	102	44.8	49.3
Широкий обзор	1	166	20.0	31.1
	2	150	30.8	39.5
Высокое разрешение	1	50	37.1	39.8
	2	48	39.5	42.0
	3	44	41.8	43.9
	4	44	43.7	45.8
	5	43	45.6	47.5
ScanSAR	1	311	20.0	39.5
	2	521	20.0	49.3

3.5.2. *Особенности передачи данных дистанционного зондирования*

На космическом аппарате размещены два магнитофона фирмы Odetics емкостью 72 Гбит, обеспечивающие 10-минутную запись сигналов РСА и их последующее воспроизведение со скоростью 85 Мбит/с в течение 14 мин. Передача информации осуществляется по двум каналам с частотами 8105.0 и 8230.0 МГц, один из которых используется для передачи в реальном масштабе времени, другой — с магнитофона. Характеристики радиолиний передачи информации ДЗЗ X-диапазона частот:

- общая излучаемая мощность: 11 дБВт;
- скорость передачи информации: 105 Мбит/с (в режиме непосредственной передачи), 85 Мбит/с (в режиме воспроизведения с магнитофона);
- максимальная спектральная плотность потока излучения: — 65.3 дБВт/Гц;
- коэффициент усиления бортовой антенны: 9.4 дБ;
- поляризация: правая круговая;
- диаметр типовой наземной приемной антенны: 10 м;
- шумовая температура наземной антенны: 310 К.

Передача телеметрической информации осуществляется на частоте 2230.0 МГц по радиолинии со следующими характеристиками:

- общая излучаемая мощность: 2.4 дБВт;
- ширина спектра сигнала: 4 МГц;
- максимальная спектральная плотность мощности излучения: −62.7 дБВт/Гц;
- коэффициент усиления бортовой передающей антенны: 6.1 дБ;
- диаметр типовой наземной приемной антенны: 10 м;
- шумовая температура приемной антенны: 260 К.

Прием радиолокационной информации в режиме воспроизведения с бортового магнитофона осуществляется канадскими станциями в Prince Albert (пр.Саскачеван) и Gatineau (пр.Квебек) в Канаде, а также наземным комплексом NASA в Fairbanks (шт.Аляска). Информация реального масштаба времени передается на три указанные выше станции, а также на другие пункты приема, лицензии на открытие которых выдается фирмой Radarsat International.

Центр управления полетом MCF (Mission Control Facility, St.Hubert) и комплекс обработки и распределения информации CDPF (Canadian Data Processing Facility) расположены в районе Оттавы. Для обмена информацией между удаленными наземными станциями и Центром MCF может использоваться связной ИСЗ Anik. Через него также предусмотрена пересылка обработанных данных непосредственным потребителям.

Для таких областей применения, как определение состояния ледового покрова или океана, где существует необходимость скорейшего получения информации, временной интервал между пролетом спутника и передачей данных потребителю не будет превышать 4-х часов. Типовая схема доставки информации потребителям, не требующим высшей оперативности обслуживания, приведена в *табл.3.3.*

Наземный сегмент RADARSAT разрабатывается как система «без очередей»: все изображения, принятые за сутки, должны быть обработаны и распределены среди потребителей или переданы в архив (Canadian Archieve) к концу этого периода. Такое быстродействие обеспечивается процессором обработки радиолокационных данных, способным обрабатывать информацию в 4 раза быстрее скорости их поступления со спутника.

Таблица 3.3

Последовательность доведения потребителю информации дистанционного зондирования

Время выполнения операции	Содержание операции
Т	съемка заданного района спутником
Т + 5 час.	сброс информации на ППИ
Т + 6 час.	обработка информации
Т + 7 час.	доставка снимка потребителю по электронной почте
Следующие сутки	доставка снимка потребителю курьером

3.6. РОССИЙСКАЯ ПРОГРАММА «АЛМАЗ» ПО ИЗУЧЕНИЮ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С РСА

Первый российский спутник по программе «АЛМАЗ» («Космос-1870») был выведен на орбиту 25 июля 1987 г. с полигона Тюратам при помощи ракеты-носителя «Протон». В ходе полета предполагалось изучить потенциальные возможности космических аппаратов такого класса, а также провести ряд практически значимых экспериментов по наблюдению разливов нефти и изучению ледового покрова. Космический аппарат имел массу около 18.5 т и обеспечивал получение радиолокационных снимков с разрешением 30 м.

3.6.1. *Космический аппарат «Алмаз-1А»*

Оперативный космический аппарат «Алмаз-1А» был запущен 31 марта 1991 г. Общая стоимость работ по созданию и выводу на орбиту ИСЗ «Алмаз-1А» оценивается в 300–400 млн руб. Ожидалось, что активное функционирование спутника на орбите продлится не менее, чем 30 месяцев. Однако, повышенная солнечная активность в период полета ИСЗ привела к необходимости проведения частых (в среднем каждые 24 суток) коррекций высоты орбиты и к концу 1992 г. запас топлива на борту спутника был полностью истощен. Управляемый свод космического аппарата с орбиты был выполнен 17 октября 1992 г.

Первый оперативный космический аппарат системы «АЛМАЗ» имел массу 18.55 т, из которых до 4 т отводилось на полезную нагрузку. Спутник имел трехосную стабилизацию и был выведен на орбиту с наклонением 72.7° и средней высотой 280 км, период повторного пролета ИСЗ над заданным районом съемки составлял 1–3 суток. Длина корпуса спутника достигала 15 м, максимальный диаметр 4.15 м. Две панели солнечной батареи общей площадью 86 м^2 обеспечивали среднюю мощность 2.4 кВт. В течение 20 мин обеспечивалась выдача в нагрузку мощности до 10 кВт.

Установленная на спутнике радиолокационная система с синтезированной апертурой включала две волноводные антенные решетки размером 1.5 х 15 м, формирующие два отдельных луча, и имела следующие характеристики:

- рабочая частота: 3 ГГц;
- пространственное разрешение: 15 м;
- поляризация передаваемых и принимаемых сигналов: линейная горизонтальная;
- излучаемая мощность: 190 Вт (импульсная), 80 Вт (средняя);
- длительность зондирующих импульсов: 0.07 и 0.1 мс;
- частота повторения импульсов: 3 кГц;
- ширина луча САР на местности: 30 км;
- ширина полосы захвата: 350 км;
- протяженность записи радиолокационного изображения вдоль трассы ИСЗ: 20–240 км.

Кроме того, на ИСЗ «Алмаз-1А» была размещена резервная РСА, аналогичная использовавшейся на предшествующем спутнике «Космос-1870», а также установлены два радиометра с рабочими длинами волн 0.8 и 5 см, обеспечивающие съемку в полосе шириной 600 с пространственным разрешением 10–30 км и радиометрической точностью 0.3°.

Для обработки сигналов, поступающих с РСА, и формирования снимков поверхности на космическом аппарате использовались оптические устройства. Информация в цифровом виде со спутника «Алмаз-1А» через ИСЗ-ретранслятор системы «ЛУЧ» передавались в центр обработки и распространения данных в Москве. Ежедневно обеспечивалась обработка до 100 снимков.

Исключительные права по распространению в США и странах Западной европы информации, поступающей со спутника, были получены американской корпорацией Space Commerce Corp (Хьюстон, шт.Техас), после чего для обеспечения продажи снимков было создано предприятие Almaz Corp. Кроме того, в НПО «Машиностроение» была создана специальная внешнеторговая организация для коммерческого распространения снимков, поступающих со спутника «Алмаз-1А». Стоимость одного снимка участка поверхности Земли 40 x 40 км, зарегистрированного на магнитную ленту или гибкий магнитный диск, оценивалась в 1600 долл.

В дальнейшем соглашение о тематической обработке и распространении принимаемых радиолокационных изображений было подписано между НПО «Машиностроение» и американской фирмой Hughes STX (Lanham, шт.Мэриленд), участвующей также в реализации снимков со спутников системы SPOT. Стоимость одного кадра изображения участка поверхности размером 40 x 40 км, полученного с ИСЗ «Алмаз-1А», в 1992 г. равнялась 800 долл. Общие доходы фирмы от коммерческой реализации снимков составили около 250 тыс. долл., хотя первоначально запланированная стоимость продаж только в 1992 г. оценивалась в 2 млн долл.

3.6.2. *Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ «Алмаз-1Б»*

Продолжение программы «АЛМАЗ» предполагает создание очередного космического аппарата «Алмаз-1Б», который планируется выводить на орбиту высотой около 400 км. На спутнике будут установлены лидар «Балкан-2», многоспектральные сканирующие устройства МСУ-Э2 (п.3.7.2.2) и МСУ-СК (п.2.7.2.2), радиолокационный комплекс в составе САР-3, САР-10 и САР-70, аппаратура «Сильва», РЛС бокового обзора СЛР-3 и прибор СРОСМ.

3.6.2.1. Лидар «Балкан-2» будет обеспечивать зондирование в секторе углов обзора ±10° от надира с разрешением по высоте 3–10 м в режиме лидара и 0.5–1.0 м в режиме высотомера. Рабочая длина волны прибора — 532 нм.

3.6.2.2. Бортовой радиолокационный комплекс предназначен для всепогодного наблюдения земной поверхности и состоит из трех подсистем САР-3, САР-10 и САР-70 (*табл.3.4*), обеспечивающих зондирование на различных частотах и в разных режимах.

Таблица 3.4

Характеристики бортового радиолокационного комплекса перспективного ИСЗ «Алмаз-1Б»

Наименование характеристики	РСА-3	РСА-10			РСА-70
		Детальный режим	Промежуточный режим	Обзорный режим	
Рабочая длина волны, см	3.5	9.6			70
Разрешение на местности, м	5–7	5–7	15	15–40	20–40
Контрастная чувствительность, дБ	2–3	2–2.25 (при зондировании по правую сторону) 1–1.50 (при зондировании по левую строну)			1
Ширина полосы обзора, км	20–35	30–55	60–70	120–170	120–170
Ширина полосы захвата, км	330	330			330
Скорость передачи данных, Мбит/с	116–370	172–582	354–740	104–288	116–370

3.6.2.3. Аппаратура «Сильва» будет обеспечивать съемку в диапазонах видимого участка спектра: 0.5–0.6, 0.6–0.7, 0.7–0.8 и 0.58–0.8 мкм. Зондирование будет осуществляться в пределах полосы обзора шириной 80 км при полосе захвата ±300 км с пространственным разрешением 2.5–4 м. Скорость передачи данных составит 560 Мбит/с на один спектральный канал.

3.6.2.4. Радиолокационная система бокового обзора СЛР-3 будет иметь следующие характеристики:

- рабочая длина волны: 3.5 см;
- пространственное разрешение: 190–250 м по дальности и 1.2–2.0 км по азимуту;
- контрастная чувствительность: 2–3 дБ;
- ширина полосы обзора: 450 км;
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 116–370 Мбит/с.

3.6.2.5. Аппаратура СРОСМ будет предназначена для получения данных о температуре подстилающей поверхности. Съемка будет вестись в

11 диапазонах, перекрывающих участок спектра 0.4–12.5 мкм. При проведении измерений в пределах участка размерами 2 x 100 км пространственное разрешение составит 600 м, а относительная точность определения температуры — около 5%. Суммарная скорость выдачи информации дистанционного зондирования будет достигать 2.4 Мбит/с.

3.7. РОССИЙСКИЙ МОДУЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ «ПРИРОДА»

3.7.1. *Общая характеристика модуля «Природа»*

Модуль дистанционного зондирования Земли «Природа» является космической платформой, оснащенной разнообразной аппаратурой ДЗЗ и действующей в составе орбитальной станции (ОС) «Мир». Пристыковка модуля «Природа» к ОС «Мир» осуществлена в апреле 1996 г., то есть через 10 лет после вывода на орбиту самой станции. В результате срок службы модуля «Природа» в значительной мере ограничивается состоянием орбитальной станции, эксплуатация которой, как ожидается, продлится до 2000 г.

Модуль «Природа» (рис.3.8) предназначен для проведения экспериментальных исследований с целью отработки комплексных методов дистанционного зондирования с использованием многоспектральных средств наблюдения, а также для получения информации ДЗЗ, необходимой при решении глобальных и региональных задач климатологии, океанографии и экологии /32/.

Длина модуля достигает 13 м, максимальный диаметр — 4.35 м, масса на орбите составляет 19.7 т, из которых около 2 т приходится на аппаратуру дистанционного зондирования. Бортовая энергетическая установка включает панель солнечной батареи общей площадью 35 м^2, которая используется только на этапе вывода модуля до его пристыковки к ОС «Мир» и выдает в нагрузку мощность 2.8–4.2 Вт, а также никель-кадмиевые батареи общей емкостью 360 А·ч.

3.7.2. *Аппаратура ДЗЗ, установленная на модуле «Природа»*

Датчики дистанционного зондирования, размещенные на модуле «Природа», позволяют проводить съемку практически во всех диапазонах спектра, включая ультрафиолетовый, видимый, инфракрасный и микроволновый диапазоны, причем наблюдение обеспечивается как в пассивном режиме, так и при помощи активной радиолокационной системы с синтезированной апертурой антенны (РСА).

Оптико-электронная аппаратура дистанционного зондирования включает спектрорадиометр «Исток-1», сканирующие устройства МСУ-СК (п.2.7.2.1) и МСУ-Э2, спектрометр MOS (п.2.3.2.5), ТВ-камеру, аппаратуру MOMS-2P, лидар АЛИССА и комплекс «Озон-Мир».

3.7.2.1. Спектрорадиометр инфракрасного диапазона «Исток-1» имеет следующие технические характеристики:

- число спектральных каналов: 64;

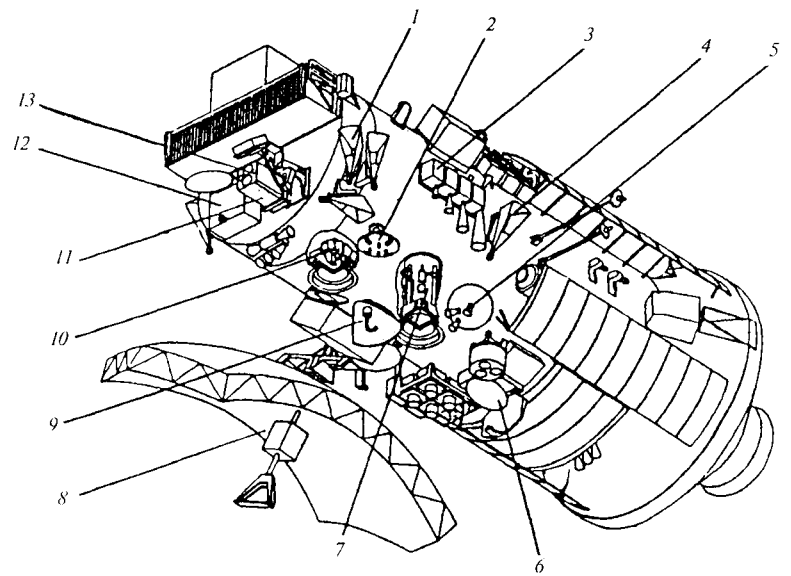


Рис.3.8. Модуль дистанционного зондирования Земли «Природа»:

1 — радиометр РП-600 из состава комплекса «Икар-П»
2 — система сбора информация с платформ геофизического мониторинга «Центавр»
3 — комплекс «Икар-Н»
4 — радиометр РП-600 из состава комплекса «Икар-П»
5 — радиометр РП-225 из состава комплекса «Икар-П»
6 — система «Дельта» из состава комплекса «Икар-Дельта»
7 — лидар АЛИССА
8 — РСА «Траверс»
9 — радиометр Р-400 из состава комплекса «Икар-Дельта»
10 — спектрометр MOS
11 — спектрорадиометр «Исток-1»
12 — место установки камер МСУ-Э2 и МСУ-СК
13 — ТВ-камера

- рабочие диапазоны: 4–8 и 8–18 мкм;
- ширина полосы обзора: около 7 км;
- мгновенное поле зрения 6.5' x 26' соответствует пространственному разрешению 0.7 x 2.8 км вдоль трассы ИСЗ;
- сектор изменения угла наблюдения: 0–90°, благодаря чему общая ширина полосы захвата составляет более 700 км;
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 8 кбит/с.

3.7.2.2. Отличием многоспектрального сканирующего устройства МСУ-Э2 от предшествующего образца МСУ-Э, размещенного на спутниках серии «Ресурс-О1» (п.2.7.2.1), является увеличенное до 10 м пространственное разрешение в надире. Ширина полосы обзора каждой из двух камер, входящих в состав МСУ-Э2, при этом снизилась до 24 км, а общая полоса обзора устройства составила 45 км.

3.7.2.3. Телевизионная камера, установленная на модуле «Природа», предназначена для цветной съемки облачного покрова Земли в видимом диапазоне спектра (0.4–0.75 мкм) с угловым разрешением 3.3', что при высоте орбиты около 400 км соответствует пространственному разрешению на местности 380 м. Угловое поле зрения камеры 20° x 15° обеспечивает получение в надире снимков участков местности размером 141 x 105 км. Предусмотрена возможность отклонения камеры для съемки в стороне от трассы ИСЗ в полосе захвата шириной до 700 км.

3.7.2.4. Камера MOMS-2P (Modular Optoelectronic Multispectral Scanner), расчетный срок службы которой составляет 18 месяцев, обеспечивает получение многоспектральных стереоскопических изображений поверхности Земли с высоким пространственным разрешением. Соглашение об установке камеры MOMS-2P на модуле «Природа» было подписано между Российским космическим агентством (РКА) и Космическим агентством Германии (DARA) в сентябре 1993 г. В соответствии с эти соглашением НПО «Энергия» несет ответственность за размещение камеры на борту орбитального модуля, подготовку средств передачи данных с камеры в наземные центры по радиолинии X-диапазона частот, а также за установку аппаратных и программных средств обработки данных, поступающих с аппаратуры MOMS-2P, в центре обработки информации дистанционного зондирования (DLR, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum) Управления аэрокосмических исследований (DFVLR) в Neustrelitz. Разработка и создание камеры MOMS-2P выполнены немецкими организациями под руководством агентства DARA и Управления DFVLR.

Предшествующий образец камеры MOMS-02 был установлен на лабораторном модуле Spacelab-D2 MTKK Space Shuttle, выполнявшего орбитальный полет по программе STS-55 в период с 26 апреля по 6 мая 1993 г. В качестве преимуществ размещения камеры типа MOMS на российском модуле «Природа» отмечаются: высокая (более 1 года) продолжительность проведения наблюдений, возможность комплексного использования камеры в сочетании с другими средствами ДЗЗ, размещенными на модуле, а также более выгодные условия наблюдения, связанные с тем, что со станции «Мир», находящейся на орбите с наклонением 51.6°, обеспечивается просмотр большего участка поверхности Земли, чем с орбитальной ступени MTKK Space Shuttle, выводимой обычно на орбиту с наклонением 28.5°. В камере MOMS-2P предусмотрено 7 каналов получения изображения, основные характеристики которых приведены в *табл.3.5.* Предусмотрена работа аппаратуры MOMS-2P в следующих четырех режимах:

- полный стереоскопический режим, в котором съемка в диапазонах 5a, 5b, 6 и 7 обеспечивает формирование стереоизображений объектов в трех спектральных диапазонах и построение на их основе цифровых моделей местности;
- полный спектральный режим, в котором осуществляется съемка в диапазонах 1, 2, 3 и 4 для оптимального распознавания типа подстилающей поверхности;

- спектрозональная съемка в сочетании с получением изображений высокого разрешения в надире осуществляется с использованием каналов 2, 3, 4 и 5a, в результате совместной обработки полученных данных могут быть получены многоспектральные снимки с высоким пространственным разрешением;
- съемка в двух спектрозональных (1 и 4) и двух каналах получения стереоизображений (6 и 7) используется при построении цифровых моделей местности с элементами анализа типов подстилающей поверхности.

Таблица 3.5

Характеристики каналов камеры MOMS-2P

Номер канала	Режим съемки	Направление диапазон, мкм	Спектральный	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы обзора, км
1	многоспектр.	в надир	0.440–0.505	18	105/50
2	многоспектр.	в надир	0.530–0.575	18	105/50
3	многоспектр.	в надир	0.645–0.680	18	105/50
4	многоспектр.	в надир	0.770–0.810	18	105/50
5a,5b	панхроматич.	в надир	0.520–0.760	6	60/50
6	стереосъемка	21.4° вперед по трассе	0.520–0.760	18	105/50
7	стереосъемка	21.4° назад по трассе	0.520–0.760	18	105/50

Примечание: пространственное разрешение и ширина полосы обзора приведены для орбиты высотой 400 км.

Ежедневно камера может осуществлять съемку в течение 5–10 мин. Установленная на орбитальной станции аппаратура магнитной записи имеет объем 48 Гбайт и позволяет регистрировать данные, поступающие с камеры MOMS-2P со скоростью около 80 Мбит/с, в течение 80 мин. После этого информация должна быть передана на пункты приема, расположенные под Москвой и в Neustrelitz (Германия). При этом потребителю могут передаваться не все зарегистрированные данные, а лишь отдельные требуемые изображения.

3.7.2.5. Лидар АЛИССА, предназначенный для изучения облачности и аэрозолей, имеет следующие технические характеристики:

- рабочая длина волны: 0.532 мкм;
- длительность зондирующих импульсов: 5–15 нс;
- период следования импульсов: 50 Гц;
- энергия в импульсе: 40 мДж;
- пространственное разрешение: 150 м по вертикали, 1 км вдоль трассы ИСЗ;
- мгновенное поле зрения: около 10 мрад;
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 44 кбит/с.

3.7.2.6. Спектрометр «Озон-Мир» обеспечивает измерение профилей концентрации малых газовых компонентов, включая озон, и аэрозолей в атмосфере. Прибор имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.26–0.3, 0.36–0.42, 0.6–0.7 и 0.91–1.05 мкм;
- пространственное разрешение по вертикали: 1 км;
- сектор обзора: 2' x 25'.

В состав радиолокационного оборудования модуля «Природа» входят комплексы «Икар-Н», «Икар-П» и «Икар-Дельта», а также радиолокатор с синтезированной апертурой антенны «Траверс».

3.7.2.7. Комплекс микроволновых радиометров со съемкой в надир «Икар-Н» (*табл.3.6*) предназначен для изучения особенностей взаимодействия атмосферы и океана, измерения температуры поверхности моря, скорости ветра, определения фазового состава облаков и контроля за выпадением осадков.

Таблица 3.6

Характеристики радиометрической аппаратуры, установленной на модуле «Природа»

Наименование прибора	Рабочая длина волны, см	Пространственное разрешение, км	Ширина полосы обзора, км	Точность измерения, К	Направление съемки
Комплекс «Икар-Н»					
Р-30	0.30	60	60	0.25	съемка в надир
Р-80	0.80			0.10	
Р-135	1.35			0.10	
Р-225	2.25			0.08	
Р-600	6.00			0.10	
Комплекс «Икар-П»					
РП-225П	2.25	75	750	0.15	40° в сторону от надира вперед по трассе ИСЗ
РП-600	6.00			0.15	
Комплекс «Икар-Дельта»					
Р-80	0.80	8	400	1.50	40° в сторону от надира вперед по трассе ИСЗ
Р-135	1.35	15		1.00	
Р-225	2.25	25		0.50	
Р-400	4.00	50		0.25	

Примечание: пространственное разрешение и ширина полосы обзора приведены для орбиты высотой 400 км.

3.7.2.8. Назначение комплекса «Икар-П», обеспечивающего панорамный обзор в широкой полосе (*табл.3.6*), в целом аналогично комплексу «Икар-Н». Измерения осуществляются одновременно на трех поляризациях, что обеспечивает анализ поляризационной структуры принимаемого микроволнового излучения.

3.7.2.9. Комплекс «Икар-Дельта» (*табл.3.6*) включает прибор Р-400 болгарской разработки, а также систему «Дельта» в составе трех микроволновых радиометров Р-80, Р-135 и Р-225.

3.7.2.10. Радиолокационная система с синтезированной апертурой антенны «Траверс» предназначена для анализа типов и состояния растительного покрова Земли, измерения влажности почв, топографирования земной поверхности, определения шероховатости снежного и ледового покровов. РСА имеет следующие основные характеристики:

- рабочие длины волн: 9.3 и 23.0 см;
- пространственное разрешение: 50–150 м;
- ширина полосы обзора: 50 км;
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 16 Мбит/с на один канал.

4 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА НИЗКИХ ПРИПОЛЯРНЫХ ОРБИТАХ

Применение спутниковых данных дистанционного зондирования в интересах решения различных метеорологических задач относится к числу первых практически значимых приложений космических систем ДЗЗ. Метеорологические системы с космическими аппаратами на низких приполярных орбитах обеспечивают решение следующих основных задач:

- мониторинг облачного покрова Земли и других погодных явлений в видимом и инфракрасном диапазонах спектра;
- измерение вертикального профиля температуры атмосферы, характеристик приповерхностного ветра и температуры поверхности моря;
- получение информации о состоянии околоземного космического пространства;
- сбор информации с платформ геофизического мониторинга окружающей среды;
- прием и ретрансляция сигналов бедствия в рамках системы поиска и спасения «Коспас»/SARSAT, а также определение местоположения источников этих сигналов.

Низкоорбитальные метеоспутники обычно выводятся на приполярные солнечно-синхронные орбиты. Приполярной считается орбита с наклонением, близким к 90°, находясь на которой космический аппарат имеет возможность осуществлять съемку всей поверхности Земли, включая районы с полярными широтами. На метеорологических спутниках, как правило, устанавливается аппаратура со средним (около 1 км) пространственным разрешением и широкой (до 3000 км) полосой обзора. Благодаря этому система из одного-двух полярноорбитальных метеоспутников обеспечивает ежесуточный глобальный мониторинг поверхности суши и океана, а также съемку облачного покрова Земли.

Солнечносинхронный тип орбиты выбирается в тех случаях, когда съемку необходимо выполнять при некоторых заданных условиях освещенности поверхности Земли. При этом движение спутника по орбите синхронизируется с вращением Земли, а поворот плоскости орбиты — с вращением Земли вокруг Солнца. На практике чаще всего используются солнечно-синхронные орбиты, для которых примерно постоянным остается угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце. В этом случае съемка осуществляется при постоянном местном времени, соответствующем району наблюдения. В зависимости от времени пролета ИСЗ над районом съемки различают утренние, полуденные и сумеречные орбиты.

4.1. СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА NOAA

Метеорологическая система на базе полярноорбитальных космических аппаратов серии Noaa используется Национальным управлением по исследованию океана и атмосферы (NOAA) при решении задач, связанных с прогнозированием погоды, а также для получения информации дистанционного зондирования в интересах сельского и лесного хозяйства, климатологии и океанографии, мониторинга состояния окружающей среды, при изучении околоземного космического пространства, озонового слоя и содержания аэрозолей в атмосфере, при съемке снежного и ледового покровов Земли. Кроме того, на спутниках этой серии устанавливается аппаратура сбора данных с наземных метеорологических платформ, а также оборудование приема сигналов бедствия в рамках системы Коспас/SARSAT.

Первые метеорологические космические аппараты по программе NOAA (*табл.4.1*), известные также под наименованием Tiros (Television and Infrared Observation Satellite), запускались в интересах NASA и министерства обороны США. В период с 1960 по 1965 гг. были изучены потенциальные возможности использования результатов космической съемки для решения различных метеорологических задач, а также впервые получены данные о тепловом балансе Земли. Эксплуатация последнего спутника этого поколения, Tiros-10, была прекращена в июле 1967 г.

Таблица 4.1

Последовательность запуска и оперативное состояние космических аппаратов по программе NOAA

ИСЗ	Серия	Ракета-носитель	Дата запуска	Оперативное состояние на 31.03.97
Tiros-1	TIROS	Delta	01.04.60	Выведены из оперативного использования
Tiros-2	TIROS	Delta	23.11.60	
Tiros-3	TIROS	Delta	12.07.61	
Tiros-4	TIROS	Delta	08.02.62	
Tiros-5	TIROS	Delta	19.06.62	
Tiros-6	TIROS	Delta	18.09.62	
Tiros-7	TIROS	Delta	19.06.63	
Tiros-8	TIROS	Delta	21.12.63	
Tiros-9	TIROS	Delta	22.01.65	
Tiros-10	TIROS	Delta	02.07.65	
Essa-1	TOS	Delta	03.02.66	
Essa-2	TOS	Delta	28.02.66	
Essa-3	TOS	Delta	02.10.66	
Essa-4	TOS	Delta	26.01.67	
Essa-5	TOS	Delta	20.04.67	

Essa-6	TOS	Delta	10.11.67	
Essa-7	TOS	Delta	16.08.68	
Essa-8	TOS	Delta	15.12.68	
Essa-9	TOS	Delta	26.02.69	
Tiros-M	TOS	Delta	23.01.70	
Noaa-1-1	ITOS	Delta	11.12.70	
Noaa	ITOS	Delta	21.10.71	Авария 21.10.71
Noaa-1-2	ITOS	Delta	15.10.72	
Noaa-1-3	ITOS	Delta	06.11.73	
Noaa-1-4	ITOS	Delta	15.11.74	
Noaa-1-5	ITOS	Delta	29.07.76	
Tiros-N	TIROS-N		Atlas-F	13.10.78
Noaa-A (06)	TIROS-N		Atlas-F	27.06.79
Noaa B	TIROS-N	Atlas-19F	29.05.80	Авария 29.05.80
Noaa-C (07)	TIROS-N	Atlas-87F	23.06.81	
Noaa-E (08)	ATN	Atlas-73E	28.03.83	
Noaa-F (09)	ATN	Atlas-39E	12.12.84	Резерв с 09.88
Noaa-G (10)	ATN	Atlas-52E	17.09.86	Резерв с 05.91
Noaa-H (11)	ATN	Atlas-63E	24.09.88	Резерв с 12.94
Noaa-D (12)	TIROS-N	Atlas-50E	14.05.91	Оперативный
Noaa-I (13)	ATN	Atlas-E	09.08.93	Авария 21.08.93
Noaa-J (14)	ATN	Atlas-E	30.12.94	Оперативный

Широкое распространение среди потребителей космическая метеорологическая информация получила после того, как в 1966 г. была начата эксплуатация спутников следующего поколения серии TOS (Tiros Operational Satellite), получивших наименование Essa (Environmental Science Services Administration). С 1966 по 1970 гг. было развернуто до 400 наземных станций, принимающих данные со спутников Essa в интересах метеорологических служб 45 стран.

На смену ИСЗ серии TOS были предложены усовершенствованные космические аппараты ITOS (Improved TOS), основным отличием которых является установка датчика ИК-диапазона, обеспечивающего съемку поверхности Земли и облачного покрова в темное время суток. Спутники этого поколения выводились на орбиту высотой около 1450 км с наклонением 101° и имели массу около 340 кг.

Спутники четвертого поколения TIROS-N /20/ разрабатывались корпорацией RCA на основе платформы военного метеорологического ИСЗ Block-5D и выводились на солнечно-синхронные орбиты высотой 850 x 860 км с наклонением 102°. Масса космических аппаратов была увеличена более, чем вдвое и составила 734 кг (1421 кг с дополнительным оборудованием, используемым при запуске ИСЗ), из которых под полезную нагрузку отводилось до 230 кг. На спутнике размерами 1.88 x 3.71 м устанавливалась панель солнечной батареи

2.37 x 4.91 м, которая совместно с двумя аккумуляторными батареями емкостью 26.5 А·ч каждая обеспечивали среднюю мощность системы энергоснабжения 420 Вт после двух лет эксплуатации ИСЗ. На борту космических аппаратов серии TIROS-N устанавливались комплекс аппаратуры вертикального зондирования TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) в составе приборов HIRS/2, SSU и MSU, усовершенствованный радиометр высокого разрешения AVHRR, монитор космической среды SEM и система сбора данных с платформ типа Argos. Стоимость космического аппарата Noaa-7 оценивается в 22.5 млн долл., из которых 7.5 млн долл. приходится на запуск ИСЗ.

Начиная с четвертого поколения приняты следующие правила обозначения космических аппаратов системы NOAA. До запуска спутникам последовательно присваиваются буквенные индексы (Noaa-A,B,C...) в соответствии с очередностью их изготовления. После успешного вывода на рабочую орбиту спутнику присваивают числовой порядковый номер (Noaa-1,2,3...).

В процессе эксплуатации ИСЗ Tiros-N выяснилось, что срок их службы превышает расчетные 2 года, благодаря чему отпала необходимость в запуске в 1982 г. очередного спутника этой серии Noaa-D (*табл.4.1*). Космический аппарат Noaa-A проработал около 4-х лет, которых оказалось достаточно для того, чтобы завершить разработку и вывести на орбиту спутник нового поколения Noaa-E. Изготовленный ранее ИСЗ Noaa-D был оставлен в качестве запасного и в дальнейшем запущен на смену ИСЗ Noaa-G.

В настоящее время в системе NOAA используются космические аппараты серии ATN (Advanced Tiros-N). Головным разработчиком ИСЗ Noaa серии ATN является отделение Astro Space компании Martin Marietta при участии фирмы ITT (разработка приборов HIRS и AVHRR) и Лаборатории реактивного движения JPL NASA (устройство микроволнового зондирования MSU и его модификации). Стоимость одного космического аппарата (Noaa-11) оценивается в 53.5 млн долл. Космические аппараты (рис.4.1) разрабатываются на основе усовершенствованной платформы типа Tiros-N, шириной 1.8 м и длиной 4.18 м. Масса спутника в начале активного срока существования составляет 1712 кг, из которых 386 кг приходится на полезную нагрузку. Система энергообеспечения, включающая панель солнечной батареи размером 2.37 x 4.91 м, обеспечивает мощность, выдаваемую в нагрузку, 1500 Вт в начале и 1400 Вт в конце срока активного функционирования спутника. Ориентация космического аппарата — трехосная с точностью около 0.1° по всем осям.

Орбитальный сегмент современной системы NOAA включает два оперативных космических аппарата. Запуски ИСЗ, гарантируемый срок службы которых составляет 2 года, осуществляются с Западного ракетного полигона США. Спутники выводятся на солнечно-синхронные орбиты с наклонением около 98.8° и с высотами порядка 830 или 870 км. Высота орбиты очередного запускаемого ИСЗ выбирается таким образом, чтобы

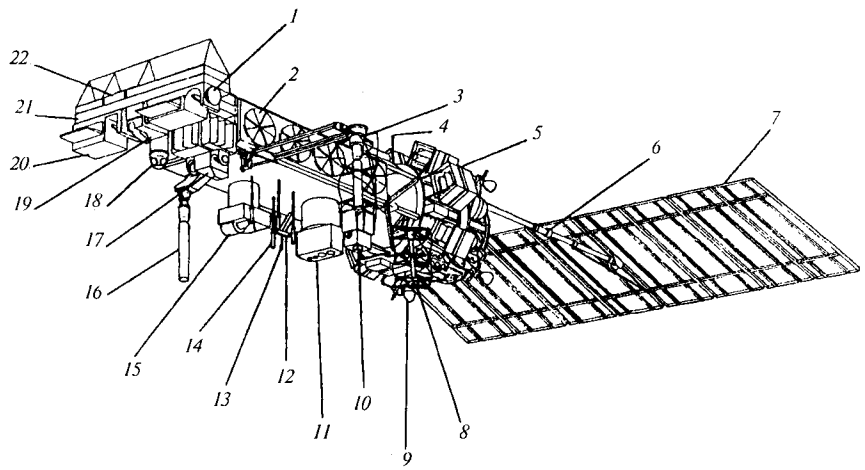


Рис.4.1. Космический аппарат Noaa серии ATN:

1 — радиометр AVHRR
2 — створки системы термостабилизации (4)
3 — антенна аппаратуры поиска и спасения S&R
4, 13— ненаправленная антенна S-диапазона
5 — аккумуляторные батареи (6)
6 — двигатель привода солнечной батареи
7 — панель солнечной батареи
8 — передающая антенна УКВ-диапазона
9 — блок реактивных двигателей (4)
10 — аппаратура SBUV-2
11 — несканирующий радиометр ERBE
12 — радиомаяк/антенна приема командно-программной информации
14 — антенна S-диапазона
15 — сканирующий радиометр ERBE
16 — антенна системы сбора данный с метеоплатформ
17 — устройство MSU
18 — блок датчиков Земли
19 — устройство SSU
20 — устройство HIRIS
21 — платформа крепления приборов ДЗЗ
22 — инерциальный датчик

разница в орбитальных периодах двух оперативных спутников системы каждый раз составляла около 1 минуты, благодаря чему удается избежать ситуации, в которой оба спутника ежедневно осуществляют съемку одних и тех же участков на поверхности Земли в одно и то же время суток. Кроме того, орбита одного из оперативных спутников характеризуется утренним (6.00—10.00) местным временем пересечения экватора в нисходящем узле, а второго — послеполуденным (14.00—18.00) временем пересечения экватора в восходящем узле орбиты.

Задачи и информационные возможности космической системы NOAA во многом совпадают с военной метеорологической системой ВВС США DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), базирующейся на спутниках типа Block-5D2, и в настоящее время рассматриваются пути объединения орбитальных сегментов этих двух систем.

Разработка ИСЗ нового поколения Noaa-K,L,M,N,N' осуществляется той же кооперацией соисполнителей, что и ранее. Запуски спутников запланированы на 1997—2004 гг. при помощи ракеты-носителя Titan-2. Начиная с Noaa-M космические аппараты системы NOAA будут выводиться агентством NASA только на послеполуденные орбиты. Запуски спутников на орбиты с утренним временем пересечения экватора будут осуществляться европейским агентством Eumetsat в рамках программы Metop (п.4.2).

Перспективные космические аппараты Noaa-O,P,Q серии Polar-Next в период с 2005 по 2011 гг. планируется выводить на орбиты с местным временем пересечения экватора около 13 ч 30 мин

4.1.1. *Целевая аппаратура космических аппаратов системы NOAA*

Состав приборов дистанционного зондирования, а также аппаратуры приема и ретрансляции данных, устанавливаемых на существующих спутниках системы NOAA типа Tiros-N, ATN и перспективных серий, приведен в *табл.4.2.*

Таблица 4.2

Комплекты целевой аппаратуры, устанавливаемой на современных космических аппаратах серии Noaa

Наименование аппаратуры	Номер ИСЗ серии Noaa									
	F	G	H	D	J	K	L	M	N	N'
ERBE	+	+								
AVHRR/2	+	+	+	+	+					
HIRS/2	+	+	+	+	+					
SSU	+		+		+					
MSU	+	+	+	+	+					
AVHRR/3						+	+	+	+	+
HIRS/3						+	+	+	+	+
AMSU-A						+	+	+	+	+
AMSU-B						+	+	+		
MHS									+	+
SBUV/2	+		+		+	+		+	+	+
SEM	+	+		+	+	+	+	+	+	+
Argos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
S&R	+	+	+		+	+	+	+	+	+

4.1.1.1. Экспериментальный прибор ERBE (Earth's Radiation Budget Experiment), в состав которого входят сканирующий и несканирующий радиометры, устанавливался на космических аппаратах Noaa-9,10 для изучения радиационного баланса Земли в региональном, континентальном и глобальном масштабах.

Прибор имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.5–0.7, 10.5–12.5, 0.2–4.0 и 0.2–50 мкм;
- пространственное разрешение: 200–250 км по поверхности Земли для несканирующего радиометра, 50 км в надире для сканирующего радиометра;
- ширина полосы обзора: 3000 км.

4.1.1.2. Усовершенствованный радиометр AVHRR/2 (Advanced Very High Resolution Radiometer) предназначен для измерения температуры суши и морской поверхности, наблюдения облачного, снежного и ледового покровов, контроля за осадками, влажностью почв и измерения растительного индекса. Кроме того, результаты космической съемки используются при наблюдении за извержениями вулканов, а также при выявлении и определении границ участков морской поверхности, охваченных нефтяными выбросами. Радиометр дважды в сутки обеспечивает съемку практически всей поверхности Земли и имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.58–0.68, 0.725–1.1, 3.55–3.93, 10.3–11.3, 11.4–12.4 мкм;
- пространственное разрешение в надире: 1.1 км;
- мгновенное поле зрения: 1.3 мрад;
- ширина полосы обзора: около 3000 км;
- угол обзора: ±55.4° от направления в надир;
- частота вращения сканирующего зеркала: 360 об/мин;
- скорость передачи данных радиометра: 665.4 кбит/с в режиме HRPT, 66.54 кбит/с в режиме GAC.

4.1.1.3. Основные технические характеристики радиометра AVHRR/3, планируемого к установке на перспективных ИСЗ Noaa-K,L,M,N,N', совпадают с характеристиками предшествующего образца AVHRR/2.

В состав комплекса TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) входят три отдельных независимых прибора дистанционного зондирования: HIRS/2, SSU и MSU, совместная обработка информации с которых используется для восстановления вертикального профиля температуры атмосферы.

4.1.1.4. Инфракрасный зонд высокого разрешения HIRS/2 (High Resolution Infrared Sounder) разработан отделением Aerospace/Optical фирмы ITT и обеспечивает пошаговую съемку поверхности Земли в направлении поперек трассы ИСЗ. Зонд имеет следующие основные характеристики:

- число спектральных каналов: 20;
- центральные частоты каналов: 0.69, 3.76, 3.98, 4.24, 4.41, 4.46, 4.52, 4.56, 6.72, 7.32, 8.16, 9.71, 11.11, 13.35, 13.64, 13.97, 14.22, 14.49, 14.71 и 14.66 мкм (среди приведенных каналов частота 0.69 мкм соответствует видимому участку спектра, 3.76 мкм — окну прозрачности атмосферы, 4.24 мкм — линии поглощения CO_2, 6.72 — линии поглощения H_2O, 9.71 — линии поглощения O_3, 11.11 — окну прозрачности и 14.66 — линии поглощения CO_2);
- ширина полосы обзора: 2240 км;

- угол обзора: ±49.5° от направления в надир;
- оптическое поле зрения: 1.25°;
- элемент разрешения в надире: круг диаметром 17.4 км;
- элемент разрешения на краю полосы обзора: эллипс 29.9 x 58.5 км (вдоль и поперек трассы соответственно);
- число шагов сканирования поперек трассы: 56;
- продолжительность полного сканирования: 6.4 с;
- шаг сканирования поперек трассы: 1.8°;
- расстояние между двумя сканами вдоль трассы: 42 км;
- скорость выдачи информации: 2880 бит/с.

4.1.1.5. Характеристики зонда HIRS/3, планируемого к установке на перспективных ИСЗ Noaa-K,L,M,N,N', совпадают с приведенными техническими характеристиками прибора HIRS/2.

4.1.1.6. Устройство стратосферного зондирования SSU (Stratospheric Sounding Unit) разработано метеорологической службой Великобритании (United Kingdom Meteorological Office) и предназначено для определения профилей температуры в стратосфере и анализа излучений в верхних слоях атмосферы. В качестве датчиков в приборе используются неохлажденные пироэлектрические детекторы. Устройство имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны частот: 669.99, 669.63 и 669.36 $см^{-1}$;
- ширина полосы обзора: 1473.2 км;
- угол обзора: ±40° от направления в надир;
- поле зрения: 10°;
- элемент разрешения в надире: круг диаметром 147.3 км;
- элемент разрешения на краю полосы обзора: эллипс 186.1 x 244 км (вдоль и поперек трассы соответственно);
- число шагов сканирования поперек трассы: 8;
- время накопления на каждом шаге сканирования: 3.6 с;
- продолжительность полного сканирования: 32 с;
- шаг сканирования поперек трассы: 10°;
- расстояние между двумя сканами вдоль трассы: 62.3 км;
- радиометрическая точность: 4096 уровней квантования;
- скорость выдачи информации: 480 бит/с.

4.1.1.7. Устройство микроволнового зондирования MSU (Microwave Sounding Unit) разработано Лабораторией реактивного движения JPL (Jet Propulsion Laboratory) Калифорнийского технологического института. Характеристики устройства MSU:

- центральные частоты спектральных каналов: 50.3, 53.74, 54.96 и 57.05 ГГц;
- ширина полосы пропускания канала: 220 МГц;
- динамический диапазон измерительной системы: 0–350 K;
- ширина полосы обзора: 2347.2 км;
- угол обзора: ±47.37° от направления в надир;
- поле зрения: 7.5° по уровню 3 дБ;
- элемент разрешения в надире: круг диаметром 109.3 км;

• элемент разрешения на краю полосы обзора: эллипс 178.8 x 370 км (вдоль и поперек трассы соответственно);
• число шагов сканирования поперек трассы: 11;
• время накопления на каждом шаге сканирования: 1.9 с;
• продолжительность полного сканирования: 25.6 с;
• шаг сканирования поперек трассы: 9.47°;
• расстояние между двумя сканами вдоль трассы: 168.1 км;
• радиометрическая точность: 4096 уровней квантования;
• скорость выдачи информации: 320 бит/с.

4.1.1.8. Микроволновое зондирующее устройство AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) предназначено для проведения всепогодных, непрерывных измерений температуры атмосферы на высотах до 45 км. Устройство имеет следующие характеристики:
• рабочие частоты: 23.8, 31.4, 50.3–57.3 и 89 ГГц;
• пространственное разрешение: 50 км в надире;
• ширина полосы обзора: около 2200 км;
• угол обзора: ±48.3° от направления в надир;
• скорость передачи информации: 2.2 кбит/с.

4.1.1.9. Микроволновое зондирующее устройство AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B) обеспечивает всепогодное, непрерывное измерение вертикальных профилей влажности и имеет характеристики:
• рабочие частоты: 89, 157 ГГц и 3 канала на частотах около 183 ГГц;
• пространственное разрешение: около 15 км в надире;
• ширина полосы обзора: около 2200 км;
• угол обзора: ±48.3° от направления в надир;
• скорость передачи информации: 4 кбит/с.

4.1.1.10. Микроволновый датчик MHS (Microwave Humidity Sounder), предназначенный для определения вертикального профиля влажности, планируется использовать вместо устройства AMSU-B. Датчик имеет следующие характеристики:
• рабочие частоты: 89, 166 ГГц и 3 канала на частотах около 183.3 ГГц;
• пространственное разрешение: 13.5 км в надире;
• ширина полосы обзора: 1650 км;
• скорость выдачи данных: 4.2 кбит/с.

4.1.1.11. Аппаратура SBUV/2 (Solar Backscatter Ultraviolet Spectral Instrument) устанавливается на космических аппаратах с послеполуденным временем пересечения экватора. Прибор SBUV/2 представляет собой направленный в надир несканирующий радиометр, предназначенный для анализа содержания в атмосфере малых газовых компонентов, включая озон, контроля солнечного излучения, а также для измерения общей концентрации атмосферного озона с точностью до 1%. Характеристики аппаратуры SBUV/2:
• рабочие диапазоны: 0.1–0.4, 0.252–0.340 мкм;
• пространственное разрешение: 170 км;
• скорость выдачи данных: 320 бит/с.

4.1.1.12. Монитор космической среды SEM (Space Environment Monitor) разработан корпорацией Ford Aerospace and Communication Corp и предназначен для измерения плотности потока протонов, электронов и альфа-частиц приходящего солнечного излучения, анализа энергетического спектра и распределения энергии частиц на высоте размещения космического аппарата. Скорость выдачи информации прибором SEM составляет 160 бит/с. Монитор включает три независимых прибора:
• детектор суммарной энергии TED (Total Energy Detector) обеспечивает определение интенсивности потока частиц с энергиями 0.3–20 кэВ;
• детектор протонов и электронов средних энергий MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector) предназначен для регистрации протонов, электронов и ионов с энергиями от 30 кэВ до более чем 60 МэВ;
• детектор протонов и альфа-частиц высоких энергий HEPAD (High Energy Proton-Alpha Detector) обеспечивает измерение интенсивности потока протонов и альфа-частиц с энергиями приблизительно от 370 МэВ до более чем 850 МэВ.

4.1.1.13. Система ARGOS предназначена для сбора информации и определения координат наземных, морских и воздушных платформ мониторинга окружающей среды с последующей передачей полученных данных в наземные центры обработки. Программа ARGOS является международной и проводится с участием французского космического агентства CNES, американского агентства NASA и организации NOAA. В состав системы входят передающие терминалы пользовательских платформ PTT (Platform Transmitter Terminal), два оперативных космических аппарата системы NOAA, оснащенные бортовой аппаратурой Argos для приема и ретрансляции данных с терминалов PTT, наземные станции приема информации со спутников Noaa, а также два глобальных центра обработки GPC (Global Processing Centre) в Toulouse (Франция) и Landover (шт.Мэриленд).

Платформы с терминалами PTT могут оснащаться различными комплектами датчиков, позволяющими осуществлять сбор информации о состоянии окружающей среды в интересах решения метеорологических, океанографических, гляциологических, гидрологических, сейсмологических и вулканологических задач. Кроме того, терминалы используются для передачи данных с морских нефте- и газодобывающих платформ, с аппаратуры контроля, устанавливаемой на животных, а также в ряде других случаев.

Положение перемещающихся платформ определяется в наземном центре обработки на основе анализа доплеровского сдвига частоты сигналов терминала PTT, принимаемых спутником. Обычно координаты платформы определяются до пяти раз в сутки. Точность местоопределения зависит от числа сообщений (сигнальных посылок), принятых спутником при пролете над платформой. Для однозначного определения координат одно и то же сообщение, периодически передаваемое терминалом PTT, должно быть принято спутником не менее четырех раз. На практике средне-

квадратическая ошибка определения координат платформ с терминалами типа PTT составляет около 350 м, а скорости — 0.5–1.5 м/с. За счет накопления информации о местоположении неподвижной платформы в течении нескольких суток точность определения координат может быть повышена до 30–50 м. Передающие терминалы платформ мониторинга окружающей среды имеют следующие характеристики:

- частота передаваемых сигналов: 401.65 МГц;
- максимально допустимый уход частоты за срок службы: 2 кГц;
- кратковременная (за 100 мс) стабильность частоты: 10^{-9} (для платформ с необходимостью местоопределения), 10^{-8} (для неподвижных платформ);
- долговременный (за 2 час) уход частоты: 400 Гц;
- номинальная выходная мощность: 200 мВт;
- скорость передачи информации с платформы: 720 бит/с;
- поляризация передающей антенны: вертикальная линейная;
- длительность сообщения: 360–920 мс;
- период повтора сообщения: 40–60 с (при местоопределении платформы), 60–200 с (без местоопределения);
- объем передаваемой информации: данные от 4–32 датчиков передаются 8–битными словами;
- масса прибора: 800 г;
- габариты: 21.7 см (высота) x 6.5 см (диаметр).

Бортовое приемное оборудование Argos, устанавливаемое на ИСЗ Noaa, обеспечивает прием сигналов терминалов PTT, удаленных от подспутниковой точки ИСЗ на расстояние до 5000 км. Оборудование космических аппаратов Noaa A-J позволяет одновременно принимать данные с четырех терминалов PTT, а в целом может обслуживаться до 1400 неподвижных терминалов, с которых необходимо только принимать информацию, либо 415 терминалов, для которых нужно проводить и местоопределение. Начиная с Noaa-K будет использоваться бортовое оборудования для одновременного приема сигналов с 8 терминалов, возрастет также и общее число обслуживаемых платформ сбора геофизических данных.

Сброс информации, принятой спутником Noaa и записанной на бортовой магнитофон, осуществляется каждые 100 мин при пролете космического аппарата над наземными станциями в Gilmore Creek (близ Fairbanks, шт.Аляска), Wallops Island (шт.Виргиния) или Lannion (Франция). Далее принятые данные передаются в принадлежащий NOAA национальный центр NESDIS (National Environment Satellite Data and Information Service, шт.Мэриленд), где осуществляется выделение информации, относящейся к системе ARGOS. После этого данные передаются в два центра обработки GPC, в которых вычисляются координаты терминалов PTT и выполняется обработка информации, полученной от датчиков платформ геофизического мониторинга.

4.1.1.14. Аппаратура поиска и спасения S&R (Search and Rescue) устанавливается на спутниках NOAA, начиная с ИСЗ серии ATN, в соответствии с международной программой Коспас/SARSAT, участниками которой являются Великобритания, Канада, Норвегия, Россия, США, Франция и Швеция. Сигналы бедствия передаются потерпевшими аварию кораблями и самолетами на частотах 121.5 или 406.025 МГц, принимаются спутником Noaa и ретранслируются на частоте 1544.5 МГц на наземную станцию LUT (Local User Terminal), откуда затем поступают в соответствующий координационный центр RCC (Rescue Coordination Center). Среднее время ожидания абонентом пролета в его зоне видимости спутника системы NOAA составляет 44 мин, причем при передаче сигналов бедствия в течение 90 мин вероятность приема этих сигналов хотя бы одним полярноорбитальным спутником составляет 0.96.

Если сигнал бедствия передается на частоте 121.5 МГц, то его ретрансляция возможна только в режиме непосредственной передачи на ближайшую станцию LUT. При этом расстояние от станции до терпящего бедствие самолета или корабля не должно превышать 2500 км. Сигналы, передаваемые на частоте 406.025 МГц, могут быть предварительно записаны на бортовой магнитофон, а затем переданы на наземную станцию. Как в первом, так и во втором случаях на станции LUT осуществляется местоопределение района аварии с точностью 5–15 км на основе анализа доплеровского сдвига сигнала бедствия, принимаемого полярноорбитальным спутником.

При разработке целевой аппаратуры, планируемой к установке на перспективных космических аппаратах Noaa-O,P,Q (Polar-Next), в значительной мере будет использован опыт, накопленный за время эксплуатации предшествующих ИСЗ этой и других систем ДЗЗ. Это, как ожидается, приведет к значительному снижению стоимости орбитального сегмента системы. В состав комплекса целевой аппаратуры предполагается включить камеру VIRSR, устройства микроволного зондирования MTS и AMSU-BE, датчик ИК-диапазона IRTS, усовершенствованные систему сбора метеоданных Argos/4 и монитор космической среды SEM, монитор SBUV, систему TOMS, а также аппаратуру приема сигналов бедствия S&R.

4.1.2. *Характеристики радиолиний передачи данных с космических аппаратов системы NOAA*

Управление спутниками серии Noaa и прием телеметрической информации осуществляется с использованием центральных станций NOAA в Wallops Island (шт.Виргиния) и Fairbanks (шт.Аляска). Центр управления полетом находится в Suitland (шт.Мэриленд).

Передача информации реального масштаба времени осуществляется в дециметровом и метровом диапазонах волн. Данные передаются постоянно и могут быть получены практически в любой точке земного шара при использовании соответствующего приемного оборудования. Информация с бортового магнитофона передается на центральные станции NOAA, а также на приемный комплекс французского спутникового метеоцентра (Centre de Meteorologie Spatiale) в Lannion.

Подсистема передачи данных S-диапазона включает три усилителя мощностью 5.25 Вт, подключенные к трем различным слабонаправленным антеннам. Две антенны, работающие на частотах 1698 и 1707 МГц, имеют правую круговую поляризацию излучения, а третья антенна обеспечивает передачу сигналов на частоте 1702.5 МГц с левой круговой поляризацией. Обычно один из каналов используется для непосредственной передачи информации формата HRPT, а два других — для передачи данных с бортового магнитофона, причем канал с частотой передачи 1702.5 МГц считается резервным. Допускается одновременная работа всех трех каналов. На этапе вывода ИСЗ на орбиту один из усилителей S-диапазона подключают к ненаправленной антенне, предназначенной для передачи телеметрической информации.

Передатчик УКВ-диапазона имеет выходную мощность 5 Вт и работает на частоте 137.48 или 137.62 МГц. Передача информации осуществляется постоянно в формате APT. Выбор одной из двух возможных частот передачи осуществляется таким образом, чтобы избежать взаимного влияния сигналов, передаваемых с двух различных спутников Noaa, одновременно находящихся в зоне радиовидимости наземной станции.

Передача снимков облачного покрова Земли от радиометра типа AVHRR массовым потребителям постоянно осуществляется в режиме APT (Automatic Picture Transmission, этот режим иногда обозначается как MRPT: Medium Resolution Picture Transmission) по радиолинии УКВ-диапазона частот, значения основных параметров которой представлены в *табл.4.3*.

Таблица 4.3

Характеристики радиолинии передачи информации среднего разрешения APT

Основные параметры радиолинии	Значение параметра
Частота несущей	137.48 или 137.62 МГц
Относительная стабильность частоты	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
Поляризация передающей антенны	Круговая правосторонняя
Коэффициент усиления антенны	
в направлении в надир	3.7 дБ
в направлении 63° от надира	-0.5 дБ
ЭИИМ в направлении 63° от надира	37.2 дБмВт
Мощность передатчика	37.4 дБмВт (5 Вт)
Вид модуляции несущей	ЧМ
Девиация частоты	±17 кГц
Частота поднесущей	2400 ±0.3 Гц
Индекс модуляции поднесущей	87 ±5%
Вид модуляции поднесущей	АМ-ДБП
Полоса частот модулирующего сигнала	1.6 кГц
Частота строк изображения	120 строк/мин
Разрешающая способность передаваемого изображения	4 км

При этом на борту ИСЗ производится выборка изображений, получаемых в двух диапазонах длин волн (смена диапазонов возможна по команде с Земли, как правило это диапазоны 0.725–1.1 и 10.3–11.3 мкм), и передача их с разрешающей способностью 4 км.

Для передачи изображений облачного покрова Земли от радиометра типа AVHRR (*табл.4.4*) с полным пространственным разрешением 1.1 км постоянно используется режим HRPT (High Resolution Picture Transmission). Информация поступает с высокоскоростного бортового процессора MRPT и имеет кадровую структуру, причем в структуре кадра (11090 слов) имеется пять подкадров:

- 1 подкадр имеет длину 127 слов и представляет собой уникальный цифровой код, используемый для идентификации ИСЗ и синхронизации наземного приемного оборудования;
- 2 подкадр имеет длину 10240 слов, представляет собой данные изображений облачного покрова Земли от радиометра типа AVHRR и имеет собственную кадровую структуру (5 слов в кадре данных от радиометра), причем каждому слову в кадре данных от радиометра соответствуют данные от одного из пяти каналов радиометра (первому и второму слову — от каналов ИК-диапазона, остальным словам — от каналов видимого диапазона длин волн); таким образом, всего в подкадре передается 2048 10-разрядных отсчетов данных от пяти каналов;
- 3 подкадр имеет длину 108 слов и представляет собой данные, используемые для синхронизации наземного оборудования обработки информации, предназначенной для калибровки каналов радиометра типа AVHRR и приема данных от аппаратуры TOVS;
- 4 подкадр имеет длину 95 слов, причем слова с 15 по 94 используются для передачи результатов калибровки каналов радиометра типа AVHRR (первому уровню калибровки соответствуют шесть 10-разрядных отсчетов пяти каналов, второму уровню — десять 10-разрядных отсчетов пяти каналов;
- 5 подкадр имеет длину 520 слов, представляет собой данные прибора TOVS и другой бортовой аппаратуры и имеет собственную кадровую структуру (104 слова в кадре данных блока сканирующих радиометров), причем данные передаются восьмиразрядными словами, преобразованными в 10-разрядные добавлением проверочных символов (девятого — для проверки на четность, десятого — дополнительного к первому символу слова); синхрогруппа кадра данных блока сканирующих радиометров занимает пять слов и имеет в шестнадцатиричном коде вид: EDE2024254, шестое и пятнадцатое слова отведены под счетчики кадров; кроме того, 12 и 13 слова имеют субструктуру (уплотнены десятью и четырьмя каналами), в словах 9–14, 24–26, 31, 39–42, 47–52, 55, 57–58, 60, 65–66, 68, 71, 76, 85, 90–104 передаются быстроменяющиеся параметры, в остальных словах — медленноменяющиеся; пять кадров данных блока сканирующих радиометров, составляющих 5 подкадр, передаются за 0.5 с и, таким образом, скорость передачи этих данных составляет 8.32 кбит/с.

Таблица 4.4

Характеристики радиолинии передачи информации высокого разрешения в режиме HRPT

Основные параметры радиолинии	Значение параметра
Частота несущей	1698, 1707, 1702.5 МГц
Относительная нестабильность частоты	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
Поляризация передающей антенны	
на частотах 1698 и 1707 МГц	круговая правосторонняя
на частоте 1702.5 МГц	круговая левосторонняя
Коэффициент усиления антенны	2.1 дБ
ЭИИМ	40.4 дБмВт
Мощность передатчика	37.2 дБмВт
Вид модуляции несущей	КИМ (ВІФ-L) — ФМ2
Индекс модуляции	$\pm 72^{\circ}$
Скорость манипуляции	1330.8 кбит/с
Полоса частот сигнала	5.3232 МГц
Скорость передачи данных	665.4 кбит/с
Длина слова в двоичных символах	10 (первым в потоке данных следует старший разряд)
Длина кадра	11090 слов
Длина подкадров	127,10240,108,95,520 слов
Скорость передачи кадров изображения	6 кадров/с
Частота строк изображения	360 строк/мин
Количество элементов изображения на строку в каждом из пяти каналов	2048
Разрешающая способность передаваемого изображения	1.1 км

Регистрация информации высокого (полного) разрешения может осуществляться на бортовой магнитофон в течение 10 минут с последующим воспроизведением в режиме LAC (Local Area Coverage) для последующей передачи в наземный метеоцентр. Передаваемая информация поступает с высокоскоростного бортового процессора MIRP (Manipulated Information Rate Processor) со скоростью 2.6616 Мбит/с. Вероятность ошибки при воспроизведении составляет $5 \cdot 10^{-7}$ в начале и 10^{-6} — в конце активного срока существования ИСЗ. При передаче используется модуляция NRZ-ФМн.

Продолжительность регистрации информации низкого (4 км) разрешения на бортовой магнитофон составляет 110 мин. Передача информации низкоскоростного бортового процессора, воспроизводимая с бортового магнитофона в режиме GAC (Global Area Coverage), осуществляется с расщеплением фазы со скоростью 1.33 Мбит/с или 332.7 кбит/с. При этом используется модуляция ФМн/2.

4.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ METOP

Работы по созданию ИСЗ серии Metop осуществляются в рамках международной программы POEM (Polar Orbit Earth observation Mission programme), в соответствии с которой к 2000 г. планируется развернуть систему, сотоящую из двух полярноорбитальных спутников типа Metop и Envisat (п.3.2).

Всего планируется последовательно вывести на орбиту три космических аппарата серии Metop (запуски в 2001, 2005 и 2010 гг.), которые будут обеспечивать страны Западной Европы метеорологическими данными с 2001 по 2014 гг. Рассматривается возможность сокращения серии Metop до двух спутников (запуски в 2001 и 2005 гг.), метеоинформация с которых будет поступать с 2001 по 2010 гг.

Стоимость создания и вывода на орбиту трех космических аппаратов Metop оценивается в 2.8 млрд долл. При этом основное финансовое участие (56%) в создании ИСЗ серии Metop принимают Германия, Франция и Италия /25/.

Запуск космического аппарата Metop-1 запланирован на 2001 г. с французского ракетного полигона Kourou (Фр.Гвиана) при помощи ракеты-носителя Ariane-5. Спутник будет выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту высотой около 800 км.

Состав бортовой аппаратуры дистанционного зондирования космических аппаратов серии Metop во многом повторяет перечень приборов ДЗЗ, использующихся на спутниках Noaa серии ATN (п.4.1.1). Так, на ИСЗ Metop-1,2 планируется установить следующее, общее со спутнками Noaa, оборудование: микроволновое зондирующее устройство AMSU-A, радиометр AVHRR/3, инфракрасный зонд высокого разрешения HIRS/3, микроволновый датчик MHS и монитор космической среды SEM. Кроме того, на космических аппаратах серии Metop будет устанавливаться сканер ScaRab, который используется также на европейском спутнике Envisat-1 (п.3.2.1.5) и российских ИСЗ серии «Метеор-3» и «Метеор-3М». Оригинальными приборами, разработанными специально для спутников серии Metop, являются скаттерометр ASCAT, интерферометр IASI, радиометр MIMR и аппаратура контроля озонового слоя OMI.

Скаттерометр ASCAT (Advanced SCATterometer) разрабатывается европейским космическим агентством ESA и предназначен для определения характеристик ветра над поверхностью моря. Прибор работает в С-диапазоне частот и обеспечивает пространственное разрешение 25 км при ширине полосы обзора 2 x 500 км.

Интерферометр IASI (Infra-red Atmospheric Sounding Interferometer) предназначен для определения температуры и влажности тропосферы, измерения усредненной по высоте концентрации озона, окиси углерода CO, метана, двуокиси азота и других малых газовых компонентов, влияющих на тропосферные химические процессы. Кроме того, прибор обеспечивает определение температуры поверхности моря и суши. Измере-

ния осуществляются в диапазоне 3.4–15.5 мкм с пропусками на длинах волн 5 и 9 мкм. При полосе обзора 2230 км обеспечивается пространственное разрешение 18 и 1–3 км по горизонтали и по вертикали, соответственно. Скорость выдачи информации интерферометром IASI составляет 1.5 Мбит/с.

Микроволновый радиометр MIMR (Multi frequency Imaging Microwave Radiometer) разрабатывается агентством ESA и используется для наблюдения за осадками, водяным паром, морскими приповерхностными ветрами, измерения температуры поверхности моря, определения характеристик морских льдов, снегового покрова и районов вечной мерзлоты, контроля влажности почв. Зондирование осуществляется в диапазоне 6.8–90 ГГц, пространственное разрешение колеблется в пределах 7–8.5 км при проведении съемки в пределах полосы обзора шириной 1600 км. Скорость формирования информационного потока на выходе радиометра MIMR составляет 100 кбит/с.

Аппаратура контроля озонового слоя OMI (Ozone Monitoring Instrument) планируется к установке на космических аппаратах Metop-1,2 и перспективных метеорологических полярноорбитальных спутниках европейского космического агентства.

Начиная с ИСЗ Metop-2 на спутниках этой серии дополнительно будет устанавливаться система сбора информации и определения координат платформ мониторинга окружающей среды Argos (п.4.1.1.13).

4.3. КИТАЙСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИСЗ СЕРИИ FY-1

Китай осуществляет эксплуатацию собственных метеорологических космических аппаратов под общим названием FY (Feng Yun, «Ветер и облачность»), из которых спутники серии FY-1 выводятся на низкие полярные орбиты, а спутники серии FY-2 — планируется выводить на геостационарные орбиты.

Космические аппараты FY разрабатываются в Шанхайском институте спутникового машиностроения (Shanghai Institute of Satellite Engineering) по заказу Китайского государственного комитета по метеорологии (Chinese State Bereau of Meteorology). Бортовая аппаратура дистанционного зондирования создается в Институте технической физики (Shanghai Institute of Technical Physics).

Всего запланировано вывести на орбиту четыре космических аппарата серии FY-1, причем первые два ИСЗ (FY-1A и FY-1B) были запущены с испытательной целью, а два последующих (FY-1C и FY-1D) будут обеспечивать поступление оперативной метеоинформации китайским и зарубежным потребителям. Первый испытательный спутник FY-1A 7 сентября 1988 г. был выведен на орбиту с высотой 881 x 904 км, наклонением 99.13° и послеполуденным временем пересечения экватора. 3 сентября 1990 г. на орбиту высотой 886 x 900 км и с наклонением 98.9° был запущен очередной космический аппарат FY-1B. Запуски были осуществлены при

помощи ракеты носителя CZ-4A с китайского полигона Wuzhai (китайское наименование Taiyuan). Вывод на орбиту двух оперативных космических аппаратов запланирован на 1997/98 и 2000 гг. Расчетный срок активного функционирования как испытательных, так и оперативных спутников составляет 1 год.

Последний из запущенных космических аппаратов FY-1B при выводе на орбиту имел массу 881 кг. Размеры аппаратурной платформы спутника (рис.4.2) составляют 1.4 x 1.4 x 1.4 м, высота ИСЗ с учетом установленных приборов ДЗЗ достигает 1.76 м, общая длина — 8.6 м. Мощность бортовой энергетической установки, в состав которой входят 2 никель-кадмиевые батареи емкостью 48 А·час и солнечные батареи с панелями площадью 6.8 м², составляет 750 Вт. Трехосная стабилизация спутника поддерживалась при помощи системы ориентации, включающей двигатели на жидком азоте, реактивные маховики, гироскопы и инфракрасные датчики горизонта.

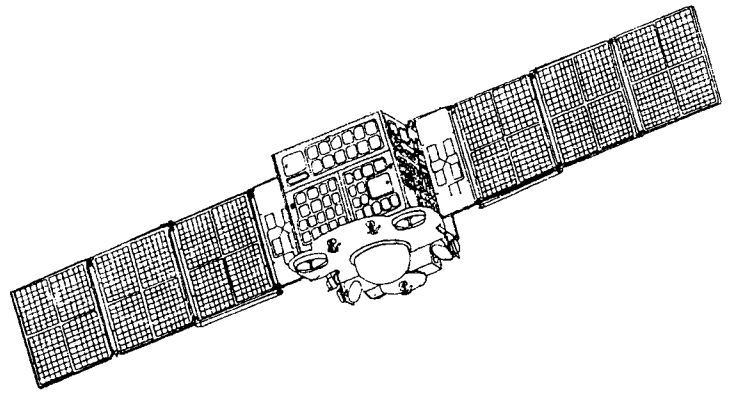


Рис.4.2. Космический аппарат FY-1A.

В качестве аппаратуры дистанционного зондирования на ИСЗ FY-1A,1B устанавливались по два сканирующих радиометра VHRSR (Very High Resolution Scanning Radiometer) и монитор космической среды типа SEM (п.4.1.1.12). Радиометр VHRSR имел следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.48–0.53, 0.53–0.58, 0.53–0.68, 0.725–1.1 и 10.5–12.5 мкм;
- пространственное разрешение: 1.1 км (в видимом диапазоне), 4 км (в ИК-диапазоне);
- ширина полосы обзора: 3000 км;
- масса одного прибора: 95 кг;
- скорость выдачи информации: 665.4 кбит/с.

Передача информации со спутников FY-1A,1B осуществлялась на частотах 137.795 МГц в режиме APT (*табл.4.3*), а также на частотах 1695.5 и

1704.5 МГц в режиме HRPT (*табл.4.4*). В отличие от американских ИСЗ типа Noaa, непрерывно передающих метеоинформацию в режиме АРТ, передача метеокарт с китайских спутников FY-1A,1B осуществлялась, как правило, на восходящих витках в светлое время суток. Кроме того, при передаче сигналов в S-диапазоне частот используется антенна левой круговой поляризации, в отличие от традиционно используемой поляризации с правосторонним вращением.

Оперативные спутники FY-1C,1D планируется оснащать многоспектральными сканирующими радиометрами, которые имеют следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны (10 спектральных каналов): 0.58–0.68, 1.58–1.68, 0.84–0.89, 0.43–0.48, 3.55–3.93, 0.48–0.53, 10.3–11.3, 0.53–0.58, 11.5–12.5, 0.90–0.965 мкм;
- пространственное разрешение: 1.1 км;
- ширина полосы обзора: 3200 км;
- скорость выдачи информации: 1.3308 Мбит/с.

Космические аппараты типа FY-1 пролетают над территорией Китая 7 раз в сутки. Основные центры приема информации дистанционного зондирования со спутников этой серии, расположенные в Пекине, Гуанчжоу (Guangzhou) и Урумчи (Urumqi), обеспечивают суммарную зону обслуживания, полностью покрывающую всю территорию Китая. С пунктов приема метеоинформация поступает в спутниковый метеорологический центр (Satellite Meteorological Centre), находящийся в Пекине, в котором осуществляются обработка и архивирование полученных данных. Для передачи обработанной информации местным потребителям используются радиорелейные и спутниковые каналы связи.

4.4. РОССИЙСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА «МЕТЕОР»

4.4.1. *Общая характеристика программы «МЕТЕОР»*

Начало штатной эксплуатации российской метеорологической системы на базе космических аппаратов серии «Метеор» датируется 1969 годом, когда на орбиту был выведен первый спутник первого поколения «Метеор-1-1». Этому предшествовали трехлетние испытания, на протяжении которых на орбиту выводились опытные образцы метеорологических спутников серии «Космос». Космические аппараты второго поколения типа «Метеор-2» начали эксплуатироваться с 1975 г., ИСЗ третьего поколения типа «Метеор-3» — с 1984 г. К настоящему времени по программе «МЕТЕОР» запущено более 50 космических аппаратов. Вывод на орбиту первого спутника очередной серии «Метеор-3М» запланирован на 1998 г.

К основным задачам системы «МЕТЕОР» относятся:

- получение глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра;

- получение глобальных данных о вертикальном профиле температуры;
- непрерывное наблюдение за потоками проникающих излучений в околоземном космическом пространстве.

Космические аппараты «Метеор» первого поколения выводились на типовую орбиту высотой 800–900 км, второго поколения — около 950 км, третьего — 1200 км. При этом увеличение высоты орбиты осуществлялось с целью расширения полосы обзора бортовой аппаратуры дистанционного зондирования. Ожидается, что спутники очередной серии «Метеор-3М» будут функционировать на рабочей орбите высотой около 1000 км с наклонением 98° (*табл.4.5*). Все космические аппараты типа «Метеор» выводятся на орбиту с полигона Плесецк, исключение составляют четыре спутника серии «Метеор-1», запущенные в 1977–1981 гг. с полигона Тюратам в качестве испытательных образцов по программе «Ресурс-О».

Таблица 4.5

Последние выполненные и запланированные запуски космических аппаратов по программе «МЕТЕОР»

Наименование ИСЗ	Дата запуска	Наклонение орбиты, град.	Высота орбиты, км
«Метеор-3–5»	08.91	82.5	1200
«Метеор-2–24»	08.93	82.5	900
«Метеор-3–7»	01.94	82.5	1200
«Метеор-3–8»	1998	82.5	1200
«Метеор-3М-1»	1998	98	1000
«Метеор-3М-2»	1998	98	1000
«Метеор-3М-3»	1999	98	900
«Метеор-3М-4»	2000	98	900

Разработку космических аппаратов «Метеор» осуществляет ВНИИ Электромеханики. Расчетный срок активного существования спутников составляет 2–3 года. Космический аппарат третьего поколения «Метеор-3» (рис.4.3) имеет массу на орбите 2215 кг, из которых 700 кг приходится на полезную нагрузку. Спутник имеет трехосную систему стабилизации с точностью 0.5°. Высота цилиндрического корпуса спутника диаметром 1.4 м достигает 4.2 м, размеры панелей солнечной батареи составляют 2 х 10 м. Бортовая энергетическая установка обеспечивает мощность, выдаваемую в нагрузку, 500 Вт.

4.4.2. *Аппаратура дистанционного зондирования, устанавливаемая на космических аппаратах серии «Метеор»*

Перечень аппаратуры дистанционного зондирования, устанавливаемой на современных спутниках серии «Метеор», приведен в *табл.4.6*.

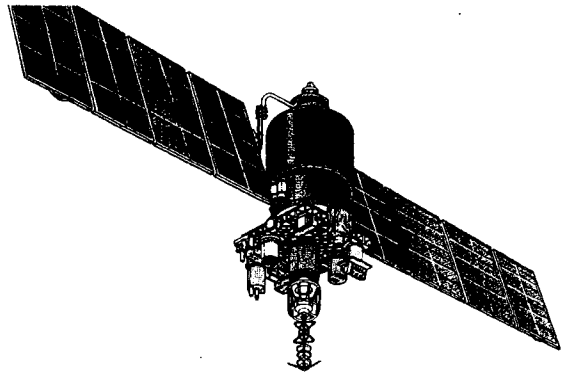


Рис.4.3. Космический аппарат серии «Метеор-3».

Таблица 4.6

Комплекты аппаратуры ДЗЗ, устанавливаемой на спутниках серии «Метеор»

Аппаратура ДЗЗ	Номер ИСЗ типа «Метеор»							
	2–24	3–5	3–7	3–8	3М-1	3М-2	3М-3	3М-4
174–К		+				+	+	+
БУФС-4						+	+	+
ИСП			+	+	+	+	+	+
КГИ-4					+	+	+	+
«Климат»				+				
«Климат-2»						+	+	+
МЗОАС					+	+	+	+
МИВЗА				+				
МИВЗА-М						+	+	+
МР-2000	+							
МР-2000М		+	+	+				
МР-900	+							
МР-900Б		+		+				
МСР					+			
МТЗА					+	+	+	+
РМК-2	+	+	+	+				
СФМ-2		+		+				
PRARE			+					
SAGE III					+			
ScaRab				+	+	+	+	+
TOMS		+				+	+	+

4.4.2.1. Спектрометр инфракрасного диапазона 174-К предназначен для измерения вертикальных температурных профилей, определения влажности и концентрации озона в атмосфере. Основные характеристики спектрометра 174-К:

- рабочие диапазоны: 9.6 мкм (участок поглощения озона), 11.10 мкм (окно прозрачности атмосферы), 15.02 мкм (участок поглощения углекислого газа), 13.33, 13.70, 14.24, 14.43 и 14.75 мкм (участки поглощения водяного пара);
- пространственное разрешение: 42 км;
- ширина полосы обзора: 1000 км.

4.4.2.2. Спектрометр ультрафиолетового диапазона БУФС-4 устанавливается на космических аппаратах серии «Метеор-3М» и предназначен для измерения профилей концентрации озона в атмосфере. Радиометр будет иметь 12 каналов в участке спектра 0.25–0.35 мкм и обеспечивать съемку с угловым разрешением 3 x 3° в полосе обзора шириной 3100 км. Точность измерения концентрации при этом будет достигать 2%.

4.4.2.3. Камера КГИ-4, размещаемая на спутниках серии «Метеор-3М», предназначена для исследования потоков частиц и электромагнитного излучения.

4.4.2.4. Аппаратура изучения потоков солнечного излучения ИСП устанавливается на двух последних космический аппаратах серии «Метеор» третьего поколения «Метеор-3-7, -8» и на спутниках четвертого поколения типа «Метеор-3М». Аппаратура обеспечивает анализ излучений в широком диапазоне спектра от 0.1 до 100 мкм.

4.4.2.5. Аппаратура «Климат» используется для получения изображений облачного покрова Земли, снежных и ледовых полей, измерения температуры поверхности моря. Съемка осуществляется в тепловом инфракрасном диапазоне спектра 10.5–12.5 мкм с пространственным разрешением в надире 3 x 3 км. Полоса обзора составляет при этом 3100 км.

4.4.2.6. Аппаратура «Климат-2» устанавливается на спутниках «Метеор-3М» нового поколения и обеспечивает наблюдение поверхности суши в двух диапазонах спектра: 0.65–1.0 и 10.5–12.5 мкм. Съемка осуществляется в полосе обзора 3000 км с разрешением 1 км.

4.4.2.7. Аппаратура микроволнового зондирования МЗОАС обеспечивает определение влагосодержания облаков и снежного покрова, измерение температуры морской поверхности, снежных и ледовых полей. В аппаратуре предусмотрено 10 измерительных каналов, работающих на частотах 6, 11, 19, 22, 35 и 94 ГГц, Пространственное разрешение в полосе обзора 1500 км составляет 160, 80, 40, 36, 22 и 9 км, соответственно.

4.4.2.8. Аппаратура микроволнового зондирования МИВЗА предназначена для определения влажности атмосферы. Зондирование осуществляется на частотах 20, 35 и 94 ГГц при этом в полосе обзора шириной 1500 км обеспечивается разрешение 80, 55 и 20 км, соответственно. Характеристики усовершенствованной аппаратуры микроволнового зондирования атмосферы МИВЗА-М, которую помимо спутников серии «Ме-

теор-3М» планируется устанавливать также на космическом аппарате «Ресурс-О2», приведены в п.2.7.2.4.

4.4.2.9. Радиометр МР-2000 обеспечивает получение изображений облачного покрова Земли, снежных и ледовых полей в полосе обзора 2600 км с пространственным разрешением в надире 1 км. Съемка осуществляется в видимом диапазоне спектра 0.5—0.8 мкм. На модернизированном радиометре МР-2000М с разрешением 0.7 x 1.4 км ширина полосы обзора увеличена до 3100 км, что позволяет производить 5—7-кратную ежедневную съемку заданного участка на широтах выше 20—30°.

4.4.2.10. Радиометр МР-900 предназначен для съемки облачного покрова, снежных и ледовых полей в видимом участке спектра 0.5—0.8 мкм с разрешением 2 км в полосе обзора шириной 2100 км, что соответствует сектору обзора 90°. В модернизированном радиометре МР-900Б улучшено пространственное разрешение до 2 x 1 км одновременно с увеличением ширины полосы обзора до 2600 км.

4.4.2.11. Многоспектральный радиометр МСР предназначен для построения изображений поверхности Земли в видимом, ближнем ИК и тепловых ИК диапазонах спектра и имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.5—0.7, 0.8—1.0, 10.4—11.3 и 11.5—12.5 мкм;
- пространственное разрешение: 1 км;
- радиометрическая точность в тепловых ИК-диапазонах: 0.15 К;
- ширина полосы обзора: 2700 км;
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 1.3 Мбит/с.

4.4.2.12. Аппаратура микроволнового зондирования для измерения температурных профилей МТЗА представляет собой 15-канальный зондировщик с рабочими частотами: 20, 35, 52.28, 52.85, 53.33, 54.4, 55.45 и 56.968 ГГц. В полосе обзора 1500 км на разных частотах обеспечивается пространственное разрешение соответственно от 80 до 20 км.

4.4.2.13. Радиационно-магнитометрический комплекс РМК-2 устанавливается на спутниках «Метеор» второго и третьего поколений и предназначен для исследования потоков заряженных частиц и электромагнитного излучения, а также для определения характеристики магнитного поля Земли.

4.4.2.14. Спектрометр СФМ-2 предназначен для измерения профилей концентрации озона в ультрафиолетовом участке спектра 0.26—0.40 мкм с угловым разрешением 40 x 10°.

4.4.2.15. Экспериментальное оборудование SAGE III (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment) разработано исследовательским центром космического агентства NASA в Langley и предназначено для изучения профиля озонового слоя, анализа содержания в атмосфере водяного пара NO_2, OClO и аэрозолей, а также измерения температуры и атмосферного давления. Прибор обеспечивает съемку в диапазоне 0.29—1.55 мкм с пространственным разрешением 1—2 км. Передача данных осуществляется со скоростью 100 кбит/с в течение 24 мин на каждом витке.

Кроме того, на космических аппаратах серии «Метеор» устанавливаются сканер для изучения радиационного баланса Земли ScaRab французской разработки (п.3.2.1.5), система точного измерения параметров орбиты PRARE немецкого космического агентства DARA (п.3.1.2.6) и спектрометр для изучения озонового слоя Земли TOMS агентства NASA (п.8.2). Размещение аппаратуры ДЗЗ иностранного производства на отечественных спутниках системы «МЕТЕОР» практикуется с 1991 г., когда на ИСЗ «Метеор-3-5» был впервые установлен спектрометр TOMS. Передача данных с аппаратуры TOMS ежесуточно осуществлялась на приемные станции, расположенные в Wallops (шт.Виргиния) и Обнинске.

На спутниках первого поколения сброс метеоданных осуществлялся только при пролете в зонах радиовидимости пунктов приема в Москве, Новосибирске и Хабаровске. Начиная с запущенного в 1971 г. ИСЗ «Метеор-1-10» данные стали передаваться массовым потребителям в стандартном режиме APT (Automatic Picture Transmission, *табл.4.3*). Передача информации в этом режиме осуществляется непрерывно, однако при пролете спутника над теневой стороной Земли трансляция снимков, полученных в видимом участке спектра, прекращается.

Прием высокоскростной гелиогеофизической информации производится в оперативных центрах приема и обработки данных Росгидромета в Москве, Хабаровске и Новосибирске.

5 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ

Геостационарные метеорологические спутники образуют составную часть глобальной системы наблюдений в рамках Всемирной метеорологической организации WMO (World Meteorological Organisation), являющейся важным элементом Всемирной службы погоды WWW (World Weather Watch). В настоящее время метеорологическими спутниками на геостационарной орбите обладают Евронейское космическое агентство (система METEOSAT), Индия (ситема INSAT), Россия (ИСЗ «Электро»), США (система GOES) и Япония (система GMS). Ожидается, что с конца 1997 г. к этим странам присоединится и Китай после запуска космического аппарата FY-2.

На международном уровне согласование вопросов совместного применения спутниковых метеосистем с 1972 г. осуществляется координационной группой по геостационарным метеорологическим ИСЗ CGMS, которая в 1990 г. была преобразована в координационную группу по метеорологическим спутникам. Кроме того, в рамках WMO требования к информационным возможностям, основным характеристикам и форматам выходной продукции геостационарных метеоспутников разрабатываются группой экспертов, входящей в Исполнительный совет экспертов по спутникам ECSAT, действующий с 1973 г. Развитие подсистемы метеорологических спутников на геостационарных орбитах тесно увязывается с проводимыми под эгидой WMO проектами создания глобальной системы наблюдения за климатом GCOS (Global Climate Observation System) и глобальной системы наблюдения за океаном GOOS (Global Ocean Observation System).

Помимо участия в глобальных проектах, геостационарные метеорологические спутники совместно с космическими аппаратами, находящимися на низких приполярных орбитах («Метеор» — в России, FY-1 — в Китае и NOAA — в США), образуют национальные спутниковые метеорологические системы. В соответствии с этим деятельность экспертов Исполнительного совета ECSAT обусловливается как «глобальными» интересами WMO, так и требованиями, предъявляемыми национальными и региональными пользователями.

Структура и принципы построения подсистемы метеорологических ИСЗ на геостационарных орбитах выбираются с учетом следующих основных требований:

- число спутников на геостационарной орбите должно быть достаточным, чтобы обеспечивать наблюдение и доведение метеоинформации в пределах широтного пояса 50° СШ — 50° ЮШ;
- сбор метеорологической информации должен осуществляться непрерывно;
- периодичность выдачи потребителям обновленных метеоданных не должна превышать 0.5 часа.

Эти требования в полной мере реализуются подсистемой геостационарных ИСЗ из пяти спутников: двух американских, европейского, российского и японского космического аппарата. Метеорологическая система Индии INSAT ориентирована в основном на удовлетворение запросов внутренних потребителей: метеоинформация в стандартном формате WEFAX, принятом для передачи метеорологических данных в широковещательном режиме, с космических аппаратов этой системы не поступает.

5.1. ГЕОСТАЦИОНАРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА GOES

Спутниковая метеорологическая система GOES базируется на двух геостационарных космических аппаратах типа Goes (Geostationary Operational Environmental Satellite) и обеспечивает получение оперативной информации о состоянии погоды, заблаговременное выявление опасных природных явлений типа ураганов и сильных штормов, сбор и ретрансляцию в наземный центр обработки данных с наземных, морских и воздушных платформ мониторинга окружающей среды, а также получение информации о состоянии околоземного космического пространства.

В качестве базовых районов размещения орбитального сегмента системы GOES выбраны участки геостационарной орбиты с подспутниковыми точками около 75° ЗД («восточный» ИСЗ) и 135° ЗД («западный» ИСЗ), благодаря чему осуществляется непрерывное наблюдение территории США и Южной Америки, а также акваторий прилегающих океанов.

В то же время, реальное положение оперативных ИСЗ Goes на геостационарной орбите может отличаться от указанных точек (*табл.5.1*) в следующих случаях:

- в системе остается лишь один работоспособный спутник;
- для усиления системы привлекаются европейские метеорологические ИСЗ Meteosat;
- орбитальный сегмент системы задействуется при проведении различных экспериментов;
- ИСЗ Goes с неработоспособной аппаратурой ДЗЗ используются в качестве ретрансляторов обработанной на Земле метеоинформации.

Таблица 5.1

Запуски и положение на орбите существующих и перспективных космических аппаратов Goes

ИСЗ	Ракета-носитель функционирования	Дата запуска	Подспутниковые точки за период активного
Goes-A (1)	Delta-2914	17.10.75	60° ВД, 116° и 135° ЗД
Goes-B (2)	Delta-2914	16.06.77	105°,60° и 135° ЗД
Goes-C (3)	Delta-2914	16.06.78	130°,176° ЗД
Goes-D (4)	Delta-3914	10.09.80	135°,43° ЗД
Goes-E (5)	Delta-3914	23.05.81	75°,60°-145° ЗД
Goes-F (6)	Delta-3914	29.04.83	135°,98°,108° ЗД
Goes G	Delta-3914	03.05.86	Авария при выводе в точку 70° ЗД
Goes-H (7)	Delta-3924	26.02.87	80°,108°,98°,112° ЗД
Goes-I (8)	Atlas-1	13.04.94	90° ЗД
Goes-J (9)	Atlas-1	23.05.95	135° ЗД
	Планируемые запуски ИСЗ системы GOES		
Goes-K	Atlas-1	апрель 1999	
Goes-L	Atlas-1	апрель 2000	
Goes-M	Atlas-1	апрель 2004	

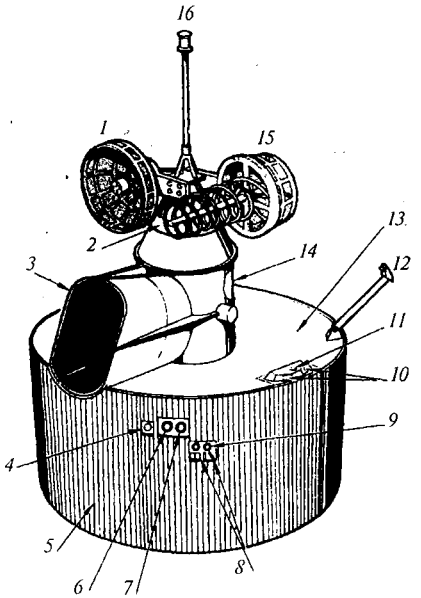


Рис.5.1. Космический аппарат Goes первого поколения:

1 — антенна S-диапазона с высоким коэффициентом усиления
2 — платформа противовращения
3 — антибликовый экран аппаратуры VAS
4 — датчик рентгеновского излучения
5 — детектор HEPAD из состава комплекса SEM
6–9 — датчики Земли и Солнца системы ориентации и стабилизации ИСЗ
10 — двигатели поперечной тяги
11 — двигатели продольной тяги
12 — магнитометр
13 — теплоизоляционный слой
14 — аппаратура VAS
15 — антенна УКВ-диапазона
16 — ненаправленная биконическая антенна S-диапазона

Порядок нумерации спутников Goes совпадает с правилами, принятыми для космических аппаратов системы NOAA. По мере изготовления спутникам последовательно присваиваются буквенные индексы Goes-A,B,C...), а после удачного вывода на рабочую орбиту — порядковые номера (Goes-1,2,3...).

Головным разработчиком космических аппаратов Goes A-H является фирма Hughes Aircraft. Спутники такого типа (рис.5.1) стабилизированы вращением со скоростью 100 об/мин, имеют цилиндрический корпус диаметром 2.15 и высотой 1.5 м, причем общая высота ИСЗ с учетом аппаратуры ДЗЗ и размещенных на платформе противовращения приемо-передающих антенн достигает 3.53 м. Масса ИСЗ с разгонным блоком составляет 835 кг, а после вывода на геостационарную орбиту — 399 кг. Панели солнечных батарей, размещенные на боковых стенках вращающейся части корпуса, обеспечивают мощность системы энергообеспечения 450 Вт в начале и 330 Вт в конце активного срока существования. В области тени электропитание обеспечивается двумя никель-кадмиевыми аккумуляторными батареями.

Космические аппараты Goes I-M /13/ разрабатываются отделением Space Systems американской корпорации Loral при участии отделения Aerospace/Communications фирмы ITT в части разработки аппаратуры ДЗЗ. ИСЗ Goes второго поколения (рис.5.2) имеют увеличенный до 5 лет расчетный срок службы и стабилизированы по трем осям с точностью 42 мкрад, что соответствует погрешности наведения датчиков не более ±4 км на экваторе. Масса космического аппарата составляет 2 т при выводе и 1 т после вывода на геостационарную орбиту.

Контроль состояния и управление космическими аппаратами Goes второго поколения осуществляется из центра управления SOCC (Space Operations Control Center), находящегося в Suitland (шт.Мэриленд). Прием первичной информации дистанционного зондирования, обработка спутниковых снимков и их последующая ретрансляция через ИСЗ Goes осуществляется на наземной станции управления и сбора данных CDAS (Command and Data Acquisition Station), принадлежащей NOAA и расположенной в Wallops Island (шт.Виргиния). Кроме того, на станции CDAS размещено резервное оборудование управления спутниками системы GOES, которое будет задействовано в случае аварии в центре SOCC.

5.1.1. ***Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Goes***

Перечень приборов ДЗЗ, устанавливаемых на космических аппаратах системы GOES, представлен в *табл.5.2.*

5.1.1.1. В качестве основной аппаратуры дистанционного зондирования на ИСЗ Goes первого поколения использовался комплекс VISSR & VAS (Visible and Infrared Spin-Scan Radiometer (VISSR) & Vissr Atmospheric Sounder). Прибор VISSR осуществлял построение изображения диска Земли в дневное и ночное время, а режим VAS использовался при проведении экспериментальных измерений. Изображение формировалось благодаря собственному вращению ИСЗ (горизонтальная развертка) и за счет

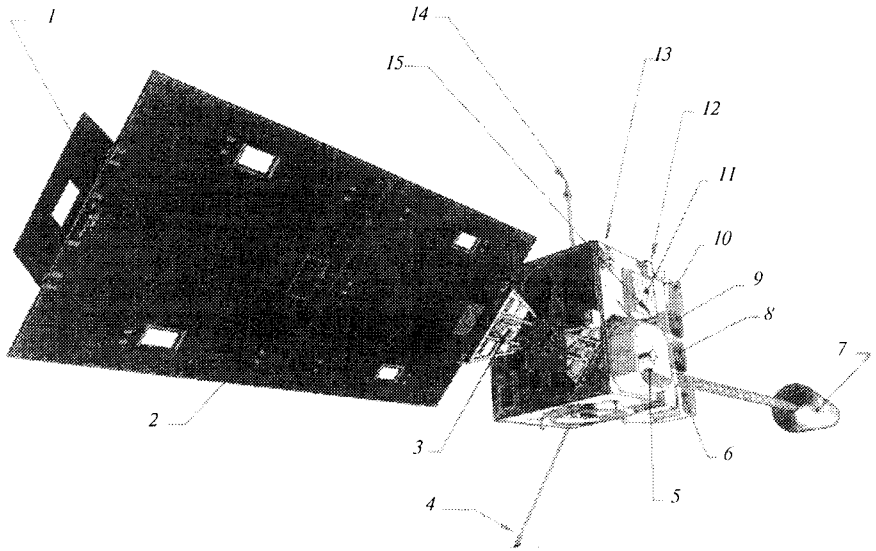


Рис.5.2. Космический аппарат Goes второго поколения:

1 — триммер
2 — панель солнечной батареи
3 — датчик рентгеновского излучения
4 — спаренные магнитометры
5 — антенна УКВ-диапазона
6 — блок охлаждения камеры Imager
7 — солнечный парус
8 — камера Imager
9 — камера Sounder
10 — блок охлаждения камеры Sounder
11 — передающая антенна S-диапазона
12 — приемная антенна S-диапазона
13 — датчики Земли
14 — антенна телеметрической и командной радиолиний
15 — антенна системы поиска и спасения S&R

пошагового сканирования оптической системы телескопа (вертикальная развертка). Прибор VISSR, установленный на ИСЗ Goes-7, имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.55–0.75 мкм (видимый участок спектра, 8 детекторов на фотоумножителях), 3.84–4.06, 6.40–7.08, 10.4–12.1 и 12.5–12.8 мкм (ИК-диапазоны);
- мгновенное поле зрения в направлении запад-восток x север-юг: 0.75 x 0.86 км в видимом участке спектра, 6.9 x 6.9 км в диапазоне 10.4–12.1 мкм, 13.8 x 13.8 км — в остальных диапазонах;
- пространственное разрешение в подспутниковой точке, соответствующее изображениям, обработанным с учетом избыточного наблюдения каждого элемента разрешения: 0.75 x 0.86 км в видимом участке спектра, 3.0 x 6.9 км в диапазоне 10.4–12.1 мкм, 3.0 x 13.8 км — в остальных диапазонах;

- число уровней квантования изображения в видимом участке спектра: 64 (ширина интервала «трех сигма» соответствует ±2 отсчетам яркости);
- температурное разрешение в ИК-диапазонах: 0.25 К (при регистрации теплового потока с радиационной температурой 300 К) и 6.0 К — для участка 3.84–4.06 мкм, 1.0 К (230 К) — для участка 6.40–7.08 мкм, 0.1 К (300 К) и 0.2 К (230 К) — для участка 10.4–12.1 мкм, 0.4 К (300 К) и 0.8 К (230 К) — для участка 12.5–12.8 мкм;
- точность географической привязки изображений: 3–10 км;
- число строк в изображении земного диска: 1820;
- продолжительность формирования изображения: 1092 с.

Таблица 5.2

Состав целевой аппаратуры, устанавливаемой на ИСЗ серии Goes

Наименование аппаратуры	Номер ИСЗ серии Goes					
	H	I	J	K	L	M
VISSR	+					
VAS	+					
SEM	+	+	+	+	+	+
Imager		+	+	+	+	+
Sounder		+	+	+	+	+
SXI		+				
WEFAX	+	+	+	+	+	+
DCS	+	+	+	+	+	+
S&R	+	+	+	+	+	+

В режиме VAS съемка изображения осуществляется в видимом диапазоне и в 12-ти ИК-диапазонах, расположенных в участке спектра 3.9–14.7 мкм, с пространственным разрешением 13.8 км. Инфракрасные диапазоны выбраны таким образом, чтобы соответствовать линиям поглощения углекислого газа (7 диапазонов), водяного пара (3 диапазона) и окнам прозрачности атмосферы (2 диапазона).

5.1.1.2. Возможности монитора космической среды SEM (Space Environment Monitor), устанавливаемого на ИСЗ Goes, в целом аналогичны соответствующему прибору ИСЗ серии Noaa (п.4.1.1.12).

5.1.1.3. На космических аппаратах Goes второго поколения устанавливается расширенный состав бортовой аппаратуры дистанционного зондирования с улучшенным пространственным и частотным разрешением. Пятиканальный радиометр Imager используется для изучения облачного покрова и осадков, предупреждения о сильных штормах с высокой точностью географической привязки изображений. Радиометр Imager выполняется по схеме Кассегрена с диаметром входной апертуры 31.1 см и имеет следующие характеристики (на примере ИСЗ Goes-I):

• рабочие диапазоны: 1 канал (8 детекторов) видимого участка спектра 0.52–0.72 мкм, а также ИК-каналы в диапазонах 3.78–4.03, 6.47–7.02, 10.2–11.2 и 11.5–12.5 мкм;

• мгновенное поле зрения в направлениях запад-восток х север-юг: 1.0 х 1.0 км в видимом участке спектра, 8.0 х 8.0 км в диапазоне 6.47–7.02 мкм, 4.0 х 4.0 км — в остальных диапазонах;

• пространственное разрешение в подспутниковой точке, соответствующее изображениям, обработанным с учетом избыточного наблюдения каждого элемента разрешения: 0.57 х 1.0 км в видимом участке спектра, 2.3 х 8.0 км в диапазоне 6.47–7.02 мкм, 2.3 х 4.0 км — в остальных диапазонах;

• число уровней квантования изображения в видимом участке спектра: 1024 (ширина интервала «трех сигма» соответствует ±8 отсчетам яркости);

• температурное разрешение в ИК-диапазонах: 0.15 К (при регистрации теплового потока с радиационной температурой 300 К) и 3.5 К (230 К) — в диапазоне 3.78–4.03 мкм, 0.3 К (230 К) — в диапазоне 6.47–7.02 мкм, 0.2 К (300 К) и 0.4 К (230 К) — в диапазоне 10.2–11.2 мкм, 0.2 К (300 К) и 0.4 К (230 К) — в диапазоне 11.5–12.5 мкм;

• точность географической привязки изображений: 2–4 км;

• скорость выдачи информации ДЗЗ: 2.6208 Мбит/с.

5.1.1.4. Устройство вертикального зондирования Sounder предназначено для измерения температуры и влажности атмосферы, а также изучения облачности на различных высотах. Зондирование осуществляется в одном видимом (с низким разрешением) и 18-ти тепловых инфракрасных участках спектра. По сравнению с режимом VAS, использующемся на спутниках первого поколения для зондирования атмосферы в 12-ти участках ИК-диапазона, повышено спектральное разрешение, оптимизировано число и состав спектральных диапазонов и повышена точность измерений. Предусмотрена одновременная работа приборов Sounder и Imager. Устройство Sounder имеет следующие характеристики:

• рабочие диапазоны ИК-участка спектра: 3.67–3.81 мкм (измерение температуры поверхности и влажности), 3.94–4.01 мкм (температура поверхности), 4.09–4.16 мкм (температура граничного слоя), 4.43–4.47, 4.50–4.55 и 4.55–4.60 мкм (температура в тропосфере), 6.39–6.64, 6.82–7.22 и 7.31–7.56 мкм (влажность), 9.60–9.82 мкм (общее содержание озона), 10.73–11.67 мкм (температура поверхности), 11.67–12.39 мкм (температура поверхности, влажность), 12.42–12.90 мкм (общее содержание водяного пара), 13.23–13.51, 13.51–13.79 и 13.95–14.20 мкм (температура в тропосфере), 14.24–14.49 мкм (температура тропопаузы), 14.58–14.86 мкм (температура в стратосфере);

• пространственное разрешение: 10 км;

• темп зондирования: 40 отсчетов/с;

• период интегрирования одного отсчета: 0.1, 0.2 или 0.4 с;

• точность измерения яркостной температуры: 1 К (абсолютная), 0.3 К (относительная);

• число уровней квантования: 8192;

• скорость выдачи информации ДЗЗ: 40 кбит/с.

5.1.1.5. На космическом аппарате Goes-M, планируемом к запуску в 2004 г., предполагается установить также камеру SXI (Sloar X-ray Imager), предназначенную для исследования солнечной короны, предупреждения геомагнитных бурь, изучения вспышек на Солнце и областей солнечной активности. Передача данных ДЗЗ с камеры будет осуществляться со скоростью около 100 бит/с.

5.1.1.6. Устанавливаемая на спутниках системы GOES система сбора данных DCS (Data Collection System) в целом аналогична той, что используется на космических аппаратах Adeos-2 (п.2.4.2.6), Alos и Mos-1B. Спутники Goes первого поколения обслуживали до 12000 платформ сбора данных, действующих в интересах 300 потребителей. С вводом космических аппаратов системы GOES второго поколения число обслуживаемых платформ DCP было увеличено до 56000. Различают три основных типа платформ: с передачей информации по жесткой временной программе; с передачей информации при выявлении определенных событий (измеряемые величины достигают установленного порога); а также платформы, передающие информацию при поступлении запроса, ретранслированного из наземного центра через ИСЗ Goes (запросный сигнал передается на спутник на частоте 2035 МГц, принимается антенной S-диапазона с высоким коэффициентом усиления, а затем ретранслируется на платформу DCP по радиолинии с частотой 468.85 МГц с использованием ненаправленной спиральной антенны и передатчика мощностью 10 Вт).

Информация с платформ DCP (Data Collection Platform), передаваемая на частоте 401 МГц со скоростью 100 бит/с (для приема на спутнике используется ненаправленная спиральная антенна), ретранслируется спутником Goes на станцию CDAS (Wallops, шт.Виргиния) по радиолинии с частотой 1694.5 МГц (для передачи используется антенна с высоким коэффициентом усиления и передатчик мощностью 20 Вт), где она проходит первичную обработку, а затем переправляется в центр NOAA World Weather Building, находящийся в Camp Springs (шт.Мэриленд), для дальнейшего распределения среди потребителей. Предусмотрено три режима доведения информации до конечных пользователей: в реальном масштабе времени через национальную спутниковую систему связи США DOMSAT; по выделенной линии связи в синхронном режиме; по асинхронной телефонной линии связи с использованием модемов. Ранее предусматривалась также возможность передачи данных с ИСЗ Goes на наземную станцию через спутник системы ретрансляции данных TDRSS на частоте 2287.5 МГц со скоростью 1 кбит/с.

5.1.1.7. Аппаратура поиска и спасения S&R (Search and Rescue) в соответствии с программой Коспас/SARSAT устанавливается на космических аппаратах системы GOES начиная с ИСЗ Goes-G. Сигналы бедствия передаются потерпевшими аварию кораблями и самолетами на частоте

406.025 МГц, а затем на частоте 1544.5 МГц ретранслируется спутником на наземные станции LUT (Local User [illegible]) в соответствующие координационные центры RCC (Rescue Coordination Center). Преимуществом использования в системе поиска и спасения Коспас/SARSAT геостационарных ИСЗ Goes по сравнению с полярно-орбитальными спутниками серии Noaa (п.4.1.1.14) является то, что в первом случае обеспечивается непрерывный прием сигналов бедствия, а недостатками — отсутствие возможности определения координат аварийного самолета или корабля, а также ограниченная зона обслуживания геостационарного спутника.

5.1.2. ***Особенности передачи информации ДЗЗ с космических аппаратов Goes второго поколения***

Первичные изображения, полученные камерами Imager и Sounder, а также данные с монитора космической среды SEM передаются на станцию CDAS по радиолинии в диапазоне 1.7 ГГц (на спутниках первого поколения передача осуществлялась на частоте 1681.6 МГц при помощи передатчика мощностью 20 Вт). После обработки полученных данных ретрансляция осуществляется в формате переменной длины GVAR (Goes I-M Variable). Данные в формате GVAR представляют собой последовательность из 12 блоков переменной длины, причем в первом блоке передаются служебные данные камеры Imager, в следующих десяти блоках - изображение от камеры Imager, а в последнем блоке — информация от камеры Sounder.

Формат GVAR используется вместо режима AAA, ранее применявшегося на спутниках первого поколения. В режиме AAA прошедшие предварительную обработку данные в виде последовательности из 12 блоков фиксированной длины передавалась из CDAS на частоте 2029 МГц со скоростью 1.75 Мбит/с, а затем ретранслировались конечным потребителям на частоте 1687.1 МГц при помощи передатчика мощностью 20 Вт.

Передача сигналов в режиме WEFAX со спутников типа Goes I-M осуществляется на частоте 1691.0 МГц. Каждые полчаса со спутника может быть передано до 13 изображений, при этом наземная станция CDAS обеспечивает ретрансляцию через ИСЗ Goes изображения в режиме WEFAX в течение данного получасового интервала (синоптического срока). Основные характеристики режима WEFAX приведены в *табл.5.3.* Изображения передаются из CDAS на спутник по радиолинии с частотой 2033 МГц, для передачи WEFAX-изображений конечным потребителям используется антенна S-диапазона частот с высоким коэффициентом усиления.

Кроме того, в принадлежащем NOAA информационном центре NESDIS (National Environment Satellite Data and Information Service, шт.Мэриленд) на основе информации, поступающей со спутников системы GOES, формируются полные изображения диска Земли, фрагментированные изображения диска и изображения отдельных участков земного диска /13/. Эта информация распределяется среди пользователей через существующую систему распространения данных со спутников Goes, получившую наименование GOES-Tap, а также через систему распространения цифровых данных GINI (Goes-I NOAA-PORT Interface) и Национальную службу погоды NWS (National Weather Service), которая является составной частью Системы обработки информации о погоде AWIPS (Advanced Weather Information Processing System).

5.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА METEOSAT

Международная спутниковая система METEOSAT базируется на геостационарных космических аппаратах и предназначена для решения задач глобального метеорологического обеспечения потребителей в европейском, азиатском и африканском регионах. Руководство и обеспечение работ по программе METEOSAT с июня 1986 г. осуществляется организацией Eumetsat, штаб-квартира которой находится в Darmstadt (Германия). Создание и вывод на орбиту космических аппаратов серии Meteosat, а также управление оперативными ИСЗ системы, прием и распределение спутниковой метеорологической информации осуществляется европейским космическим агентством ESA в интересах сообщества Eumetsat.

К началу 90-х годов на программу METEOSAT было затрачено более 530 млн экю, из которых относительные вклады стран-участниц Eumetsat распределились следующим образом, %: Германия — 26.39, Франция — 25.6, Великобритания — 16.76, Италия — 12.0, Испания — 5.24, Бельгия — 4.4, Швейцария — 3.03, Нидерланды — 3.0, Швеция — 0.93, Дания — 0.58, Норвегия — 0.5, Турция — 0.5, Финляндия — 0.35, Греция — 0.3, Португалия — 0.3, Ирландия — 0.11.

5.2.1. ***Орбитальный сегмент системы METEOSAT***

Создание и совершенствование орбитального сегмента по программе METEOSAT осуществляется поэтапно.

1. Пробный запуск первого космического аппарата серии Meteosat состоялся 23 ноября 1977 г. с восточного ракетного полигона США при помощи ракеты-носителя Delta. С запуска этого спутника началось участие космического агентства ESA в международных экспериментах по изучению погодных явлений WWW (World Weather Watch) в рамках глобальной программы по исследованию атмосферы GARP (Global Atmospheric Research Programme). Эксплуатация ИСЗ Meteosat-1 продолжалась до октября 1985 г. К этому времени со спутника удалось получить более 40 тыс. качественных снимков поверхности Земли и было принято решение продолжить программу METEOSAT, для чего в период с 1984-го по 1994 гг. вывести на орбиту еще 5 спутников такого типа.

2. Очередной, промежуточный, этап (Preoperational Programme) был вызван необходимостью запуска новых спутников взамен и в дополнение к устаревшему ИСЗ Meteosat-1 до того, как будут завершены работы по созданию первого поколения спутников Meteosat серии МОР.

Космический аппарат Meteosat-2, запущенный 19 июня 1981 г. с полигона Kourou (Фр.Гвиана) при помощи РН Ariane-1, был оснащен модифицированным с учетом опыта эксплуатации предшествующего спутника радиометром, устойчивым к воздействию тряски на борту ракеты-носителя. Несмотря на то, что расчетный срок активного существования спутников этого поколения составляет 3 года, реальная продолжительность эксплуатации космического аппарата Meteosat-2 превысила 10 лет. К декабрю 1991 г. было получено около 248 тыс.снимков, после чего спутник был выведен из оперативного использования.

Успешный запуск очередного космического аппарата Meteosat-3 состоялся 15 июня 1988 г. с полигона Kourou при помощи ракеты-носителя Ariane-4. За время своего существования ИСЗ дважды переводился из района с подспутниковой точкой 3° ЗД в район 50°/75° ЗД и передавался в аренду организации NOAA для замены аварийного космического аппарата Goes-6. В феврале 1993 г. введена в эксплуатацию новая станция приема информации с ИСЗ Meteosat-3 в Wallops Island (шт.Виргиния), которая функционирует как удаленный пункт европейского центра космических операций ESOC (European Space Operations Centre). Принимаемая метеоинформация по спутниковым линиям связи переправляется в штаб-квартиру ESOC (Darmstadt), там обрабатывается, передается обратно в Wallops Island, а затем транслируется на борт ИСЗ Meteosat-3, откуда распределяется конечным потребителям.

3. Эксплуатация первой серии оперативных космических аппаратов MOP (Meteosat Operational Programme) начата 6 марта 1989 г. с запуска ИСЗ Meteosat-4, который являлся основным космическим аппаратом системы с июня 1989 г. по декабрь 1993 г., вплоть до запуска ИСЗ Meteosat-6.

Гарантируемый срок активного существования спутников серии MOP (Meteosat-4,5,6) увеличен до 5 лет. Разработка космических аппаратов осуществляется фирмами Aerospatiale (головной исполнитель), MMS (радиометр и система ориентации спутника), ANT Nachrichtentechnik (радиопередающие устройства), Alenia (системы управления и телеметрии), ETCA (система энергообеспечения), MBB (конструкция ИСЗ и система термостабилизации).

Масса спутника серии MOP составляет 681 кг, включая 39 кг гидразина и 2 кг зарезервированного топлива для схода с геостационарной орбиты после вывода ИСЗ из оперативного использования. Космический аппарат имеет форму ступенчатого цилиндра с максимальным диаметром 2.1 м и общей высотой 3.195 м. Солнечные батареи размещены на 6 основных панелях, расположенных на поверхности корпуса, мощность энергетической установки 300 Вт в начале существования и 200 Вт в конце. Спутник стабилизирован вращением со скоростью 100 об/мин вокруг оси, параллельной оси Земли. Скорость вращения поддерживается постоянной с помощью двух гидразинных двигателей. Две пары более мощных двигателей обеспечивают управление наклонением и прецессией оси вращения, а также удержание спутника в направлении запад-восток. Для основного космического аппарата системы METEOSAT допускается дрейф вдоль экватора на 1° от запланированного района размещения.

Вывод на орбиту ИСЗ Meteosat-5 состоялся 2 марта 1991 г. с полигона Kourou при помощи ракеты-носителя Ariane-4. Изображения, передаваемые с борта этого спутника, не отвечали установленным требованиям и в связи с этим ИСЗ Meteosat-4 по-прежнему остался основным космическим аппаратом системы, а Meteosat-5 стал использоваться в качестве резервного.

Успешный вывод на орбиту ИСЗ Meteosat-6 осуществлен 20 ноября 1993 г. Этот космический аппарат является основным в системе METEOSAT вплоть до настоящего времени, а ИСЗ Meteosat-4,5 находятся в орбитальном резерве.

4. Очередная серия спутников по программе METEOSAT, получившая наименование MTP (Meteosat Transition Programme), является промежуточной при переходе к ИСЗ второго поколения серии MSG и включает два космических аппарата: Meteosat-7,8.

Запуск первого ИСЗ этой серии запланирован на июнь 1997 г., однако, в случае удовлетворительного функционирования предшествующего спутника Meteosat-6, может быть перенесен на более поздний срок. По своим характеристикам космические аппараты серии MTP аналогичны аппаратам серии MOP и разрабатываются сложившейся кооперацией соисполнителей во главе с французской фирмой Aerospatiale.

5. Вывод на орбиту первого спутника Meteosat второго поколения MSG-1 (Meteosat Second Generation) предполагается осуществить в 2000 г. Запуски двух последующих ИСЗ этой серии (MSG-2 и MSG-3) запланированы на 2002 и 2006 гг., соответственно. Космические аппараты Meteosat второго поколения будут предназначены преимущественно для решения следующих задач:

- получение обзорных многоспектральных изображений с улучшенным пространственным, временным и спектральным разрешением, необходимых для формирования текущих и краткосрочных прогнозов;
- получение изображений в видимом диапазоне спектра с высоким пространственным разрешением, соответствующим снимкам класса AVHRR (п.4.1.1.2), необходимых для среднемасштабного конвекционного анализа над Европой;
- анализ динамики перемещения воздушных масс и получение текущих прогнозов на основе проведения съемки в диапазонах, соответствующих линиям поглощения воды и углекислого газа;
- получение информации дистанционного зондирования, необходимой для проведения климатического мониторинга и контроля состояния окружающей среды;
- сбор данных с морских и наземных метеорологических платформ.

5.2.2. *Аппаратура дистанционного зондирования оперативных ИСЗ Meteosat*

5.2.2.1. Основным прибором, установленным на космических аппаратах Meteosat 3–7, является радиометр видимого и инфракрасного диапазонов MVIRI (Meteosat Visible and Infra-red Imager), при помощи которо-

го осуществляется наблюдение облачного покрова Земли, измеряются влажность верхних слоев тропосферы и температура поверхности моря, решается ряд других прикладных и научно-исследовательских задач дистанционного зондирования.

Радиометром MVIRI съемка выполняется в трех спектральных диапазонах: 0.5–0.9, 5.7–7.1 и 10.5–12.5 мкм. Продолжительность формирования изображения полного диска Земли составляет 25 мин, после чего следует 5-минутный период возвращения радиометра в исходное состояние и его стабилизации. Оптическая система радиометра состоит из подвижной первичной апертуры Ричи-Кретьена диаметром 40 см и телескопа с фокусным расстоянием 365 см, приводимого в движение высокоточным шаговым двигателем. Телескоп разворачивается на 0.125 мрад по широте за один оборот спутника вокруг своей оси, в результате чего поверхность Земли сканируется с шагом 5 км с юга на север. Ширина просматриваемого углового сектора по долготе составляет 18°. Получаемые в диапазонах 5.7–7.1 и 10.5–12.5 мкм изображения состоят из 2500 строк по 2500 пикселей в каждой, что соответствует пространственной разрешающей способности 5 км. В диапазоне 0.5–0.9 мкм предусмотрены два одновременно работающих детектора, обеспечивающие получение изображения из 5000 строк с разрешением 2.5 км. Все четыре детектора (два в первом рабочем диапазоне и по одному в остальных) зарезервированы. Скорость выдачи информации составляет 333 кбит/с.

5.2.2.2. На оперативных космических аппаратах серии МОР размещена аппаратура сбора информации с морских и наземных метеорологических платформ DCP (Data Collection Platform), предназначенная для приема метеоданных на частотах 402.0 и 402.2 МГц с их последующей ретрансляцией в наземный центр обработки.

5.2.2.3. На космических аппаратах второго поколения (серия MSG) планируется устанавливать усовершенствованную камеру видимого и ИК-диапазонов SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager), предназначенную для наблюдения динамики облачного покрова, измерения высоты облачности и выделения массивов перистых облаков, изучения особенностей перемещения воздушных масс, контроля интенсивности осадков и состояния тропопаузы, определения общей концентрации озона и измерения температуры поверхности моря. Камера SEVIRI имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.5–0.9 мкм (широкополосный диапазон в видимом участке спектра); 0.56–0.71, 0.71–0.95, 1.44–1.79 мкм (узкополосные диапазоны видимого и ближнего инфракрасного участков); 3.40–4.20, 8.3–9.1, 9.8–11.8, 11.0–13.0 (диапазоны, соответствующие окнам прозрачности атмосферы); 5.35–7.15, 6.85–7.85 (диапазоны, соответствующие линиям поглощения водяного пара); 9.46–9.94 (линия поглощения озона) и 13.04–13.76 (линия поглощения углекислого газа);
- пространственное разрешение в надире: 1 км (широкополосный видимый диапазон), 3 км (остальные диапазоны);

- периодичность получения изображения полного диска Земли: 15 мин;
- скорость формирования выходного информационного потока: 2.8 Мбит/с.

5.2.2.4. Аппаратура исследования энергетического баланса Земли GERBI (Geostationary Earth Radiation Budget Instrument), планируемая к установке на космических аппаратах MSG-1,2,3, будет иметь следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.2–4 и 4–50 мкм;
- пространственное разрешение в надире: 48 км;
- периодичность получения изображения полного диска Земли: от 15 мин до 1 ч.

5.2.3. ***Радиолинии передачи информации с ИСЗ Meteosat серии МОР***

Космический аппарат Meteosat серии МОР имеет две антенные системы (рис.5.3) /26/.

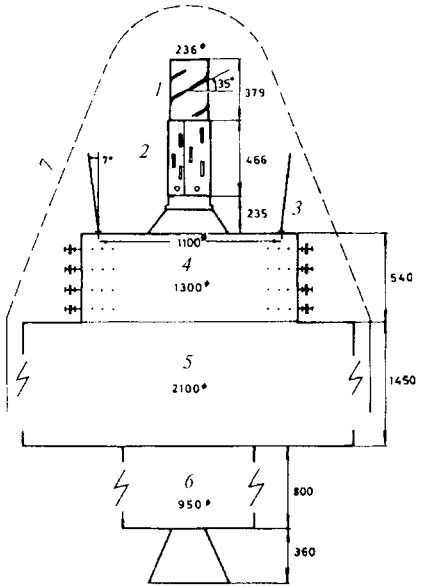


Рис.5.3. Антенные системы космического аппарата Meteosat серии МОР (размеры показаны в мм):

1 — антенна системы сбора информации с метеоплатформ;
2 — слабонаправленная антенна S-диапазона;
3 — турникетная антенна;
4 — антенна с электронным противовращением;
5 — корпус ИСЗ;
6 — разгонный блок;
7 — обтекатель ракеты-носителя.

По периметру более узкой части цилиндрического корпуса ИСЗ размещены дипольные элементы, составляющие первую антенную систему. Включение элементов осуществляется последовательно по мере вращения спутника, таким образом обеспечивается электронное «противовращение» диаграммы направленности антенной системы S-диапазона частот, которая используется для передачи изображений со скоростью 333 кбит/с и телеметрии, а также приема командно-программной информации.

Вторая антенная система включает турникетную, волноводно-щелевую и спиральную антенны с низким коэффициентом усиления, расположенные соосно космическому аппарату и формирующие тороидальные диаграммы направленности для передачи и приема информации в УКВ и S-диапазонах частот.

Радиолинии передачи информации, предусмотренные в космических аппаратах системы METEOSAT, функционально могут быть разделены на каналы передачи следующих данных: изображений реального масштаба времени; метеоинформации, прошедшей предварительную обработку в наземном центре; метеоинформации, передаваемой в рамках службы MDD; ретранслированных данных с наземных платформ DCP; а также телеметрической и командно-программной информации.

5.2.3.1. Изображения реального масштаба времени передаются на частоте 1686.833 МГц по радиоканалу со следующими характеристиками:

- вид модуляции: ОФМ;
- скорость манипуляции: 666 кбит/с;
- скорость передачи информации: 333 кбит/с;
- вид кодирования: BIФ;
- передаваемая информация имеет кадровую структуру, длина слова составляет 16 бит.

5.2.3.2. После обработки в наземном центре информация передается на борт ИСЗ по двум каналам: «канал-1» — 2101.5 МГц, «канал-2» — 2105.0 МГц. Ретрансляция обработанных изображений потребителям осуществляется также по двум каналам.

В «канале-1» (1691.0 МГц) в режиме разделения времени передается информация двух типов:

а) снимки и метеокарты в обычном аналоговом режиме WEFAX (WEather FAXimile, *табл.5.3,* рис. 5.4.), совместимом с режимами передачи изображений с других геостационарных метеорологических спутников и с режимом APT, использующемся в спутниках системы NOAA; эта информация доступна простейшими пользователям «вторичной информации» SDUS (Secondary Data User Station);

б) информация с приемника метеорологических данных, передаваемых с платформ на частоте в диапазоне 402.0—402.2 МГц (DCP retransmissions).

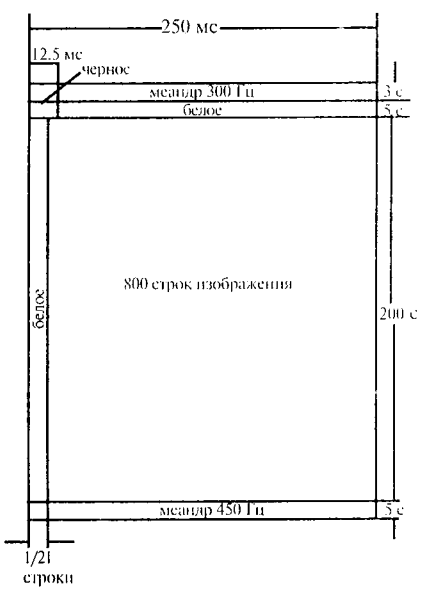


Рис.5.4. К иллюстрации режима WEFAX.

Таблица 5.3

Характеристики передачи изображений в режиме WEFAX

Основные параметры радиолинии	Значение параметра
Частота несущей	1691.0 и 1694.5 МГц
Относительная стабильность частоты	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
Поляризация	линейная (в плоскости экватора)
ЭИИМ	18.2 дБВт
Вид модуляции несущей	ЧМ
Девиация частоты	±13 кГц
Частота поднесущей	2.4 ±0.3 кГц
Вид модуляции поднесущей	АМ-ДБП
Полоса частот модулирующего сигнала	1.7 кГц
Частота строк изображения	240 строк/мин
Пространственное разрешение в подспутниковой точке	2.5 или 5.0 км

В «канале-2» (1694.5 МГц) передаются цифровые изображения с высоким разрешением для пользователей «первичной информации» PDUS (Primary Data User Station).

В режиме разделения времени передается информация от одного из четырех источников:

а) кодирующее устройство канала формирования цифрового изображения, полученного радиометром MVIRI в спектральном диапазоне 0.5—0.9 мкм;

б) кодирующее устройство каналов формирования цифровых изображений, полученных радиометром MVIRI в диапазонах 5.7—7.1 и 10.5—12.5 мкм;

в) бортовой накопитель сигналов;

г) приемник метеоданных, передаваемых из метеоцентра на борт ИСЗ Meteosat в режиме WEFAX, и содержащих:

- результаты наземной обработки изображений, передаваемых в метеоцентр с бортового сканирующего радиометра VISSR ИСЗ Goes в режиме APT;
- авиационные метеокарты для служб гражданской авиации, функционирующих в Европе и Африке;
- метеокарты высот облачного покрова, получаемые из метеорологического информационного центра MIEC (Meteorological Information Extraction Centre), находящегося в Darmstadt (Германия).

В «канале-2» от источников типа «а», «б» и «в» передаются изображения высокого разрешения в режиме HR (High Resolution, *табл.5.4*) с использованием форматов A, B и X (п.5.2.4.1). От источника типа «г» изображения передаются в режиме WEFAX.

Таблица 5.4

Характеристики режима передачи снимков высокого разрешения HR

Основные параметры радиолинии	Значение параметра
Частота передачи информации	1691.0 и 1694.5 МГц
Относительная стабильность частоты	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
Поляризация	линейная (в плоскости экватора)
ЭИИМ	18.2 дБВт
Вид модуляции несущей	КИМ (ВІФ-L) — ФМ2
Индекс модуляции	±72°
Скорость манипуляции	333.3 кбит/с
Полоса частот сигнала	1.333 МГц
Скорость передачи данных	166.666 кбит/с
Длина слова	8 бит
Длина кадра	364 слов
Длина суперкадров	4 или 8 кадров
Пространственное разрешение в подспутниковой точке	2.5 или 5.0 км

5.2.3.3. Передача цифровых факсимильных снимков и обычной метеорологической информации из центра обработки на борт ИСЗ Meteosat осуществляется на частотах 2106.105 и 2106.435 МГц. После этого метеоданные ретранслируются метеослужбам Африки и Среднего Востока в рамках Службы распространения метеорологической информации MDD (Meteorological Data Dissemination service) на частотах в диапазоне 1695.605–1695.935 МГц (каналы NN 1–4 MDD), в том числе:

а) на частоте 1695.725 МГц (канал N2 MDD) передаются шифрованные факсимильные сигналы метеокарт, формируемые метеослужбой Bracnella (близ Лондона, Великобритания) исключительно в интересах правительственных метеорологических служб; данные передаются со скоростью 2400 бит/с (техническая скорость 4800 бит/с), при этом используются бифазное кодирование и модуляция ОФМ;

б) на частоте 1695.7874 МГц (канал N4 MDD) метеорологическим службам передаются шифрованные (кодированные по стандарту Всемирной метеорологической организации WMO) сигналы, формируемые находящейся в Риме метеослужбой; характеристики передаваемых сигналов при этом аналогичны приведенным по п.«а».

5.2.3.4. Информация с платформ сбора данных DCP передается на борт ИСЗ Meteosat на частотах 402.0–402.2 МГц и ретранслируется в европейский центр космических операций ESOC на частотах 1675.181–1675.381 МГц, а затем распределяется по пользовательским терминалам через спутниковые системы ретрансляции данных.

5.2.3.5. Телеметрическая информация передается с борта спутника на частоте 1675.928 МГц, вид модуляции КИМ-ФМ2/180-ЧМ. Для передачи телеметрии используется направленная антенна S-диапазона частот с

высоким коэффициентом усиления, а на этапе вывода ИСЗ на орбиту — ненаправленная антенна S-диапазона частот. Командная информация принимается на частоте 2098.0 МГц с помощью направленной антенны S-диапазона с высоким коэффициентом усиления.

В *табл.5.5* приведены энергетические характеристики радиолинии передачи данных в режиме HR с ИСЗ Meteosat серии МОР /22/.

Таблица 5.5

Порядок расчета энергетических характеристик радиолинии ИСЗ Meteosat

№	Наименование учитываемого параметра	Значение параметра
1	ЭИИМ	+48.8 дБмВт
2	потери на распространение	-188.8 дБ
3	потери на наведение антенны (±1°)	-0.9 дБ
4	КНД приемной антенны с диаметром зеркала 4 м	+35 дБ
5	потери в фидерных линиях	-0.2 дБ
6	потери на отражение	-0.2 дБ
7	принимаемая мощность (1+2+3+4+5+6)	-106.3 дБмВт
8	модуляционные потери	-1.3 дБ
9	эффективный принимаемый сигнал (7 + 8)	-107.6 дБмВт
10	шумовая температура антенны для угла места 30°	70 К
11	шумовая температура РПУ	75 К
12	шумовая температура системы (10+11)	145 К (21.6 дБ/К)
13	спектральная плотность шума 198.6+(12)	-177 дБмВт/Гц
14	скорость передачи информации 166 кбит/с	+52 дБ/Гц
15	общая мощность шума (13+14)	-124.8 дБмВт
16	отношение с/ш (9 -15)	+17.2 дБ
17	потери демодулятора	+3 дБ
18	эффективное отношение с/ш (16 -17)	+14.2 дБ
	требуемое отношение с/ш для вероятности ошибки:	
19	10^{-6}	+10.5 дБ
20	10^{-5}	+9.5 дБ
	запас мощности для вероятности ошибки:	
21	10^{-6} (18 -19)	+3.7 дБ
22	10^{-5} (18 -20)	+4.7 дБ
23	добротность системы (G/T) (4+5+6+12)	+13 дБ

5.2.4. *Форматы передачи информации, прошедшей предварительную обработку в наземном центре*

5.2.4.1. Передача изображений высокого разрешения потребителям первичной информации на наземные станции типа PDUS круглосуточно осуществляется в режиме HR в соответствии с установленным расписанием. При этом используются форматы, имеющие условные обозначения «А», «В» и «Х». Продолжительность передачи каждого цифрового сним-

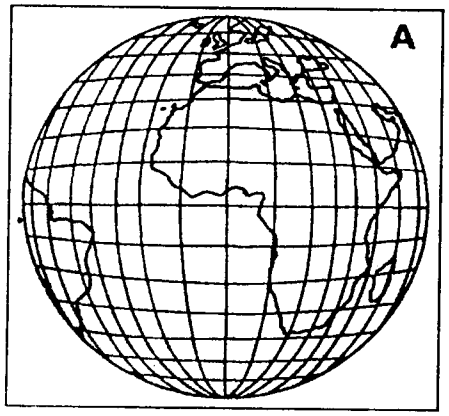


Рис.5.5. Передача изображений в формате «А».

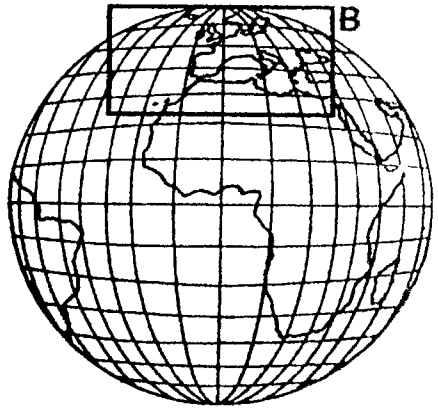


Рис.5.6. Передача изображений в формате «В».

ка зависит от размеров наблюдаемого участка и используемых спектральных каналов. Так, минимальная продолжительность передачи данных (в формате «В») составляет 1.4 мин, максимальная продолжительность передачи данных (в формате «А») достигает 30 мин. Для того, чтобы исключить наложения передаваемых данных в системе используются ежечасные защитные интервалы длительностью 4 минуты.

Кроме того, космическим аппаратом Meteosat ретранслируются снимки, предварительно переданные в наземный центр обработки Lannion (Франция) с космического аппарата системы GOES.

Формат «А»: полное изображение диска Земли (рис.5.5) в трех спектральных диапазонах передается каждые 3 часа. Изображения, передаваемые в этом формате, используются преимущественно центром космических операций ESOC. Размеры изображения, полученного в видимом диапазоне, составляют 5000 x 5000 пикселов, в инфракрасных диапазонах — 2500 x 2500 пикселов.

Формат «В»: изображение района, охватывающего европейский, североафриканский и ближневосточный регионы (рис.5.6), полученное в трех диапазонах спектра передается два раза в час. Изображения, передаваемые в этом формате, используются преимущественно центром ESOC. В видимом диапазоне формируется изображение 2500 x 1250 пикселов (размеры соответствуют направлениям запад-восток x север-юг), а в ИК-диапазонах — 1250 x 625 пикселов.

Формат «X»: изображение района, охватывающего североамериканский и центральную часть южноамериканского континента (рис.5.7), полученное аппаратурой ИСЗ Goes в видимом и ИК диапазонах спектра

Рис.5.7. Передача изображений в формате «X».

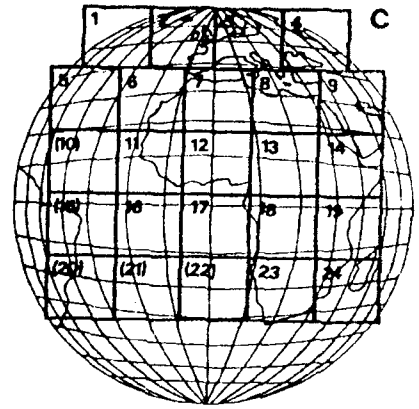


Рис.5.8. Передача изображений в формате «С».

передается каждые 3 часа. Пространственное разрешение в надире составляет 3.5 км в видимом участке спектра (размеры изображения 2500 x 2500 пикселов) и 7 км в ИК-диапазоне (1250 x 1250 пикселов).

5.2.4.2. Потребителям вторичной информации, оснащенным наземными станциями класса SDUS, круглосуточно в стандартном режиме WEFAX передаются секторизованные изображения Европы и Африки, полученные в трех спектральных диапазонах. При этом в видимом и ИК-диапазонах обеспечивается пространственное разрешение 2.5 и 5 км, соответственно. Продолжительность передачи изображения каждого сектора составляет 3.6 мин

Также в режиме WEFAX космическим аппаратом Meteosat осуществляется ретрансляция снимков североамериканского и южноамериканского континентов, переданных в наземный центр в Lannion со спутника Goes.

Формат «С» представляет собой изображение полного диска Земли (рис.5.8) в видимом диапазоне спектра. Диск разбивается на 24 сектора, изображение каждого из которых передается 3.6 мин каждые 0.5, 1.5 или 3 часа в соответствии с расписанием, приведенным в *табл.5.6.*

Таблица.5.6

Периодичность передачи изображений в формате «С»

Номер сектора	1,5,16,17	4,6–9,11–14,18,19,23,24	2,3	10,15.20–22
Периодичность передачи, час	3	1.5	0.5	непериодическая

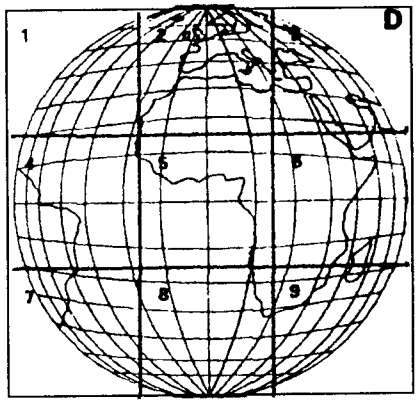


Рис.5.9. Передача изображений в формате «D».

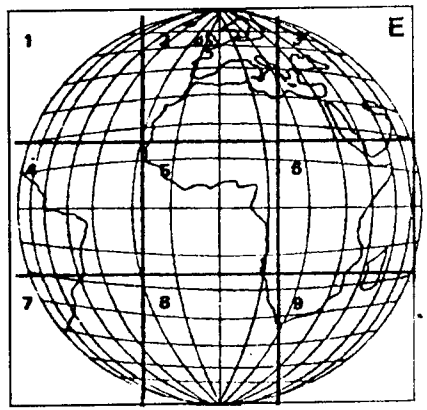


Рис.5.10. Передача изображений в формате «E».

Формат «D»: изображение полного диска Земли в ИК-диапазоне, разбитое на 9 секторов (рис.5.9), передается по секторам с периодичностью, приведенной в *табл.5.7.*

Формат «E»: каждые 6 часов осуществляется передача секторизованного изображения полного диска Земли (рис.5.10), полученного в диапазоне 5.7–7.1 мкм (данные о концентрации водяного пара).

Таблица.5.7

Периодичность передачи изображений в формате «D

Номер сектора	1,3,4,5,6,7,8,9	2
Периодичность передачи, час	3	0.5

Форматы «R» и «Y» используются при передаче ИК-изображений соответственно южноамериканского и североамериканского континентов (рис.5.11), полученных восточным ИСЗ Goes с долготой подспутниковой точки 75° ЗД. Информация со спутника Goes передается в наземный центр обработки в Lannion (Франция) для ретрансляции через ИСЗ Meteosat на пункты приема класса SDUS. Пространственное разрешение передаваемых изображений составляет 6.9 км. Периодичность передачи формата «R» — 12, а формата «Y» — 3 часа.

Формат «Z» соответствует передаче изображения района, охватывающего восточную часть США (рис.5.12), полученного космическим аппаратом системы GOES в видимом участке спектра. Пространственное разрешение передаваемых изображений составляет 3.5 км. Периодичность передачи изображений — 3 часа.

Рис.5.11. Передача изображений в форматах «R», «Y».

Рис.5.12. Передача изображений в формате «Z».

5.2.4.3. Перечень метеокарт, передаваемых через ИСЗ Meteosat из национальных метеорологических центров, приведен в *табл.5.8.* Карты преимущественно используются службами управления воздушным движением и содержат информацию о верхней границе облачности. Для представления значений высоты верхней границы облачности (ВВГО), усредненных в пределах ячеек 25 x 25 км, используется 8-балльная шкала: черный цвет указывает на отсутствие облаков или ВВГО ниже 3000 м; 6 серых цветов соответствуют ВВГО от 5000 до 12000 м; белый цвет свидетельствует о наличии облаков на высоте выше 12000 м. Точность измерения высоты верхней границы облачности составляет 850 м. Карты формируются 2–4 раза в день и передаются в 03.00, 09.00, 15.00 и 21.00 по гринвичскому времени.

Таблица 5.8

Характеристики метеорологических карт, передаваемых ИСЗ Meteosat

Содержание карты	Тип карты	Передающий метеоцентр	Частота передачи карты, час	Номер канала (п.5.2.3.2)
Карта погоды 300 mb (*Европа и Зап.Африка*)	Прогностическая	Париж	12	1
Метеокарта (*Европа и Зап.Африка*)	Прогностическая	Париж	12	1
Карта погоды 300 mb (*Европа и Вост.Африка*)	Прогностическая	Рим	12	1

Метеокарта (*Европа и Вост.Африка*)	Прогностическая	Рим	12	1
Метеокарта (*Европа*)	Прогностическая	Оффенбах	12	1
Карта погоды 300 mb (*Европа*)	Прогностическая	Оффенбах	12	1
Метеокарта (*Европа*)	Прогностическая	Оффенбах	12	1
Карта погоды 300 mb (*Африка*)	Прогностическая	Найроби через Оффенбах	12	2
Метеокарта (*Африка*)	Прогностическая	Найроби через Оффенбах	12	2
ВВГО	Текущая	центр MIEC	6	2

5.2.4.4. Метеорологические карты и цифровая метеоинформация, полученные в информационном центре MIEC, поступают в глобальную систему GTS (Global Trunk System), центр которой находится в Offenbach, для распределения среди потребителей. При этом пользователям предоставляется следующая информация:

- результаты измерения характеристик ветра (скорость ветра определяется с точностью 3 м/с) на основе динамики изменения облачного покрова;
- информация о температуре поверхности моря и суши с точностью 1°С;
- данные о плотности облачного покрова и температуре верхушек облаков (плотность покрова и температура определяются соответственно с точностью 5% и 3°С днем, либо 12% и 5°С ночью);
- результаты определения влажности верхних слоев тропосферы с точностью 5–10%;
- результаты измерения общего радиационного баланса.

5.2.5. ***Наземный сегмент системы METEOSAT***

Станция слежения за ИСЗ Meteosat, приема метеоинформации и телеметрии (Data Acquisition, Telemetry and Tracking Station) расположена в Odenvald (Германия). Принимаемые данные далее поступают в компьютерный центр MGCS (Meteosat Ground Computer System) и центр управления системы MOCC (Meteosat Operations Control Centre), расположенный в штаб-квартире организации Eumetsat. Ранее, до ноября 1995 г., управление спутниками Meteosat осуществлялось европейским центром космических операций ESOC, находящимся в ведении агентства ESA /24/. Основной наземной станцией центра MOCC является комплекс, расположенный в Fucino (Италия), разработка оборудования и эксплуатация которого осуществляется фирмой Telespazio.

Для архивации поступающей метеоинформации используются магнитные ленты высокой плотности (МЛВП) в кассетах. При этом в месяц расходуется до 170 МЛВП. Доступ к каталогу изображений может быть получен через информационную службу европейского космического агентства (ESA Information Retrieval Service).

Изображения предоставляются на кассетах плотностью 1600 байт на дюйм или распечатываются в виде снимков размером 20 х 20 см или 40 х 40 см. По состоянию на начало 1996 г. насчитывалось около 1700 зарегистрированных пользователей системы METEOSAT.

Требования к типовому комплексу приема информации, передаваемой со спутников Meteosat, обосновываются, как правило, с учетом того, что антенная система, МШУ, переносчик частоты, РПУ и устройство тактовой синхронизации комплекса должны быть универсальными, рассчитанными также на прием сигналов ИСЗ Noaa. Специализированными элементами приемного комплекса являются устройство кадровой синхронизации, ЭВМ обработки, цифровой магнитофон и устройство записи изображений.

1. Антенная система приемного комплекса имеет следующие основные характеристики:

- диаметр зеркала: 4 м;
- коэффициент направленного действия: 35 дБ;
- потери в фидерных линиях: 0.1 дБ;
- потери в радиопрозрачном покрытии: 0.1 дБ;
- коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН): 1.5;
- шумовая температура при угле места
  10°: 90 К,
  30°: 70 К;
- поляризация: линейная, круговая правого и левого вращения;
- ширина ДН по уровню -3 дБ
  Е-плоскость: 2.81°;
  Н-плоскость: 3.69°.

2. Малошумящий усилитель имеет следующие характеристики:

- средняя частота: 1693 МГц;
- ширина полосы пропускания: не менее 18 МГц;
- шумовая температура: не более 75 К;
- коэффициент усиления: не менее 18 дБ;
- групповое время задержки (ГВЗ), линейная компонента: 0.2 нс/МГц;
- максимальное ГВЗ, неравномерная компонента: 0.1 нс от импульса к импульсу.

3. В качестве переносчика частоты может быть использовано универсальное устройство, рассчитанное на прием сигналов как с низкоорбитальных (Noaa), так и с геостационарных (Meteosat, «Электро», Gms) метеорологических ИСЗ:

- средняя частота: 1693 МГц;
- ширина полосы пропускания: 30 МГц;
- ослабление зеркального канала: не менее 70 дБ;
- КСВН на входе и выходе устройства: не более 1.5 : 1;
- коэффициент шума: не более 3 дБ;
- номинальный уровень входного сигнала: -93 дБмВт;
- номинальный уровень выходного сигнала: -54 дБмВт;

• частота гетеродина: не менее 4 фиксированных частот в диапазоне 1608–1638 МГц;
• выходная ПЧ: 70 МГц;
• стабильность частоты:
10^{-9} (кратковременная),
10^{-6} (долговременная).

4. Радиоприемное устройство используется совместно с описанным выше переносчиком частоты и при приеме на станциях класса PDUS сигналов космических аппаратов Noaa (режим AVHRR) и Gms (режим HR Fax) имеет следующие характеристики:
• центральная частота: 70 МГц;
• ширина полосы пропускания: 660 кГц;
• подавление ПЧ: не менее 90 дБ;
• полоса захвата и удержания системы АПЧ: ±400 кГц;
• ширина полосы системы ФАПЧ: 10, 30, 100, 1000 Гц;
• постоянные времени системы АРУ: 0.1, 1, 10, 100, 1000 мс;
• порог обнаружения фазомодулированного сигнала на ПЧ: -19 дБ, частотномодулированного сигнала: 9 дБ, фазомодулированного сигнала в полосе ФАПЧ: 6 дБ;
• среднеквадратичное значение остаточных фазовых шумов: не более 2° при полосе ФАПЧ 10 Гц.

При приеме на станциях класса SDUS сигналов ИСЗ Meteosat в режиме WEFAX радиоприемное устройство имеет следующие характеристики:
• частота принимаемого сигнала: 66.5 или 73.4 МГц (переключаемая);
• полоса пропускания по уровню -3 дБ: 30 кГц;
• интермодуляция: не хуже 70 дБ;
• избирательность при расстройке 50 кГц для полосы пропускания 9 кГц: не менее 80 дБ;
• ширина полосы захвата и удержания системы АПЧ: ±50 кГц.

5. На устройство тактовой синхронизации сигнал подается непосредственно с радиоприемного устройства или с аппаратуры магнитной записи.

Устройство тактовой синхронизации обеспечивает выделение сигнала тактовой частоты, восстановление цифрового информационного потока, преобразование цифрового потока из бифазного к коду NRZ и имеет следующие характеристики:
• уровень входного сигнала: 125 мВ—12.5 В;
• колебания скорости входного потока: ±10%;
• полоса удержания: ±17%;
• полоса захвата: ±15%;
• уровень выходного сигнала: ТТЛ.

6. Устройство кадровой синхронизации комплекса приема сигналов ИСЗ Meteosat предназначено для выделения сигналов синхронизации строк, кадров и суперкадров из цифрового потока со скоростью 166.66 кбит/с при различных форматах передачи метеоинформации.

5.3. ЯПОНСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА GMS

Японская метеорологическая спутниковая система GMS обеспечивает наблюдение тихоокеанской зоны и, частично, зоны Индийского океана при помощи одного оперативного космического аппарата типа Gms (Geostationary Meteorological Satellite), выводимого в район с подспутниковой точкой 140° ВД. Система является вкладом Японии в международную программу наблюдения за погодой WWW (World Weather Watch). Финансирование работ по программе GMS преимущественно осуществляется японским метеорологическим агентством JMA (Japan Meteorological Agency). Изготовление, запуск и орбитальные испытания космических аппаратов Gms возложены на национальное космическое агентство NASDA.

5.3.1. *Орбитальный сегмент системы GMS*

Космические аппараты серии Gms (японское название Himawary) рассчитаны на 5-летний срок функционирования на орбите и выполняются на базе платформы ИСЗ Goes первого поколения (п.5.1), разработанной американской фирмой Hughes Aircraft. В создании спутников участвуют также корпорация NEC (головной исполнитель с японской стороны) и исследовательский центр Santa Barbara фирмы Hughes (радиометр VISSR).

Первый ИСЗ системы GMS был выведен на геостационарную орбиту с Восточного ракетного полигона США, запуск последующих спутников осуществляется с японского полигона Tanegashima (*табл.5.9*).

Таблица.5.9

Космические аппараты серии Gms

Номер ИСЗ	Ракета-носитель запуска	Дата	Оперативное использование	
			Начало	Окончание
1	Delta-2914	14.07.77	01.04.78	21.12.81
2	N-2	10.08.81	21.12.81	27.09.84
3	N-2	03.08.84	27.09.84	04.12.89
4	H-1	05.09.89	04.12.89	июнь 1995 г.
5	H-2	18.03.95	июнь 1995 г.	

Масса спутника серии Gms (рис.5.13) с разгонным блоком (РБ) составляет около 700 кг, а после выведения на геостационарную орбиту и отделения РБ снижается до 320 кг. Диаметр цилиндрического корпуса космического аппарата составляет 2.15 м, общая высота достигает 3.45 м (с РБ — 4.44 м). Бортовая энергетическая установка в составе панели солнечной батареи, расположенной на стенках цилиндрического корпуса ИСЗ, и двух аккумуляторных батарей емкостью 5.5 А·ч обеспечивает мощность, выдаваемую в нагрузку, 300 Вт в начале и 265 Вт в конце срока орбитального функционирования.

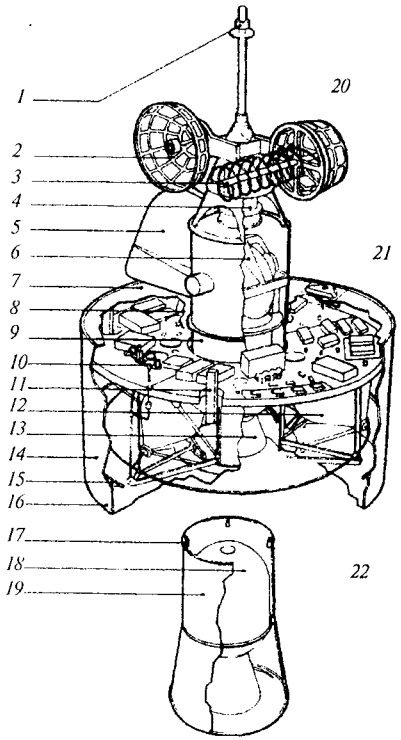


Рис.5.13. Космический аппарат серии Gms:

1 — ненаправленная антенна S-диапазона
2 — антенна S-диапазона с высоким коэффициентом усиления
3 — спиральная антенна УКВ-диапазона
4 — подшипник платформы противовращения
5 — антибликовый экран радиометра VISSR
6 — радиометр VISSR
7 — передний теплоизоляционный слой
8 — кронштейн крепления оборудования
9 — осевая конструкция
10 — реактивный двигатель
11 — механизм динамической балансировки
12 — топливный бак
13 — блок охлаждения радиометра VISSR
14 — панель солнечной батареи
15 — демпфер нутаций
16 — задний теплоизоляционный слой
17 — механизм отделения апогейного двигателя
18 — апогейный двигатель
19 — адаптер апогейного двигателя
20 — платформа противовращения
21 — передняя сборка вращающейся секции
22 — задняя сборка вращающейся секции

Спутник стабилизирован вращением со скоростью 100 об/мин вокруг оси, ориентированной параллельной оси вращения Земли с точностью 0.5°. При помощи двух гидразинных двигателей скорость вращения поддерживается постоянной с точностью около 1%. Удержание спутника в заданной точке геостационарной орбиты обеспечивается с точностью ± 1.0° по широте и ± 0.5° по долготе.

5.3.2. *Аппаратура дистанционного зондирования, установленная на ИСЗ серии Gms*

Основным прибором дистанционного зондирования, устанавливаемым на космических аппаратах серии Gms, является сканирующий радиометр VISSR (Visible Infra-red Spin-Scan Radiometer), работающий в диапазонах 0.5–0.75 мкм и 10.5–12.5 мкм. Съемка полного диска Земли (углового сектора 20° x 20°) осуществляется радиометром за 25 мин, после чего следует 5-минутный период возвращения прибора в исходное состояние и его стабилизации. При построении изображения сканирование с востока на запад достигается за счет вращения ИСЗ, а с севера на юг — при помощи шагового двигателя привода зеркальной системы радиометра. В канале видимого диапазона установлены 4 основных и 4 резервных детектора, обеспечивающие пространственное разрешение 1.25 км при 64 градациях яркости (6 бит на пиксел).

В инфракрасном канале предусмотрены 1 основной и 1 резервный детекторы, обеспечивающие разрешение 5 км при 256 градациях яркости (8 бит на пиксел). Изображение диска Земли, полученное в видимом участке спектра, состоит приблизительно из 10000 строк, а в инфракрасном диапазоне — из 2500 строк.

На космическом аппарате Gms-5 установлен усовершенствованный вариант радиометра VISSR, в котором инфракрасный диапазон разделен на два поддиапазона (10.5–11.5 и 11.5–12.5 мкм), благодаря чему достигается увеличение точности измерения температуры облачного покрова и поверхности Земли. Кроме того, в усовершенствованном радиометре VISSR добавлен канал 6.5–7 мкм, предназначенный для исследования атмосферного водяного пара.

На космическом аппарате Gms-4 дополнительно установлен комплект аппаратуры мониторинга космической среды SEM (на ИСЗ Gms-5 отсутствует), характеристики которого в целом аналогичны соответствующему прибору ИСЗ серии Noaa (п.4.1.1).

Все космические аппараты серии Gms оснащаются аппаратурой типа DCS (п.5.1.1.6), предназначенной для приема и ретрансляции метеоинформации, поступающей с морских, воздушных и наземных метеорологических платформ, с последующим распределением полученных данных среди потребителей при помощи глобальной сети GTS (Global Trunk System). Фазоманипулированные сигналы с платформ типа DCP передаются на частотах 402.0 и 402.4 МГц со скоростью 100 бит/с.

На ИСЗ Gms-5, кроме того, в соответствии с международной программой Коспас/SARSAT установлен экспериментальный комплект аппаратуры системы поиска и спасения S&R (п.4.1.1.14).

5.3.3. *Особенности передачи информации со спутников системы GMS*

В состав антенной системы ИСЗ Gms входит спиральная антенна СВЧ-диапазона, а также ненаправленная (биконическая) и осторонаправленная (параболическая) антенны S-диапазона волн. Все три антенны размещены на платформе противовращения спутника.

Спиральная антенна СВЧ-диапазона служит для приема на частоте 402 МГц информации с метеорологических платформ с последующей ретрансляцией полученной информации потребителям на частоте 468 МГц.

При помощи остронаправленной параболической антенны на основную наземную станцию CDAS (Command and Data Acquisition Station) передаются цифровые изображения реального масштаба времени, информация с монитора космической среды SEM и телеметрические данные. При этом передача цифровых изображений со скоростью 14 Мбит/с осуществляется по радиолинии «борт-Земля» с центральной частотой около 1688.5 МГц, а телеметрия передается со скоростью 1 кбит/с на частоте 2280.7 МГц (вид модуляции КИМ-ФМ2/180–ЧМ, номинал поднесущей частоты 30 кГц). Обработанные изображения транслируются обратно на

борт ИСЗ по радиолинии «Земля-борт» на частотое 2029 МГц со скоростью 1.75 Мбит/с (модуляция КИМ-ФМ2/180).

Слабонаправленная биконическая антенна S-диапазона служит для приема на частоте 2100 МГц командно-программной информации из наземного центра управления, а также для передачи информации дистанционного зондирования потребителям. При этом на частоте 1687.1 МГц потребителям среднего класса MDUS (Medium Data Utilisation Station) передаются аналоговые снимки высокого разрешения в режиме HR-Fax попеременно с цифровыми снимками, прошедшими предварительную обработку в наземной центре и передаваемыми со скоростью 1.75 Мбит/с (режим Stretched-VISSR). На частоте 1691.0 МГц простейшим потребителям класса SDUS (Smaller Data Utilisation Station) поступают аналоговые снимки низкого разрешения в режиме LR-Fax.

Далее подробно рассматриваются особенности передачи факсимильных изображений с борта ИСЗ системы GMS в двух основных режимах: HR-Fax и LR-Fax.

5.3.3.1. Передача факсимильных изображений высокого разрешения в режиме HR-Fax осуществляется по радиолинии S-диапазона с характеристиками, представленными в *табл.5.10.*

Таблица 5.10

Характеристики передачи факсимильных изображений в режиме HR-Fax

Наименование характеристики	Значение характеристики
частота передачи	1687.1 МГц
мощность бортового передатчика	20 Вт
поляризация излучаемых сигналов	линейная
вид модуляции	ЧМ-ЧМ
девиация несущей частоты	± 300 кГц
номинал поднесущей частоты	99 кГц
девиация поднесущей частоты	± 21 кГц
скорость передачи изображения	400 строк в минуту
объем полного изображения диска Земли	4762 строки
продолжительность передачи изображения	12–13 мин
продолжительность передачи сигнала фазирования	30 с
частота манипуляции стоп-сигнала	450 Гц
продолжительность передачи стоп-сигнала	5 с
обеспечиваемая разрешающая способность:	
в видимом диапазоне	1.25 км
в ИК-диапазоне	5 км

Изображения, полученные в видимом диапазоне спектра, передаются только в дневное время, а инфракрасные снимки — как днем, так и ночью.

Примерное расписание передачи изображений формата HR-Fax с ИСЗ типа Gms выглядит следующим образом:

1) 8 раз в сутки (в 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 16.00, 18.00 и 21.00 по Гринвичу) передаются изображения полного диска Земли (рис.5.14);

2) по специальным заказам основных потребителей 12 раз в сутки передаются изображения отдельных районов площадью около 1/5 полного диска Земли;

3) 4 оставшихся сеанса используются для передачи в проекции Меркатора видимых и инфракрасных изображений участка поверхности Земли, ограниченного координатами 40° СШ — 40° ЮШ и 90° ВД — 160° ВД (рис.5.15).

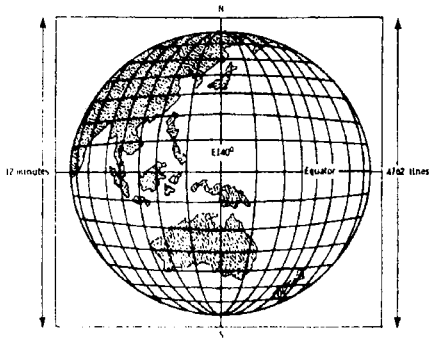


Рис.5.14. Изображение полного диска Земли, передаваемое с ИСЗ Gms в формате HR-Fax.

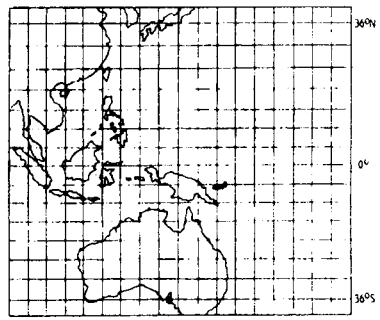


Рис.5.15. Изображение участка поверхности Земли, передаваемого в проекции Меркатора.

5.3.3.2. Передача факсимильных изображений низкого разрешения в режиме LR-Fax, совместимом со стандартным режимом WEFAX (*табл.5.3*), осуществляется по радиолинии S-диапазона частот с характеристиками, представленными в *табл.5.11.*

Таблица 5.11

Характеристики передачи факсимильных изображений в режиме LR-Fax

Наименование характеристики	Значение характеристики
частота передачи	1691.0 МГц
мощность бортового передатчика	20 Вт
поляризация излучаемых сигналов	линейная
вид модуляции	АМ-ЧМ
девиация несущей частоты:	
в режиме «узкая полоса»	± 9 кГц
в режиме «широкая полоса»	± 110 кГц

номинал поднесущей частоты	2.4 кГц
полоса частот модулирующих сигналов	1.68 кГц
скорость передачи изображения	240 строк в минуту
длительность передачи изображения	около 4 мин
размер изображения	около 800 строк
частота манипуляции стартового сигнала	300 Гц
продолжительностью передачи стартового сигнала	3 с
продолжительность фазирующего сигнала	5 с
структура фазирующего сигнала	«уровень белого» с сигналами «уровень черного» продолжительностью 12.5 мс каждые 250 мс
частота манипуляции стоп-сигнала	450 Гц
продолжительность передачи стоп-сигнала	15 с после окончания передачи изображения
обеспечиваемое пространственное разрешение	около 5 км
число градаций яркости	16

В дневное время передаются изображения, полученные в видимом диапазоне спектра, в ночное время — инфракрасные снимки. Передаваться могут изображения одного из 7 перекрывающихся участков (рис.5.16), которые в совокупности покрывают весь диск Земли. Изображения передаются 8 раз в сутки каждые 3 часа, начиная с 00.00 по Гринвичу.

5.3.4. *Наземный сегмент системы GMS*

Управление космическими аппаратами системы GMS на этапе орбитальных испытаний осуществляется из принадлежащего агентству NASDA космического центра Tsukuba. После ввода ИСЗ в оперативное использование управление передается спутниковому центру MSC (Meteorological Satellite Centre) национального метеорологического агентства JMA. Для определения параметров орбиты ИСЗ Gms используется информация, полученная на станции CDAS, а также данные, поступающие с двух станций слежения типа TARS (Turn-Around Ranging Station), расположенных на о-ве Ishigaki (Япония) и в Crib Point (Австралия). Станции типа TARS передают запросные сигналы на частоте 2030 МГц и принимают ответные сигналы с борта ИСЗ на частоте 1690 МГц.

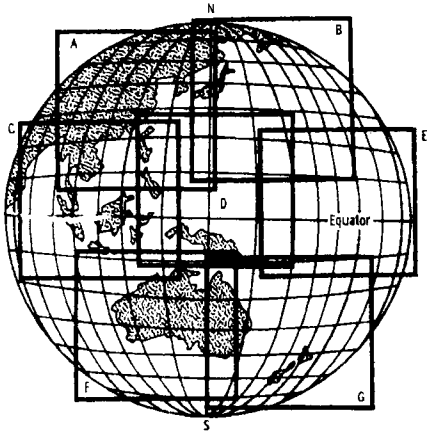


Рис.5.16. Участки поверхности Земли, изображения которых передаются в формате LR-Fax.

Цифровые изображения поверхности Земли, данные с метеорологических платформ DCP, а также телеметрическая информация передаются на основную станцию CDAS, находящуюся в ведении японского метеорологического агентства JMA и расположенную в Hatoyama (близ Токио).

Антенная система комплекса CDAS выполнена по схеме Кассегрена и оснащена 13-метровым параболическим рефлектором. Затем данные по радиорелейной линии S-диапазона передаются в центр обработки информации, в котором 2 компьютера типа M-360R используются для обработки телеметрии и формирования командно-программной информации, а два компьютера типа M-380S обеспечивают обработку поступающих изображений с целью определения скорости ветра, плотности облачного покрова, температуры ВГО и морской поверхности. Результаты обработки далее выдаются в глобальную коммуникационную систему GTS для распределения среди потребителей.

Потребителями класса MDUS прием информации в режимах HR-Fax и LR-Fax осуществляется при помощи разработанного фирмой NEC комплекса NESDUS-210 (NESDUS: NEc Satellite Data Utilization System), оснащенного антенной системой диаметром 4 м. Для приема информации в режиме LR-Fax, совместимого с режимом WEFAX, потребителями класса SDUS используются комплексы типа NESDUS-60 и NESDUS-110. Кроме того, разработанный корпорацией NEC комплекс MSDUS (Meteorological Satellite Data Utilisation System) позволяет потребителям системы GMS принимать метеорологические данные, передаваемые по каналам спутникового телевидения.

5.4. ИНДИЙСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА INSAT

Космическая система Индии INSAT (INdian SATellite) является единственной в мире спутниковой системой, в состав которой входят геостационарные космические аппараты, оснащенные как связными ретрансляторами, так и аппаратурой дистанционного зондирования Земли. Характерной особенностью является также и то, что информация ДЗЗ со спутников типа Insat передается не в стандартных форматах, принятых для геостационарных метеорологических систем, а по радиоканалам в полосе частот связных ретрансляторов.

5.4.1. *Орбитальный сегмент системы INSAT*

Создание, запуск и эксплуатация космических аппаратов системы INSAT осуществляются индийским Министерством космоса DoS (Department of Space). В состав орбитального сегмента входят, как правило, один оперативный и до трех резервных космических аппаратов. К началу 1997 г. по программе INSAT было выведено на орбиту четыре космических аппарата Insat первого поколения и три — второго поколения (*табл.5.12*). Запуски двух очередных спутников второго поколения — Insat-2D и Insat-2E — запланированы на 1997 и 1998 гг., соответственно.

Таблица 5.12

Космические аппараты системы INSAT

Номер ИСЗ	Дата запуска	Состояние ИСЗ запуска	Средства запуска	Полигон	ПСТ
1A	10.04.82	авария 04.09.82	Delta-3910 с РБ РАМ	ВРП	74°ВД
1B	30.08.83	в резерве с 17.06.90, используется для проведения экспериментов	МТКК Space Shuttle	ВРП	93.5°ВД
1C	22.07.88	авария 22.11.89	Ariane-3	Kourou	93.5°ВД
1D	12.06.90	в резерве с 06.10.92	Delta-4925	ВРП	83°ВД
2A	10.07.92	в резерве	Ariane-4	Kourou	74°ВД
2B	23.07.93	в резерве	Ariane-4	Kourou	74°ВД
2C	07.12.95	оперативный	Ariane-4	Kourou	83°ВД

5.4.1.1. Спутники Insat первого поколения изготавливались в США (головной исполнитель фирма Ford Aerospce) и выводились на орбиту при помощи американских либо европейских ракет-носителей. При этом общая стоимость одного спутника (Insat-1C) оценивалась в 1540 млн рупий, из которых 740 млн рупий приходится на запуск ИСЗ. Расчетный срок активного функционирования спутников Insat первого поколения достигал 7 лет.

Стабилизированный по трем осям спутник (рис.5.17) имел размеры 2.18 x 1.42 x 1.55 м. Масса ИСЗ с разгонным блоком типа РАМ составляла 1152 кг, а после вывода в заданную точку геостационарной орбиты — 650 и 550 кг в начале и конце активного срока функционирования, соответственно.

В качестве аппаратуры дистанционного зондирования на космических аппаратах использовался двухканальный радиометр высокого разрешения VHRR (Very High Resolution Radiometer), обеспечивающий получение изображений поверхности Земли в видимом (0.55—0.75 мкм) и инфракрасном (10.5—12.5 мкм) участках спектра с разрешающей способностью 2.75 км и 11 км, соответственно. Просмотр всего диска Земли осуществлялся за 30 мин

5.4.1.2. Спутники второго поколения разрабатываются национальным космическим агентством Индии ISRO с привлечением других индийских организаций. В частности, бортовой радиометр VHRR разрабатывается центром космических применений ISRO (ISRO Space Applications Centre), отделением корпорации HAL (Hindustan Aeronautics Ltd) в Bangalore изготавливается корпус спутника, а отделением HAL в Hyderabad — твердотельные параметрические усилители (ТТПУ), устанавливаемые в бортовых ретрансляторах. Предполагается, что начиная с ИСЗ Insat-2D космические аппараты системы INSAT будут выводиться на орбиту при помощи индийской ракеты-носителя GSLV.

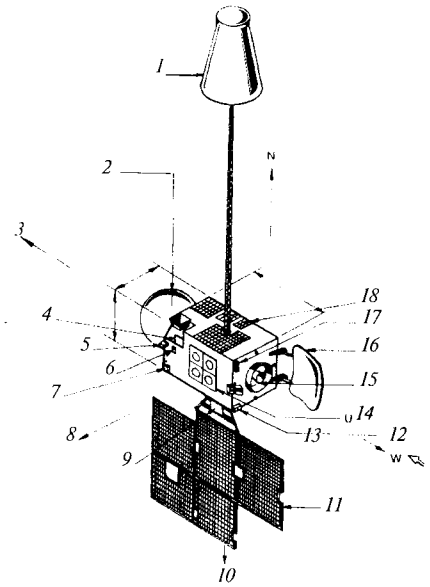


Рис.5.17. Космический аппарат Insat первого поколения:

1 — солнечный парус
2 — антенна С-диапазона
3 — ось крена (+X)
4 — сканирующее устройство VHRR
5 — облучатель антенны бортового ретранслятора FSS
6 — датчики Земли
7 — ненаправленная антенна телеметрической и командной радиолиний
8 — ось рыскания (+Z)
9 — последовательный шунт
10 — ось тангажа (+Y)
11 — панель солнечной батареи
12 — направление полета
13 — облучатель антенны бортового ретранслятора BSS
14 — антенна УКВ-диапазона
15 — апогейный двигатель
16 — рефлектор антенны C/S-диапазонов
17 — облучатель антенны бортового ретранслятора FSS
18 — устройства терморегулирования

Масса космического аппарата Insat второго поколения в начале срока орбитального существования составляет 1162 кг, из которых 251 кг приходится на топливо. Спутник имеет трехосную стабилизацию и оснащен бортовой энергетической установкой, обеспечивающей мощность электропитания 1400 Вт в начале и 1180 Вт в конце срока активного функционирования на орбите. Конструкция спутников Insat второго поколения в целом соответствует предшествующим космическим аппаратам серии Insat-1.

В качестве аппаратуры дистанционного зондирования на спутниках Insat-2A,2B,2E устанавливается двухканальный пассивный радиометр VHRR (на ИСЗ Insat-2C,2D отсутствует), аналогичный соответствующему прибору ИСЗ первого поколения, но с повышенным разрешением: 2 и 8 км в видимом и инфракрасном диапазонах, соответственно. Камера VHRR содержит резервную линейку из четырех кремниевых фотодиодов, обеспечивающих построение изображений в видимом участке спектра, и линейку запасных HgCdTe-детекторов инфракрасного диапазона, охлажденных до температуры 105 K. Выделяют следующие основные режимы работы радиометра VHRR:

- получение полного изображения земного диска в секторе 20° x 20° за 33 мин (обзорный режим);
- сканирование за 23 мин сектора 14° с севера на юг и 20° с запада на восток (обычный режим);
- сканирование за 7 мин сектора 4.5° с севера на юг и 20° с запада на восток (режим, использующийся для многократного просмотра выбран-

ного участка поверхности при некоторых погодных явлениях, циклонах, например).

5.4.2. ***Характеристики радиолиний ретрансляции и передачи данных ДЗЗ спутников Insat второго поколения***

Передача информации ДЗЗ с радиометра VHRR осуществляется на частоте 4501.5 МГц со скоростью 526.5 кбит/с.

Для обеспечения национальной связи, ретрансляции метеоданных и передачи телеметрической информации используется 18–канальный бортовой комплекс FSS, в состав которой входят 12 передатчиков на ТТПУ мощностью 4.5 Вт, работающие в диапазоне 3705–4185 МГц (линия «Земля-борт»: 5930–6410 МГц), и 6 передатчиков (3 из них резервные), работающие в диапазоне 4510–4750 МГц (линия «Земля-борт»: 6735–6975 МГц). Приемо-передающая антенная система комплекса FSS формирует глобальный луч, полностью покрывающий всю территорию Индии. Ширина полосы частот каждого ствола ретранслятора составляет 36 МГц. При этом 16 передатчиков обеспечивают ЭИИМ 32 дБВт, а два других — 34 дБВт.

В состав бортового ретранслятора BSS входят 3 передатчика на ЛБВ (один из них запасной), работающие в диапазоне 2550–2630 МГц (линия «Земля-борт»: 5850–5930 МГц). Один из передатчиков комплекса BSS используется для прямой телевизионной трансляции, а второй обеспечивает пять линий передачи с подавленной несущей, предназначенных для распределения радиопрограмм, предупреждения об опасных погодных явлениях и т.п. Прием и передача сигналов осуществляются в глобальном луче, покрывающем территорию Индии. Ширина полосы частот каждого ствола ретранслятора составляет 36 МГц, ЭИИМ — не менее 42 дБВт.

Бортовой аппаратурой DRT (Data Relay Transponder) осуществляется прием данных, передаваемых с метеорологических, гидрологических и океанографических платформ типа DCP на частоте 402.75 МГц, с последующей ретрансляцией уплотненного информационного потока на частоте 4038.1 МГц. На космических аппаратах Insat второго поколения предусмотрен резервный комплект аппаратуры DRT.

Аппаратура поиска и спасения S&R (п.4.1.1), обеспечивающая прием сигналов бедствия, передаваемых на частоте 406.025 МГц, устанавливается на космических аппаратах системы INSAT, начиная с ИСЗ Insat-2B.

5.4.3. ***Наземный сегмент системы INSAT***

Система INSAT является совместным предприятием индийского Министерства космоса DoS, Министерства метеорологии (India Meteorological Department), Министрерства связи (Department of Telecommunications) и Индийской радиокомпании AIR (All India Radio). Общая координация работ по программе INSAT осуществляется межведомственным комитетом ICC (Insat Coordination Committee).

Управление космическими аппаратами Insat осуществляется из главного центра управления MCF (Master Control Facility), расположенного в Hassan (шт. Карнатака). Для этого используются три земные станции, две из которых (одна основная и одна резервная) оснащены полноповоротными антенными системами с 14-метровыми зеркалами, а третья — антенной системой с зеркалом диаметром 7.5 м и возможностью наведения только на дугу стационарной орбиты. Специально для управления космическими аппаратами Insat второго поколения в главном центре MCF были дополнительно установлены две антенны с зеркалами диаметром 11 м.

Метеорологические изображения и ретранслированная информация ДЗЗ принимаются наземной станцией, расположенной в районе г.Дели, после чего полученные данные по радиорелейной линии передаются в главный центр обработки MDUC (Meteorological Data Utilisation Centre), находящийся в штаб-квартире Министерства метеорологии (New Delhi). Каждый день принимаются 11 снимков радиометра VHRR, причем из каждых трех передаваемых снимков два получены в видимом, а один — в инфракрасном участке спектра. В центре MDUC осуществляется также обработка информации, передаваемой с платформ типа DCP.

Обработанная информация далее поступает в 22 вторичных центра обработки SDUC (Secondary Data Utilization Centres), откуда осуществляется доведение полученных спутниковых снимков и данных с метеоплатформ до потребителей. Первоначально информация дистанционного зондирования из MDUC в SDUC передавалась по наземным линиям связи, однако с 1989 г. для этого стали использоваться непосредственно космические аппараты серии Insat.

5.5. КИТАЙСКИЕ ГЕОСТАЦИОНАРНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИСЗ СЕРИИ FY-2

Геостационарные спутники серии FY-2 (Feng Yun-2) совместно с ИСЗ типа FY-1, находящимися на низких полярных орбитах (п.4.3), будут образовывать национальную метеорологическую систему Китая. Космические аппараты FY-2 планируется выводить на геостационарную орбиту в район с подспутниковой точкой 105° ВД при помощи ракеты носителя CZ-3 с китайского полигона Xichang. Запуск первого ИСЗ FY-2 планировался на середину 1994 г., однако из-за аварии в процессе лабораторных испытаний спутник был разрушен. Ожидается, что вывод на орбиту очередного ИСЗ, изготовленного взамен утраченному, состоится в 1997 г.

Конструкция космического аппарата FY-2 (рис.5.18) аналогична спутникам Goes (первого поколения) и Meteosat. Стабилизация пространственного положения спутника достигается за счет собственного вращения со скоростью 100 об/мин. Корпус спутника имеет максимальный диаметр 2.1 м, высота вращающейся цилиндрической части корпуса составляет 1.5 м, высота антенн, размещенных на платформе противовращения, — 1.64 м, а высота разгонного блока, отделяемого после вывода ИСЗ на геостационарную орбиту, — 1.37 м. Мощность бортовой энергетической установки достигает 280 Вт.

Основным прибором дистанционного зондирования, установленным на ИСЗ FY-2, является многоспектральный сканирующий радиометр со следующими техническими характеристиками:

- рабочие диапазоны: 0.55–1.05, 6.2–7.6 и 10.5–12.5 мкм;
- пространственное разрешение: 1.25 км (в видимом участке спектра), 5 км (в остальных участках);
- скорость формирования первичного информационного потока: 14 Мбит/с.

Предусмотрен режим ретрансляции через ИСЗ FY-2 снимков, полученных в наземном метеоцентре на основе обработки первичной информации ДЗЗ, передаваемой с этого же спутника. Скорость передачи данных в этом режиме (Stretched VISSR) составляет 666 кбит/с. На геостационарных космических аппаратах серии FY-2 планируется устанавливать также оборудование для сбора данных с наземных, морских и воздушных платформ мониторинга окружающей среды типа DCP.

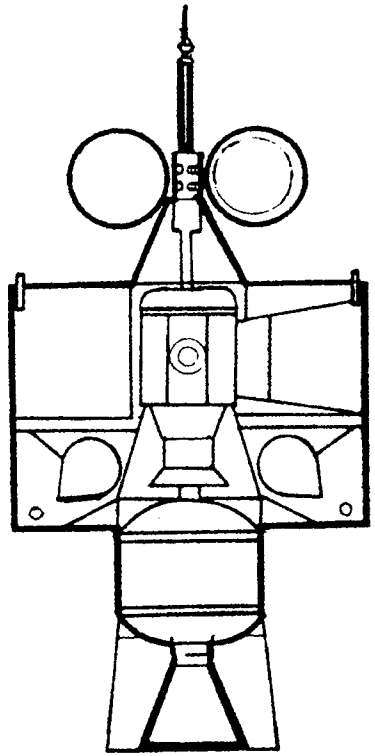


Рис.5.18. Космический аппарат FY-2.

5.6. РОССИЙСКИЙ ГЕОСТАЦИОНАРНЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИСЗ «ЭЛЕКТРО»

5.6.1. *Космический аппарат «Электро» и высокоорбитальная метеорологическая система «Планета-С»*

Геостационарный метеорологический ИСЗ (ГОМС) «Электро» входит в систему «Планета-С», которая совместно с метеорологической системой на базе полярноорбитальных спутников серии «Метеор» образует Российскую национальную систему сбора гидрометеорологической информации. Первоначально орбитальный сегмент системы «Планета-С» /33/ должен был состоять из трех геостационарных космических аппаратов, выводимых в районы с подспутниковыми точками над Атлантическим (16° ЗД), Индийским (76° ВД) и Тихим (144° ВД) океанами. Наземный комплекс предполагалось развернуть на базе пунктов приема в Москве, Ташкенте и Хабаровске. Однако в последние годы программа была

существенно скорректирована в направлении сокращения как орбитального, так и наземного сегментов, а также в расчете на более тесное международной сотрудничество в вопросах обмена спутниковой метеоинформацией. В результате система «Планета-С» в обновленном составе включает один геостационарный ИСЗ «Электро» с точкой стояния 76° ВД, оперативный центр приема и обработки данных в Москве, наземные станции для ретрансляции данных в Новосибирске и Хабаровске, а также автономные пункты приема информации.

Запуск космического аппарата «Электро» осуществлен 31 октября 1994 г. при помощи ракеты-носителя «Протон». Наклонение геостационарной орбиты ИСЗ в течение срока активного существования не превышает 1.3°, долгота подспутниковой точки удерживается постоянной с точностью ±0.2°.

Головным разработчиком ИСЗ «Электро» (рис.5.19) является ВНИИ Электромеханики (Москва). Спутник стабилизирован по трем осям с точностью 0.08° по оси рыскания и 0.03° по осям крена и тангажа. Масса спутника после вывода на геостационарную орбиту составляет 2580 кг, из которых 650 кг приходится на полезную нагрузку. Среднесуточная мощность бортовой энергетической установки составляет 1200 Вт, причем в полезную нагрузку может быть выдано до 700 Вт.

Геостационарный космический аппарат «Электро» в сочетании с техническими средствами наземного сегмента системы «Планета-С» обеспечивают решение следующих основных задач:

- получение многоцелевых изображений в видимом и инфракрасном участках спектра с разрешением 1.5 км и 8 км, соответственно;
- сбор данных с платформ геофизического мониторинга окружающей среды типа DCP;
- ретрансляция спутниковых метеоснимков, прошедших предварительную обработку в наземном центре, а также другой геофизической информации;
- мониторинг околоземного космического пространства.

Для этого в составе ИСЗ предусмотрены следующие подсистемы: бортовая информационная аппаратура (аппаратура ДЗЗ), бортовой передающий радиотехнический комплекс, бортовой ретрансляционный радиотехнический комплекс, бортовой комплекс управления и бортовая служебная аппаратура.

5.6.2. *Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ «Электро»*

В состав бортовой аппаратуры ДЗЗ, установленной на космическом аппарате «Электро», входят бортовой телевизионный комплекс (БТВК) и бортовой комплекс радиационно-магнитометрической системы (РМС). Планирование работы целевой аппаратуры ИСЗ «Электро» осуществляется в НПО «Планета» в соответствии с заявками потребителей, поступающими не позднее, чем за 7 сут до их реализации.

5.6.2.1. Бортовой телевизионный комплекс предназначен для получения изображений облачного покрова, снежных и ледяных полей в видимом диапазоне спектра на освещенной стороне земного шара и в инфра-

красном диапазоне спектра как на освещенной, так и на теневой сторонах земного шара. БТВК имеет следующие характеристики:

• рабочие диапазоны: 0.4–0.7, 10.5–12.5 и 6.0–7.0 мкм (одновременно может использоваться один из инфракрасных диапазонов);

• пространственное разрешение в подспутниковой точке: 1.5 км в видимом диапазоне и 8 км в ИК-диапазоне;

• ширина динамического диапазона измерительного канала видимого диапазона: 17 дБ;

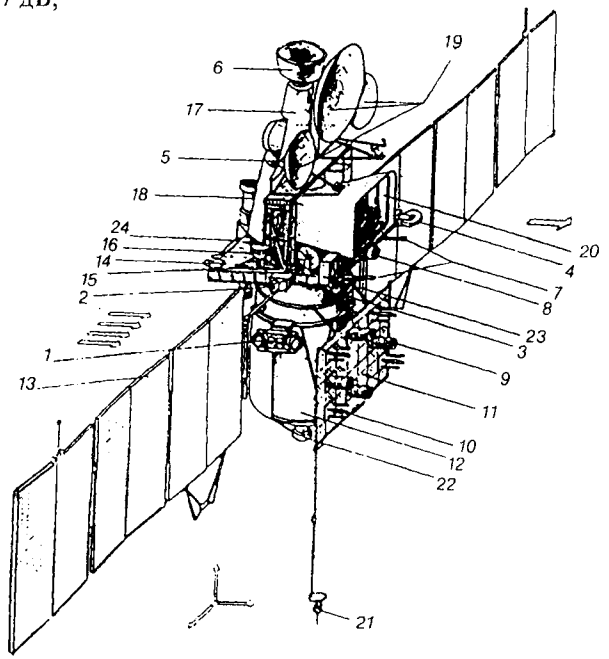


Рис.5.19. Космический аппарат «Электро»:

1 — электронагревной реактивный двигатель системы коррекции и разгрузки;
2 — датчик Солнца;
3 — аппаратурная платформа;
4 — реактивное колесо;
5 — двухосный привод антенны;
6 — блок охлаждения бортовой телесистемы;
7 — антенны;
8 — датчик надира;
9 — антенна приема информации с платформ типа DCP;
10 — антенны передачи в широковещательном режиме;
11 — антенная платформа;
12 — герметический отсек;
13 — панель солнечной батареи;
14 — датчик солнечного ультрафиолетового излучения;
15 — грубый датчик Солнца;
16 — датчик рентгеновского излучения;
17 — бортовая телевизионная система;
18 — датчик слежения за Полярной звездой;
19 — антенны передачи в широковещательной режиме;
20 — солнцезащитный экран телевизионной системы;
21 — магнитометр;
22 — теплоизоляционный экран;
23 — датчик протонов и электронов;
24 — спектрометр частиц низких энергий.

• температурной разрешение в ИК-диапазоне при построении изображений, соответствующих тепловым потокам в диапазоне радиационных температур 213–313 К: 1 К;

• число разрядов при преобразовании аналоговых сигналов в цифровую форму: 8;

• частота формирования строк телевизионного изображения: 2 Гц;

• потребляемая мощность: 380 Вт;

• масса прибора: 395 кг;

• скорость выдачи информации: 2.56 Мбит/с.

Получение изображения осуществляется при помощи сканирующего зеркала с разведением потока лучистой энергии на 8 одноэлементных фотоприемников в видимом диапазоне, выполненных на основе фотоэлектронных умножителей, и на 4 одноэлементных фотоприемника (два «больших» и два «малых») в ИК-диапазоне спектра, реализованных на CdHgTe-структурах. Таким образом, изображения в двух спектральных диапазонах формируются одновременно, причем для построения изображения в ИК-участке спектра с разрешением 8 км используются два «малых» фотоприемника, а изображение, полученное при помощи двух «больших» фотоприемников, с разрешением около 24 км используется в дальнейшем для повышения радиометрической точности измерений. В течение суток формируется 12 изображений в видимом диапазоне (ежечасно с 6 до 18 часов по местному времени для подспутниковой точки ИСЗ) и 24 изображения полного диска Земли в инфракрасном диапазоне.

5.6.2.2. Радиационно-магнитометрическая система (РМС) предназначена для получения данных о плотностях потоков и спектрах электронов, протонов и альфа-частиц в широком энергетическом диапазоне, об электромагнитном излучении Солнца в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах, а также о вариациях магнитного поля Земли. Система РМС имеет общую массу 55 кг, энергопотребление не более 50 Вт и позволяет проводить измерения:

• дифференциальных энергетических спектров электронов в интервале энергий 0.1–15 кэВ;

• плотности потоков электронов с энергиями выше пороговых значений 0.04, 0.17, 0.7 и 1.7 МэВ;

• дифференциальных энергетических спектров протонов в интервале энергий 0.1–15 кэВ;

• плотности потоков протонов с энергиями выше пороговых значений 0.5, 40, 60 и 90 МэВ;

• плотности потока альфа-частиц с энергиями 5–12 МэВ;

• плотности потоков галактических космических лучей с энергией выше 600 МэВ;

• плотности потока рентгеновского излучений Солнца в энергетическом 3–8 кэВ;

• интенсивности ультрафиолетового излучения Солнца с длинами волн до 130 нм, 0.3–2.5 нм, 0.3–12 нм и 121.6 нм;

• величины составляющих вектора магнитной индукции по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

5.6.3. ***Особенности передачи и ретрансляции информации космическим аппаратом «Электро»***

5.6.3.1. Бортовой передающий радиотехнический комплекс (БПРК) предназначен для передачи телевизионной (ТВИ), гелиогеофизической (ГГИ) и телеметрической (ТЛМИ) информации в центры приема и обработки данных. Передача информации осуществляется в глобальном луче на частоте 1685.0 МГц со скоростью 2.56 Мбит/с. БПРК ежесуточно обеспечивает проведение 24 сеансов передачи ГГИ и ТВИ, причем последняя передается с привязкой к синоптическим срокам. Продолжительность сеанса передачи ГГИ не превышает 1 мин, ТВИ — 13 мин 50 с. Передача ТЛМИ инициируется в случае нештатного исполнения диагностических алгоритмов, после чего телеметрическая информация вместе с целевой информацией ежечасно передается в центр обработки данных, откуда результаты обработки телеметрии поступают по каналу связи в центр управления полетом.

5.6.3.2. Бортовой ретрансляционный радиотехнический комплекс «Ореол» обеспечивает (*табл.5.13*):

• передачу в центры приема и обработки информации ТВИ, ГГИ и ТЛМИ;

• ретрансляцию факсимильной, буквенно-цифровой и цифровой информации, а также информации от платформ сбора данных типа DCP (максимальное число обслуживаемых платформ составляет 1500–2000);

• вызов по радиоканалу платформ сбора данных.

При этом факсимильная и буквенно-цифровая информация передается непрерывно. Передача цифровой информации осуществляется в промежутках между сеансами ТВИ и ГГИ, если последняя передается в диапазоне 7.5 ГГц, или непрерывно, если ТВИ и ГГИ передается в диапазоне частот 1.7 ГГц (п.5.6.3.1).

Таблица.5.13.

Характеристики радиолиний бортового комплекса «Ореол».

Содержание информации	Частота радиолинии, МГц		Скорость передачи, кбит/с	Число каналов
	«Земля-борт»	«борт-Земля»		
передача информации ТВИ, ГГИ и ТЛМИ	—	7462.5	2560	1
ретрансляция буквенно-цифровой информации	2.1 или 8.2 1671.5–1674.5	1688.5–1691.5	1.2	2
ретрансляция факсимильной информации в режиме WEFAX	2096.5–2099.5 2113.5–2116.5 или 8176.5–8179.5 8193.5–8196.5	1671.5–1674.5 1688.5–1691.5	—	2
ретрансляция информации от платформ сбора данных	401–402.5	7481–7482.5	0.1	133
вызов платформ сбора данных по радиоканалу	2118–2120 или 8198–8200	468–470	0.1	133
ретрансляция цифровой информации	8205–8215	7485–7495	960	1

Все тракты дециметрового диапазона волн обслуживаются бортовыми антеннами с глобальной диаграммой направленности шириной 18 x 18°. В тракте сантиметрового (8.2/7.5 ГГц) диапазона волн используются две перенацеливаемые в пределах ±9° в направлениях «север-юг» и «запад-восток» антенны диаметром 1.2 и 0.75 м, формирующие региональные лучи с шириной диаграммы направленности 2.2 и 3.0°, соответственно.

Прием информации на частоте в диапазоне 1.7 ГГц и передача в диапазоне 2.1 ГГц осуществляется через выносной пункт приема информации (ВППИ) в п.Медвежьи Озера. Для передачи и приема данных в диапазонах 8.2 и 7.5 ГГц, соответствено, используется ВППИ в Обнинске. Оба выносных пункта оснащаются антенными системами ТНА-57П с диаметром основного рефлектора 12 м и входят в состав оперативного центра приема и обработки данных системы «Планета-С».

После приема на ВППИ данных БТВК, передаваемых в диапазоне 7.5 или 1.7 ГГц со скоростью 2.56 Мбит/с, осуществляется обработка и преобразование информации к стандартному формату WEFAX с последующей ее передачей обратно на борт ИСЗ в диапазоне 2.1 или 8.2 ГГц. Затем данные передаются на автономные пункты приема информации в диапазоне 1.7 ГГц. Качественный прием метеоснимков, передаваемых с ИСЗ «Электро» в режиме WEFAX, возможен при помощи радиоприемного комплекса с диаметром зеркала антенной системы около 1.2 м (гл.10).

6 ПРОГРАММА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА EOS

Работы по программе дистанционного зондирования Земли из космоса EOS (Earth Observing System) были одобрены американским Конгрессом в конце 80-х годов в связи с усилившейся озабоченностью социальными и экономическими последствиями глобальных изменений, происходящих в окружающей природной среде в результате воздействия естественных и антропогенных процессов.

В США исследование глобальных физических, химических, биологических, геологических и социальных процессов с учетом их взаимодействия и влияния на состояние окружающей природной среды осуществляется в рамках национальной программы по изучению глобальный изменений USGCRP (United States Global Change Research Program), а также под эгидой Межправительственного комитета по климатическим изменениям IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). Ожидается, что полученные результаты исследований будут являться научной основой для принятия государственных решений по вопросам, затрагивающим состояние окружающей среды в глобальном масштабе.

Система EOS является важнейшим элементом проекта MTPE (Mission to Planet Earth, «Миссия к планете Земля»), проводимого американским космическим агентством NASA, и являющегося, в свою очередь, вкладом NASA в национальную программу USGCRP. Кроме того, в рамках проекта MTPE в соответствии с программой Earth Probes осуществляется создание целого ряда легких спутников и датчиков дистанционного зондирования Земли, размещаемых в качестве дополнительной целевой аппаратуры на космических аппаратах других систем дистанционного зондирования.

К программе Earth Probes относятся ИСЗ TOMS (п.8.2), а также датчики типа TOMS, установленные на ИСЗ «Метеор-3», «Метеор-3М» (п.4.4.2) и ИСЗ Adeos (п.2.4.1.4); аппаратура NSCAT (п.2.4.1.3); ИСЗ SeaStar (п.7.3); а также ИСЗ TRMM (п.8.3).

6.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ EOS

В рамках программы EOS предполагается в течение 15 лет осуществлять всесторонние исследования атмосферы, океанов, криосферы, биосферы и поверхности суши, а также выполнить ряд экспериментов, связанных с изучением особенностей энергетического баланса планеты, глобального водооборота и биогеохимического цикла. При этом в ходе программы будут фиксироваться происходящие глобальные изменения, выявляться ключевые процессы, регулирующие состояние окружающей природной среды, а также совершенствоваться модели, позволяющие изучать и прогнозировать эти изменения.

Расходы по программе EOS, утвержденные конгрессом США на период до 2000 г., составляют 8 млрд долл. В 1991 ф.г. на выполнение программы было затрачено 191 млн.долл., в 1992 ф.г. — 271 млн долл., в 1993 ф.г. — 391 млн долл. и свыше 500 млн долл. — в 1994 ф.г.

Работы по программе EOS осуществляются по трем основным направлениям: развитие научных отраслей, связанных с изучением протекающих на планете глобальных естественных и антропогенных процессов (EOS Science); создание глобальной информационной системы (EOSDIS); а также последовательный вывод на орбиту космических аппаратов серии EOS (EOS Flights).

Информационная система EOSDIS (EOS Data and Information System) создается на основе глобальной вычислительной сети, предназначенной для обработки, архивирования, распределения, моделирования и интерпретации спутниковых данных дистанционного зондирования, а также для планирования работы и управления космическими аппаратами серии EOS и их целевой аппаратурой. Основу системы EOSDIS будут составлять 8 распределенных архивных центров DAAC (Distributed Active Archive Centres, *табл.6.1*), обеспечивающих обработку и архивирование данных, поступающих со спутников серии EOS и от некоторых других источников.

Таблица 6.1

Архивные центры системы EOSDIS

Наименование центра	Специализация
Исследовательский центр NASA им.Годдарда	состояние верхних слоев атмосферы, динамика атмосферы, глобальный геофизический мониторинг и изучение состояния биосферы
Лаборатория реактивного движения JPL	океанские течения и изучение взаимодействия океана и атмосферы

Исследовательский центр NASA в Langley	энергетический баланс планеты, контроль концентрации атмосферных аэрозолей и химического состава тропосферы
Национальный информационный центр по изучению снежного и ледового покровов	сбор и обработка информации о состоянии криосферы, исключая данные, полученные при помощи РЛС с синтезированной апертурой антенны
Информационный центр EROS	обработка изображений земной поверхности
Аляскинский университет	обработка изображений ледового покрова и полярных областей
НИЦ NASA в Marshall	изучение водооборота
НИЦ NASA в Oak Ridge	изучение биогеохимических циклов

В соответствии с программой EOS космические аппараты с различным составом целевой аппаратуры последовательно выводятся на орбиты таким образом (*табл.6.2*), чтобы обеспечить непрерывное поступление всех данных, необходимых для проведения исследований. Состав приборов дистанционного зондирования, запланированный к размещению на спутниках системы EOS, приводится в *табл.6.3*.

Таблица 6.2

Последовательность запуска космических аппаратов по программе EOS

Порядковый номер ИСЗ в системе	Наименование ИСЗ	Планируемая дата запуска		Расчетная продолжительность функционирования
		месяц	год	
1	Eos-AM1	06	1998	6
2	Eos-Aero1	06	1998	3
3	Eos-Color	10	1998	3
4	Eos-ALTR1	03	1999	3
5	Eos-PM1	12	2000	5
6	Eos-Aero2	—*	2001	3
7	Eos-Chem1	—	2002	5
8	Eos-ALT1	07	2003	3
9	Eos-Aero3	—	2004	3
10	Eos-ALTR2	03	2004	3
11	Eos-AM2	06	2004	6
12	Eos-Chem2	—	2005	5
13	Eos-PM2	12	2006	5
14	Eos-Aero4	—	2007	3
15	Eos-ALT2	07	2008	3
16	Eos-Aero5	—	2010	3
17	Eos-ALTR3	03	2010	3
18	Eos-AM3	06	2010	6
19	Eos-PM3	12	2012	5
20	Eos-ALT3	07	2013	3
21	Eos-Chem3	—	2014	5

* — дата запуска ИСЗ запланирована с точностью до года.

Стоимость создания и вывода на орбиту первого космического аппарата системы EOS (Eos-AM1) оценивается в 270 млн долл. Разработка этого спутника осуществляется компанией Lockheed Martin Astro Space по контракту, выданному агентством NASA. С фирмой TRW Space and Electonic Group заключен контракт стоимостью 398 млн долл. на разработку спутников Eos-PM1 и Eos-Chem1, запланированных к запуску в 2000 и 2002 гг., соответственно.

Таблица 6.3

Комплекты аппаратуры ДЗЗ, устанавливаемой на спутниках серии EOS

Тип прибора ДЗЗ	Порядковый номер ИСЗ в системе по табл.6.2.																				
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
AIRS					+								+						+		
AMR				+						+							+				
AMSU					+								+						+		
Argos						+															
ASTER	+																				
CERES	+				+						+		+				+	+			
DORIS				+						+							+				
EOSP											+							+			
GLAS								+							+					+	
HiRDLS							+					+									+
LATI											+										
MHS					+								+						+		
MIMR					+								+						+		
MISR	+										+							+			
MLS							+					+									+
MODIS	+				+						+		+					+	+		
MOPITT	+																				
Ocean-Color			+																		
SAGE III		+				+			+					+		+					
SSALT					+					+							+				
TES							+					+									+

6.2. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-AERO

Космические аппараты серии Eos-Aero выводятся на солнечно-синхронные приполярные орбиты высотой около 1000 км с параметрами, совпадающими с параметрами орбиты российского спутника «Метеор-3М». Космические аппараты типа Eos-Aero предназначены для изучения химического состава атмосферы, а также анализа характеристик тропосферных и стратосферных аэрозолей. Всего запланирован запуск пяти спутников этого типа с расчетным сроком активного существования 3 года.

На космических аппаратах Eos-Aero устанавливается экспериментальное оборудование SAGE III (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment), описание которого приведено в п.4.4. Кроме того, на ИСЗ Eos-Aero2 планируется разместить аппаратуру Argos (п.4.1.1.13), предназначенную для сбора данных и определения координат наземных, морских и воздушных платформ мониторинга окружающей среды.

6.3. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-ALT

Спутники типа Eos-ALT будут использоваться для решения ряда океанографических задач, включая изучение океанских течений и наблюдение за перемещениями ледяных массивов, а также для съемки поверхности суши в интересах геодезических и геологических приложений. Запланирован последовательный вывод трех спутников серии Eos-ALT на орбиты с наклонением 94°, высотой 705 км и периодом обращения 90 мин.

В качестве целевой аппаратуры на космических аппаратах типа Eos-ALT будет устанавливаться лазерный высотомер GLAS (Geoscience Laser Altimeter System), разработанный Техасским университетом (Austin, шт.Техас) и обеспечивающий измерение высоты и толщины ледяных глыб, высоты поверхности суши и верхней границы облачности, а также определение вертикального распределения атмосферных аэрозолей. Высотомер осуществляет съемку в надир и имеет следующие основные характеристики:

- рабочие длины волн: 0.532 и 1.064 мкм;
- пространственное разрешение вдоль трассы ИСЗ: 70 м;
- шаг проведения измерений вдоль трассы: 188 м;
- точность измерения: 10 см (высоты подъема ледяной поверхности), 75 см (высоты верхушек облаков) и 50 (высоты подъема поверхности суши);
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 200 кбит/с.

6.4. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-ALTR

Космические аппараты типа Eos-ALTR предназначены для решения океанографических задач, включая изучение течений и измерение высоты поверхности моря, а также для анализа гравитационных полей. Три спутника этой серии будут выведены на орбиты высотой 1336 км, с наклонением 66° и периодом обращения 113 мин. Период повторного пролета спутника над одним и тем же районом съемки не будет превышать 10 суток. В качестве аппаратуры ДЗЗ на спутниках Eos-ALTR будут установлены для микроволновых прибора (AMR и SSALT), а также система точного определения параметров орбиты DORIS, описание которой приведено в п.2.2.3.5.

Аппаратура микроволнового зондирования AMR будет иметь следующие характеристики:

- рабочие частоты: 18, 21 и 37 ГГц;
- пространственное разрешение: 44.6, 37.4 и 23.5 км, соответственно на частотах 18, 21 и 37 ГГц;
- точность измерения плотности водяного пара: 0.2 г/см^2;
- точность измерения яркостной температуры: 1K;
- сектор обзора: сканирование осуществляется вдоль образующей конуса с углом раскрыва 120° и высотой, направленной в надир;
- скорость выдачи данных ДЗЗ: 125 кбит/с.

Высотомер SSALT (Solid State ALTimeter) разрабатывается французским космическим агентством CNES и предназначен для определения высоты ИСЗ над поверхностью моря, которая затем будет использоваться для измерения высоты волн и определения скорости приводного ветра. Высотомер имеет следующие характеристики:

- рабочие частоты: 5.3 и 13.65 ГГц;
- пространственное разрешение: 5 км;
- точность измерения высоты ИСЗ: 2 см;
- скорость выдачи информации ДЗЗ: 1.375 кбит/с.

6.5. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-AM

Спутники серии Eos-AM с расчетным сроком активного функционирования 6 лет будут использоваться для изучения динамики и химического состава атмосферы, физических и энергетических характеристик облаков, измерения концентрации в атмосфере углекислого газа и водяного пара, анализа процессов энергетического взаимодействия атмосферы и поверхности суши, измерения вертикальных профилей CO и метана, а также решения некоторых вулканологических задач.

В рамках программы EOS запланирован последовательный запуск трех спутников типа Eos-AM. При этом космические аппараты будут выводиться на солнечно-синхронные орбиты, высотой 705 км, с наклонением 98.2°, периодом обращения 99 мин., и местным временем пересечения экватора в нисходящем узле орбиты 10 ч 30 мин. Период повторной съемки заданного участка составит 16 суток. На всех космических аппаратах этой серии будут установлены приборы CERES (п.8.3.2.4), MISR и MODIS. Кроме того, на первом ИСЗ Eos-AM1 будут размещены радиометр ASTER и аппаратура MOPITT, на ИСЗ EOS-AM2,3 — поляриметр EOSP, а на Eos-AM2 — еще и камера LATI.

Радиометр MISR (Multi-angle Imaging Spectro Radiometer) разрабатывается Лабораторией реактивного движения NASA JPL и предназначен для измерения альбедо в глобальном масштабе, исследования верхних слоев атмосферы, измерения концентрации аэрозолей, изучения характеристик растительности, а также определения двухпозиционной отражающей способности облаков и подстилающей поверхности при различных углах наблюдения. Радиометр имеет следующие технические характеристики:

- рабочие длины волн: 0.44, 0.56, 0.67 и 0.86 мкм;
- пространственное разрешение: 240, 480, 960 или 1930 м;
- точность измерения: 0.03 (альбедо), 10% (концентрация аэрозолей), 1–2% (относительная точность измерения двухпозиционной отражающей способности при различных углах наблюдения);
- ширина полосы обзора: около 370 км (для камеры, направленной в надир), 408 км (для камер, обеспечивающих съемку в стороне от трассы ИСЗ);
- скорость передачи данных ДЗЗ: 3.3 Мбит/с (средняя), 9.0 Мбит/с (максимальная).

Радиометр MODIS (MODerate resolution Imaging Spectro-radiometer) будет обеспечивать получение данных, необходимых для изучения глобальных биологических процессов на поверхности Земли и в нижних слоях атмосферы. Для этого предусмотрена возможность измерения температуры поверхности суши и моря, анализа характеристик светимости хлорофилла, плотности растительного и снежного покровов, контроля распределения облачности над поверхностью суши. Радиометр MODIS разрабатывается в научно-исследовательском центре (НИЦ) им.Годдарда и имеет следующие основные характеристики:

- число спектральных диапазонов: 36;
- общий перекрываемый участок спектра: 0.4–14.4 мкм;
- пространственное разрешение при изучении облачного покрова: 250 м (днем), 1 км (ночью);
- точность измерения температуры поверхности: 1К (суша), 0.2К (море);
- ширина полосы обзора: 2300 км;
- скорость передачи данных ДЗЗ: 2.5–11 Мбит/с (средняя — 6.2 Мбит/с).

Усовершенствованный радиометр ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and reflection Radiometer) устанавливается на первом ИСЗ серии Eos-AM и будет обеспечивать построение высокоинфомативных стереоскопических изображений земной поверхности и облачного покрова, определение высоты верхушек облаков и вулканических выбросов, а также измерение температуры и относительной излучательной способности подстилающей поверхности. Прибор разрабатывается в Японии при финансировании Министерством внешней торговли и промышленности MITI. Характеристик радиометра ASTER:

- рабочие диапазоны: 3 в участке 0.5–0.9 мкм (видимый-ближний ИК), 6 в участке 1.6–2.5 мкм (коротковолновый ИК) и 5 в участке 8.0–12.0 мкм (тепловой ИК);

- пространственное разрешение: 15 м (в видимом-ближнем ИК диапазонах), 20 м (в коротковолновом ИК), 90 м (в тепловом ИК);
- пространственное разрешение при стереоскопической съемке: 15 м по горизонтали, 25 м по вертикали;
- относительная точность измерений в видимом-ближнем ИК и длинноволновом ИК диапазонах: 4%;
- абсолютная точность измерений в тепловом ИК диапазоне: 1–2К;
- ширина полосы обзора при съемке в надир: 60 км;
- отклонение полосы обзора от трассы ИСЗ: ±106 км (в коротковолновом и тепловом ИК диапазонах), ±314 км (в видимом-ближнем ИК диапазонах);
- скорость передачи данных ДЗЗ: 8.3 Мбит/с (средняя), 89.2 Мбит/с (максимальная).

Аппаратура MOPITT (Measurements Of Pollutants In The Troposphere) разрабатывается в Университете Торонто и предназначена для измерения концентрации в тропосфере газов, вызывающих парниковый эффект (CO, метан и другие). Основные характеристики аппаратуры:

- рабочие длины волн: 2.3, 2.4 и 4.7 мкм;
- пространственное разрешение при определении вертикального профиля концентрации CO: 22 x 22 км по горизонтали, 4 км по вертикали;
- точность измерения концентрации: 10% (CO), 2% (метан);
- сектор обзора: ±25° от направления в надир;
- скорость выдачи данных ДЗЗ: 25 кбит/с.

Поляриметр EOSP (Earth Observing and Scanning Polarimeter) предназначен для получения информации о концентрации и характеристиках аэрозолей в тропосфере и стратосфере, а также о фазовом составе и оптической плотности облаков. Поляриметр имеет следующие характеристики:

- рабочий диапазон: 0.41–2.25 мкм;
- пространственное разрешение в надире: 10 км;
- точность измерения двухпозиционной отражающей способности облачного покрова: 5%;
- точность определения угла ориентации эллипса поляризации принимаемого излучения: 0.2%;
- ширина сектора обзора: ±65° (сканирование вдоль лимба);
- скорость выдачи данных ДЗЗ: 44 кбит/с (средняя), 88 кбит/с (максимальная).

Камера LATI предназначена для изучения возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов на основе анализа характеристик городских застроек, типов растительности, состояния и излучательной способности земной поверхности. Камера имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: несколько диапазонов в участке 0.45–12.5 мкм, включая панхроматический диапазон 0.52–0.90 мкм;
- пространственное разрешение: 15 м — в панхроматическом, 30 м — в видимом, ближнем и коротковолновом ИК, 60 м — в тепловом ИК диапазонах;

• точность измерений: 5%;
• ширина полосы обзора при использовании 2-х камер типа LATI: 185 км;
• скорость передачи информации: 150 Мбит/с.

6.6. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-CHEM

Космические аппараты серии Eos-Chem будут выводиться на полярные солнечно-синхронные орбиты высотой 705 км и периодом обращения 99 мин с целью изучения динамики и химического состава атмосферы, а также контроля водного и энергетического баланса планеты. На спутниках такого типа будут устанавливаться зондировщики HiRDLS и MLS, а также спектрометр TES.

Зондировщик высокого разрешения HiRDLS (High Resolution Dynamics Limb Sounder) предназначен для измерения температуры атмосферы, концентрации озона, водяного пара, метана, NO_x, N_2O, CFC_s и других малых газовых компонентов, а также анализа содержания аэрозолей. Устройство HiRDLS разрабатывается Национальным центром исследования атмосферы Великобритании NCAR (National Center for Atmospheric Research) совместно с Оксфордским университетом и имеет следующие технические характеристики:

• рабочий диапазон: 6.12–17.76 мкм;
• пространственное разрешение: 4 км по вертикали, 400 x 400 км по горизонтали;
• относительная точность измерении концентрации газовой компоненты: 5–10%;
• ширина полосы обзора: 6 профилей в пределах 2000–3000 км;
• скорость выдачи информации ДЗЗ: 50 кбит/с (средняя), 1 Мбит/с (максимальная).

Устройство микроволнового зондирования MLS (Microwave Limb Sounder) разрабатывается Лабораторией JPL и предназначено для определения температуры нижних слоев стратосферы, а также измерения концентрации в атмосфере H_2O, O_3, ClO, HCl, OH, HNO_3, N_2O и SO_2. Характеристики устройства MLS:

• центральные частоты рабочих диапазонов: 215, 310, 640, 1200 и 2500 ГГц;
• спектральное разрешение: 1 МГц;
• пространственное разрешение: 10 км по горизонтали, разрешение по вертикали меняется от 1.5 до 4.0 км для диапазонов от 2500 ГГц до 215 ГГц;
• ширина полосы обзора: 2.5–62.5 км по лимбу;
• скорость выдачи данных ДЗЗ: 100 кбит/с.

Спектрометр TES (Tropospheric Emission Spectrometer) разрабатывается Лабораторией JPL и предназначен для построения трехмерных профилей распределения всех газовых компонентов, воздействующих на ИК-излучение, на высотах от поверхности Земли до нижних слоев стратосферы, измерения концентрации газов, вызывающих парниковый эффект, контроля за процессами истощения озонового слоя и предупреждения кислотных дождей. Спектрометр TES имеет характеристики:

• рабочий диапазон: 2.3–15.4 мкм;
• пространственное разрешение: 2.3 км по вертикали в режиме наблюдения лимба, 50 x 5 км в режиме обзорной съемки поверхности, 5 x 0.5 км в режиме детальной съемки;
• ширина полосы обзора: 50 x 180 км в обзорном режиме, 5 x 18 км в детальном режиме;
• скорость выдачи данных ДЗЗ: 3.24 Мбит/с (средняя), 19.5 Мбит/с (максимальная).

6.7. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ EOS-COLOR

Космический аппарат, получивший наименование Eos-Color, будет оснащаться единственной камерой Ocean Color, предназначенной для анализа цвета поверхности океана в интересах изучения биологии океана, и исследования роли океана в глобальном обороте углерода и биогеохимических циклах.

Камера Ocean Color рассчитана на глобальную съемку поверхности Мирового океана за двое суток и будет иметь следующие характеристики:

• рабочий диапазон: 0.402–0.885 мкм;
• пространственное разрешение: 1.1 км в детальном режиме, 4.5 км в обзорном режиме;
• относительная ражиометрическая точность: 5%;
• ширина полосы обзора: 2800 км (сектор обзора ±58.3°).

6.8. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ EOS-PM

Три ИСЗ серии Eos-PM будут выведены на солнечно-синхронные орбиты с наклонением 98.2°, высотой 705 км, периодом 99 мин. и местным временем пересечения экватора в восходящем узле орбиты 13 ч 30 мин. Спутники будут предназначены для изучения динамики атмосферы, включая водооборот и процессы глобального теплообмена, формирование облаков и выпадение осадков, а также для наблюдения снежного, ледового покровов, и измерения температуры поверхности моря. На космических аппаратах типа Eos-PM будут устанавливаться зондирующие устройства AIRS и AMSU, система CERES (п.8.3.2.4), микроволновый зондировщик MHS (п.4.1.1.10), радиометр MIMR (п.4.2) и спектрометр MODIS (п.6.5).

Усовершенствованное устройство зондирования в ИК-диапазоне AIRS (Advanced Infra-Red Sounder) разрабатывается Лабораторией JPL и предназначено для измерения температуры и влажности атмосферы. Устройство имеет следующие характеристики:

• рабочие диапазоны: 0.4–1.7 и 3.4–15.4 мкм;
• пространственное разрешение: 1 км по вертикали, 13.5 км в надире по горизонтали;

- точность восстановления температуры: 1К;
- ширина полосы обзора: 1650 км (сектор обзора ±49.5°);
- скорость выдачи данных ДЗЗ: 1.44 Мбит/с.

Устройство микроволнового зондирования AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) разрабатывается НИЦ им.Годдарда и обеспечивает измерение общего вертикального содержания водяного пара и построение вертикальных профилей температуры на высотах до 40 км. Прибор AMSU имеет следующие технические характеристики;

- число рабочих каналов: 15;
- рабочий диапазон частот: 23.8–89 ГГц;
- пространственное разрешение при наблюдении в надир: 40 км по горизонтали;
- точность восстановления температуры: 1К;
- ширина полосы обзора: 1650 км (сектор обзора ±49.5°);
- скорость выдачи данных ДЗЗ: 3.2 кбит/с.

7 КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКЕАНА

Наблюдение, оценка и прогноз состояния Мирового океана с помощью ИСЗ получили обобщенное наименование космического мониторига океана. Бортовая аппаратура спутников мониторига океана предназначена для проведения непрерывных измерений ряда характеристик, связанных с продуктивностью и температурой поверхности океана (собственно изучение океанских ресурсов), океанскими течениями (в том числе замкнутыми), поверхностными ветрами и высотой океанских волн.

Наиболее распространенными датчиками ДЗЗ, использующимися на океанографических спутниках для измерения цвета поверхности океана, являются специальные многоспектральные радиометры, предназначенные для построения изображений в диапазонах спектра, оптимизированных с учетом необходимости определения приведенных выше характеристик. Как правило, диапазоны выбираются в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра (0.4–0.8 мкм) и имеют ширину порядка нескольких нм. Пространственное разрешение радиометров для изучения океанской поверхности чаще всего бывает невысоким (более 1 км), благодаря чему удается обеспечить необходимую обзорность снимков (ширина полосы обзора составляет 1000–3000 км).

В системах космического мониторинга океана широко используется также аппаратура радиолокационного зондирования: высотомеры, скатерометры и радиолокационные системы бокового обзора (гл.3). При этом эффективность применения РЛС БО для исследования поверхности океана обусловливается как общеизвестными преимуществами систем такого типа (всепогодность, независимость получения информации от времени суток и сезона), так и наличием адекватных моделей рассеяния электромагнитных волн морской поверхностью, которые используются при разработке методов зондирования и интерпретации получаемой информации.

Необходимо отметить, что наряду с приведенными в настоящей главе специальными системами мониторинга океана MOS, TOPEX/POSEIDON, SEASTAR и «ОКЕАН» к решению многих океанографических задач привлекаются также такие космические аппараты ДЗЗ, как Adeos, Ers, Radarsat, Noaa, «Метеор» и некоторые другие.

7.1. ЯПОНСКИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИСЗ СЕРИИ MOS

Космические аппараты серии Mos (Marine Observation Satellite) являются первыми национальными спутниками изучения природных ресурсов Земли, предназначенными преимущественно для решения различных океанографических задач, а также для получения информации ДЗЗ в интересах сельскохозяйственных и землепользовательских приложений. Структура системы приема и обработки данных дистанционного зондирования, поступающих со спутников серии Mos, представлена на рис.7.1.

Головным исполнителем по программе MOS является корпорация NEC, которая помимо общего руководства работами отвечает также за разработку бортового радиометра MESSR. Кроме того, к созданию спутников привлекались следующие фирмы: Mitsubishi Electric (система ориентации, радиометр MSR), Fujitsu (радиометр VTIR), Toshiba (солнечные батареи) и IHI (двигатели системы ориентации). Запуск и эксплуатация космических аппаратов осуществляются под руководством японского космического агентства NASDA.

К 1997 г. по программе MOS были изготовлены и выведены на орбиту два аналогичных спутника типа Mos-1, рассчитанные как на одновременное, так и на независимое использование. Спутники выводились на солнечно-синхронные орбиты высотой 909 км, с наклонением 99.1° и местным временем пересечения экватора 10.00—11.00. Повторный пролет каждого ИСЗ над одним и тем же участком на поверхности Земли обеспечивался каждые 17 суток.

Космический аппарат Mos-1A был запущен 18 февраля 1987 г. при помощи ракеты-носителя N-2 с японского полигона Tanegashima. Вывод на орбиту очередного ИСЗ Mos-1B выполнен 7 февраля 1990 г. ракетой-носителем H-1 с того же полигона.

Расчетный срок орбитального функционирования обоих спутников составляет 2 года, однако в действительности активное использование ИСЗ Mos-1A продолжалось с 1987 по 1994 гг., а ИСЗ Mos-1B, запущенный в 1990 г., сохранил ограниченную работоспособность вплоть до 1997 г.

Космические аппараты Mos-1A и Mos-1B (рис.7.2) имеют аналогичную конструкцию, за исключением некоторых доработок, выполненных в ИСЗ Mos-1B с учетом опыта эксплуатации предшествующего спутника. Масса космического аппарата составляет 738 кг в начале орбитального функционирования. Аппаратурная платформа спутника имеет размеры 1.26 x 1.48 x 2.4 м. Солнечная батарея состоит из трех секций размерами 2.0 x 1.51 м. Спутник имеет трехосную систему стабилизации.

Комплект целевой аппаратуры, устанавливаемой на спутниках серии Mos, включает три радиометра, обеспечивающие в совокупности построение изображений поверхности Земли в диапазоне 0.51—12.5 мкм и в двух микроволновых диапазонах, а также систему DCS (п.2.4.2.6), предназначенную для приема и ретрансляции данных с наземных, воздушных и морских платформ мониторинга состояния окружающей среды.

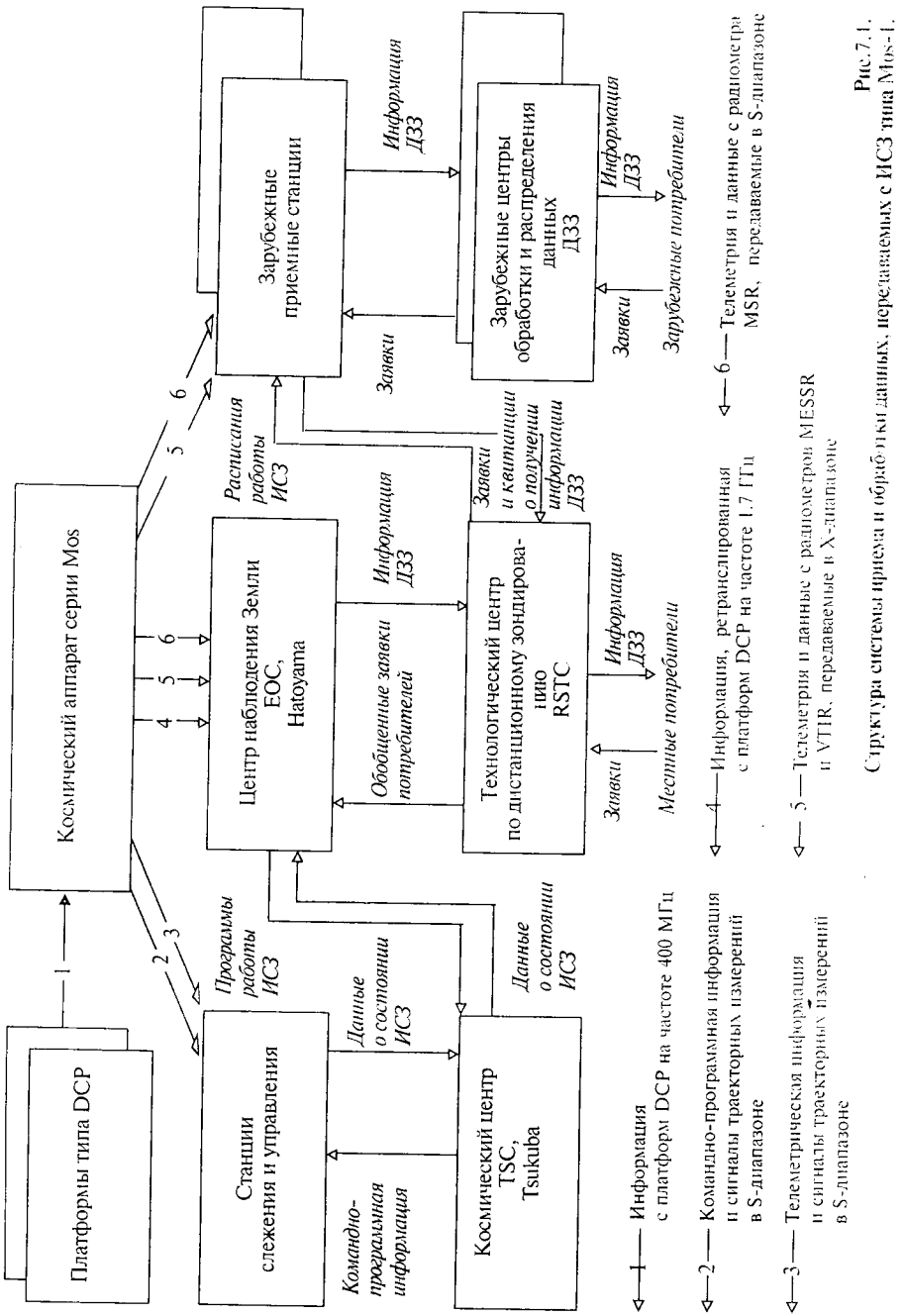


Рис.7.1. Структура системы приема и обработки данных, передаваемых с ИСЗ типа Mos-1.

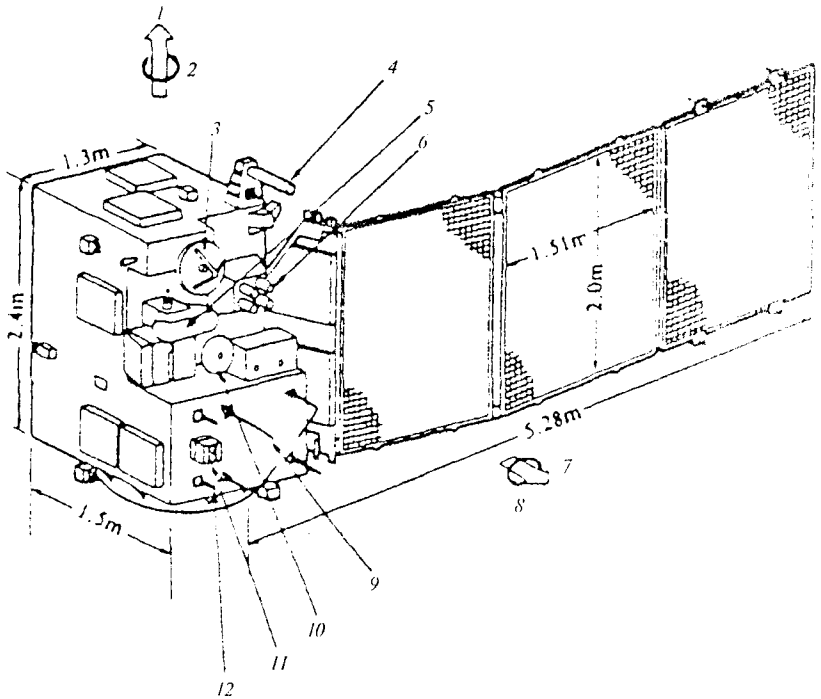


Рис.7.2. Космический аппарат типа Mos-1:

1 — направление полета
2 — ось вращения
3 — радиометр MSR
4 — антенна системы DCS
5 — радиометр VTIR
6 — радиометр MESSR
7 — ось рыскания
8 — направление на Землю
9 — антенна УКВ-диапазона
10 — антенна X-диапазона
11 — датчик Земли
12 — антенна S-диапазона

Многоспектральный сканирующий радиометр MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) используется для изучения состояния водных ресурсов и исследования замутнений воды в прибрежных зонах, наблюдения динамики приливов и отливов, выявления границ ледового и снежного покровов, контроля распространения вулканического пепла, исследования растительного покрова и геологических образований, а также для решения некоторых задач землепользования. В состав аппаратуры MESSR входят две 70-килограммовых камеры, светочувствительный блок каждой из которых включает по две 2048-элементных линейки ПЗС. Таким образом, радиометр MESSR обеспечивает одновременную съемку поверхности Земли в четырех спектральных диапазонах: 0.51–0.59, 0.61–0.69, 0.73–0.80 и 0.80–1.10 мкм. Каждой камерой осуществляется построение изображений с пространственным разрешением 50 м в полосе обзора шириной 100 км. При одновременном использовании обеих камер ширина суммарной полосы обзора составляет 200 км. С каждой камеры данные передаются со скоростью около 8 Мбит/с.

Сканирующий радиометр MSR (Microwave Scanning Radiometer) обеспечивает съемку поверхности Земли в двух микроволновых диапазонах. Изображения, формируемые в первом диапазоне (23.8 ± 0.2 ГГц) с пространственным разрешением 32 км, используются для наблюдения водяного пара, снежного покрова и мониторинга ливневых районов. При помощи изображений, построенных во втором диапазоне (31.4 ± 0.25 ГГц) с пространственным разрешением 23 км, обеспечивается измерение влажности облаков, съемка снежного и ледового покровов. Сканирование в пределах полосы обзора шириной 317 км осуществляется вынесенным параболическим отражателем, вращающимся со скоростью 18 об/мин. Масса радиометра составляет 54 кг, потребляемая мощность — 60 Вт. На выходе радиометра MSR формируется информационный поток со скоростью около 2 кбит/с.

Радиометр VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer) выполнен на основе оптической системы Ричи-Кретьена и предназначен преимущественно для наблюдения облачного покрова и измерения температуры поверхности моря. Рабочими диапазонами радиометра VTIR являются: 0.5–0.7, 6.0–7.0, 10.5–11.5 и 11.5–12.5 мкм. При этом пространственное разрешение в первом (видимом) диапазоне составляет 0.9 км, а в остальных — 2.7 км. Формирование изображений в пределах полосы обзора шириной 1500 км достигается за счет вращения сканирующего зеркала со скоростью 7.3 об/с. Для приема излучений в видимом диапазоне использованы кремниевые фотодиоды, а в трех инфракрасных диапазонах — фотоэлементы на HgCdTe-структурах. Масса камеры составляет 25 кг, потребляемая мощность — 35 Вт. С выхода радиометра данные выдаются со скоростью 800 кбит/с.

Управление космическими аппаратами серии Mos осуществляется из космического центра TSC (Tsukuba Space Center) при помощи станций слежения и управления, находящихся на территории Японии. Информация с бортовых радиометров и телеметрия передаются в реальном масштабе времени на сеть из 11 приемных станций (*табл. 7.1*), расположенных по всей территории Земного шара. При этом данные с приборов MESSR и VTIR передаются в X-диапазоне частот (8.025–8.5 ГГц), а данные с камеры MSR — в S-диапазоне (2.0–2.3 ГГц). Основной приемной станцией является центр наблюдения Земли EOC (Earth Observation Centre), расположенный в Hatoyama близ Токио. Информация ДЗЗ, принимаемая японскими станциями, включая центр EOC, распределяется среди конечных потребителей посредством находящегося в Токио Технологического цен-

тра по дистанционному зондированию RESTEC (REmote Sensing TEchnology Centre of Japan). Информация с морских, воздушных и наземных платформ мониторинга окружающей среды DCP на частоте 400 МГц передается на борт ИСЗ серии Mos, а затем ретранслируется на центральную станцию центра EOC на частоте 1.7 ГГц.

Таблица 7.1

Станции приема информации с ИСЗ серии Mos

Организационная принадлежность станции	Место расположения станции	Государственная принадлежность станции
Центр EOC	Хатояма (Hatoyama)	Япония
Токайский Университет	Кумамото (Kumamoto)	Япония
Национальный институт полярных исследований Японии	база Сева (Syowa), Антарктика	Япония
Австралийский центр дистанционного зондирования ACRES	Алис Спрингс (Alice Springs)	Австралия
Агентство ESA	Фучино (Fucino)	Италия
	Кируна (Kiruna)	Швеция
	Маспаломас (Maspalomas)	Испания
	Тромсо (Tromsoe)	Норвегия
Канадский центр дистанционного зондирования	Принс Алберт (Prince Albert)	Канада
	Гатино (Gatineau)	Канада
Национальный исследовательский совет Таиланда	Бангкок	Таиланд

Зарубежные потребители заказывают и получают информацию через соответствующие национальные центры обработки и распределения данных. В соответствии с достигнутым соглашением исключительное право на коммерческое распространение информации, принимаемой со спутников серии Mos, среди зарубежных потребителей принадлежит австралийской организации CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). Для приема информации ДЗЗ организацией CSIRO используется наземная станция, принадлежащая Автралийскому центру дистанционного зондирования ACRES (Australian Centre for REmote Sensing).

7.2. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СЕРИИ TOPEX/POSEIDON

Космические аппараты серии Topex/Poseidon разрабатываются в рамках совместного французско-американского проекта по долговременному изучению глобальной циркуляции океана и топографированию океанской поверхности. Американской стороной осуществлена сборка несущей платформы ИСЗ и разработана целевая аппаратура TOPEX (TOPography EXperiment), французская сторона ответственна за создание комплекса приборов дистанционного зондирования Poseidon и вывод спутника на орбиту.

Первый космический аппарат по программе TOPEX/POSEIDON был запущен 10 августа 1992 г. с полигона Kourou (Фр.Гвиана) при помощи ракеты-носителя Ariane-42P. Оперативное использование спутника, расчетный срок службы которого составляет 5–7 лет, было начато в феврале 1993 г. Спутник выведен на орбиту высотой 1331 x 1332 км, с наклонением 66.05° и периодом обращения 112 мин 26 с. Орбита такого типа характеризуется высокой стабильностью значений эксцентриситета и аргумента широты перигея, благодаря чему трасса спутника через определенный период времени проходит практически через один и тот же район. Так, с периодом в 127 витков (около 9.9 суток) трасса ИСЗ проходит на расстоянии не более 1 км от некоторой точки на поверхности Земли.

Разработчиками космического аппарата Topex/Poseidon являются следующие фирмы: лаборатория реактивного движения JPL (руководство проектом и разработка комплекса аппаратуры TOPEX), корпорация Fairchild Space (несущая платформа ИСЗ), Alcatel Espace (комплекс аппаратуры Poseidon), отделение Satellite Systems компании Honeywell (система наведения антенны, блок гироскопов), Dassault Electronique (радиоприемное устройство системы DORIS).

Масса спутника (рис.7.3) в начале срока орбитального функционирования составляет 2380 кг. Спутник стабилизирован по трем осям и конструктивно выполнен на базе унифицированной платформы MMS (Multi-Mission Spacecraft) фирмы Fairchaild, оснащенной панелью солнечной батареи, обеспечивающей мощность электропитания 3.38 кВт в начале и 2.14 кВт в конце срока активного существования. В систему энергообеспечения входят также три аккумуляторных батареи емкостью 50 А·час каждая. С учетом панелей солнечной батареи и вынесенных антенных систем космический аппарат имеет размеры 5.5 x 11.5 x 6.6 м.

В состав целевой аппаратуры ИСЗ входят два радиолокационных высотомера (ALT и SSALT), микроволновый радиометр атмосферной коррекции (TMR), а также три независимых системы определения параметров орбиты космического аппарата (GPSDR, LRA и DORIS). Приборы ALT, TMR, GPSDR и LRA разработаны под руководством американского космического агентства NASA и объединены в комплекс целевой аппаратуры TOPEX. Высотомер SSALT и система DORIS, созданные по заказу французского агентства CNES, входят в состав комплекса Poseidon.

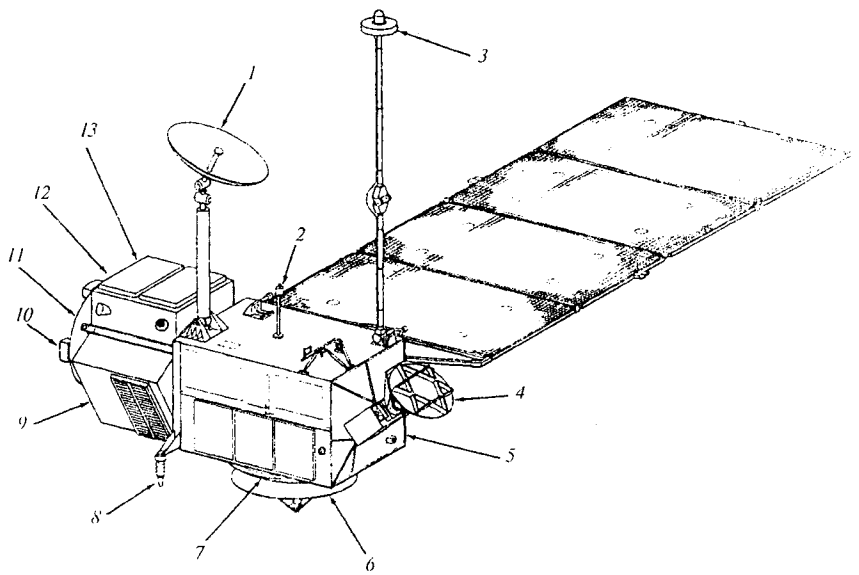


Рис.7.3. Космический аппарат Topex/Poseidon:

1 — антенна передачи данных через ИСЗ TDRS
2 — ненаправленная антенна
3 — антенна системы GPS
4 — микроволновый радиометр
5 — аппаратурная платформа
6 — антенна высотомеров
7 — лазерный отражатель
8 — антенна системы DORIS
9 — энергоблок
10 — реактивные двигатели (4)
11 — двигательная установка
12 — система орбитальной коррекции
13 — несущая платформа типа MMS

Комплексы TOPEX и Poseidon имеют сопоставимую точность измерения высоты спутника над поверхностью моря: 2—3 и 2—5 см, соответственно. Однако, погрешности определения параметров орбиты ИСЗ приводят к тому, что абсолютная высота поверхности моря относительно геоида может быть вычислена с точностью порядка 13—14 см. Отметим также, что при равных возможностях комплексы американского и французского производства существенно различаются по габаритам и энергопотреблению. Так, общая масса и потребляемая мощность комплекса TOPEX достигают 206 кг и 237 Вт, в то время, как для аппаратуры Poseidon эти показатели составляют 25 кг и 49 Вт, соответственно. Объясняется это тем, что аппаратура TOPEX была создана на основе модернизации высотомера, который ранее устанавливался на запущенном в 1978 г. спутнике SeaSat, а французский комплекс Poseidon является принципиально новой разработкой, запланированной к использованию на перспективных спутниках серии Topex/Poseidon и EOS.

Основным прибором комплекса TOPEX является двухчастотный радиолокационный высотомер ALT, предназначенный для точного измерения высоты спутника над поверхностью океана. Для проведения коррекции результатов измерений с учетом характеристик ионосферы зондирование осуществляется на двух частотах: 5.3 ГГц (С-диапазон) и 13.6 ГГц (Ku-диапазон). Результаты измерения концентрации электронов в ионосфере являются дополнительной информацией, получаемой с использованием высотомера ALT. Основные технические характеристики высотомера:

- излучаемая мощность: 2 Вт в С-диапазоне, 9 Вт в Ku-диапазоне;
- пространственное разрешение вдоль трассы ИСЗ: 6—7 км;
- точность измерения высоты спутника: 2.4 см;
- скорость выдачи информации: 9.2 кбит/с.

Радиометр TMR (Topex Microwave Radiometer) обеспечивает получение информации, необходимой для коррекции результатов измерения высоты ИСЗ с учетом концентрации тропосферного водяного пара и характеристик подстилающего облачного покрова. Рабочими частотами радиометра являются 18, 21 и 37 ГГц, при этом обеспечивается пространственное разрешение 44.6, 37.4 и 23.5 км, соответственно. Яркостная температура измеряется с точностью 1К. Информация с выхода радиометра TMR поступает со скоростью 125 бит/с.

Для определения параметров орбиты ИСЗ в комплексе TOPEX используются лазерный дальномер LRA и аппаратура GPSDR. Абсолютная точность измерения наклонной дальности до ИСЗ при помощи прибора LRA (Laser Retroreflector Array) колеблется от 2 до 13 см в зависимости от угла места спутника относительно наземной измерительной станции. Демонстрационное приемное устройство GPSDR (GPS Demonstration Receiver), разработанное фирмой Motorola, позволяет определять высоту космического аппарата с точностью 4 см при помощи спутниковой навигационной системы GPS (Global Positioning System). Скорость выдачи информации с устройства GPSDR составляет 700 бит/с.

Высотомер SSALT составляет основу комплекса Poseidon и обеспечивает измерение измерение высоты спутника над поверхностью моря, а также, в качестве дополнительной информации, высоту волн и скорость приповерхностного ветра. Высотомер SSALT имеет следующие технические характеристики:

- рабочая частота: 13.65 ГГц;
- ширина спектра излучаемых сигналов: 330 МГц;
- частота повторения и длительность излучаемых импульсов: 1.7 кГц и 100 мкс, соответственно;
- излучаемая мощность: 5 Вт;
- точность измерения высоты ИСЗ на уровнем моря: около 2 см;
- пространственное разрешение в надире: 2 км;
- периодичность измерения высоты ИСЗ: 1 с (основной режим, с интервалом 6 км вдоль трассы ИСЗ), 0.05 с (предварительный режим, с интервалом 300 м вдоль трассы);

• скорость формирования выходного информационного потока: 1.3 кбит/с (в оперативном режиме), 12 кбит/с (в режиме калибровки).

Система измерения параметров орбиты и радиоопределения DORIS аналогична соответствующему прибору, установленному на ИСЗ серии Spot (п.2.2.3.5).

Высотомерами ALT и SSALT используется единая антенная система с диаметром зеркала 1.5 м (рис.7.3). Ширина диаграммы направленности антенны по уровню половинной мощности составляет 1.1° на частоте 13.6 ГГц и 2.7° на частоте 5.3 ГГц. Одновременная работа высотомеров ALT и SSALT не предусмотрена. Около 90% всего времени функционирует аппаратура TOPEX, в остальное время — комплекс Poseidon. На спутниках типа Topex/Poseidon предусмотрена передача информации в наземный центр обработки через ИСЗ-ретранслятор системы TDRSS.

Очередной, модернизированный, ИСЗ серии Topex/Poseidon планируется запустить в 1999 г. На спутнике будут установлены усовершенствованные высотомер SSALT-2 и система определения параметров орбиты DORIS-NG (п.2.2.3.6), а также радиометр TMR и лазерный дальномер LRA, аналогичные использовавшимся на предыдущем космическом аппарате этой серии. Конструкция модернизированного космического аппарата будет существенно облегчена, ожидается, что его общая масса составит около 400 кг.

Основные отличия усовершенствованного высотомера SSALT-2 от предыдущего образца заключаются в том, что измерения планируется проводить как в Ku-, так и в C-диапазоне. Период измерения высоты ИСЗ в предварительном режиме возрастет до 0.1 с, а скорость передачи информации в режиме оперативного использования и в режиме калибровки увеличится соответственно до 1.5 и 15 кбит/с.

Дальнейшие работы по программе TOPEX/POSEIDON планируется проводить в рамках проекта EOS (гл.6).

7.3. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ SEASTAR

Космический аппарат SeaStar создается частной компанией OCS (Orbital Sciences Corp) преимущественно для получения глобальных данных о цвете поверхности океана в соответствии с программой Earth Probes, проводимой космическим агентством NASA.

Запуск ИСЗ SeaStar с расчетным сроком активного существования 5 лет запланирован на июнь 1997 г. Спутник будет выведен американской ракетой-носителем Pegasus на солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км, с наклонением 98.2°, периодом обращения 99 мин и местным временем пересечения экватора в нисходящем узле 12.00.

Космический аппарат SeaStar разрабатывается корпорацией OCS в соответствии с контрактом стоимостью 43.5 млн долл., выданным агентством NASA в марте 1991 г. В основу конструкции ИСЗ (рис.7.4) положена многофункциональная платформа типа PegaStar, размеры которой достигают 213 см в высоту и 112 см в диаметре. Общая масса спутника составляет 309 кг, из которых 50 кг приходится на целевую аппаратуру SeaWiFS. Космический аппарат стабилизирован по трем осям с точностью 0.5°, при этом погрешность измерения углов ориентации не превышает 0.07°. Для определения пространственного положения на борту спутника предусмотрен приемник сигналов навигационной системы GPS. Система энергообеспечения, состоящая из аккумуляторной батареи емкостью 6 А·час и четырех жестких панелей солнечной батареи размерами 55.9 x 152.4 см каждая, обеспечивает среднюю мощность электропитания 200 Вт в начале срока активного функционирования ИСЗ.

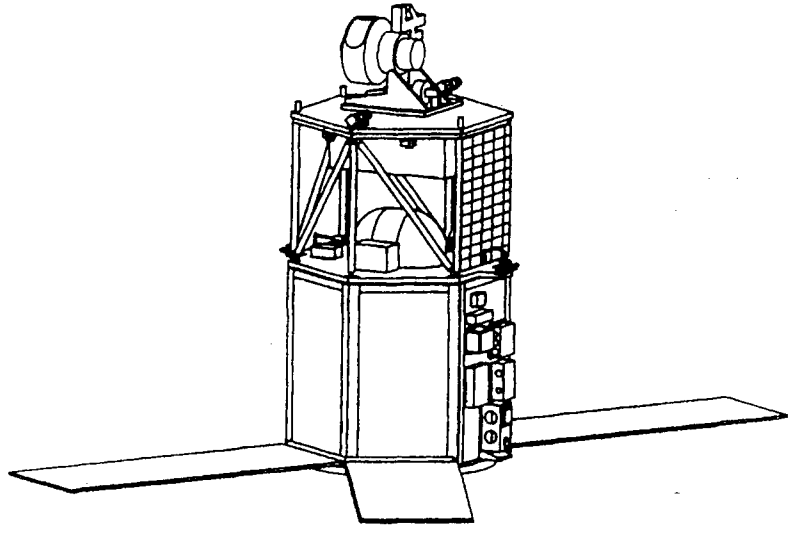


Рис.7.4. Космический аппарат SeaStar.

Устанавливаемая на спутнике SeaStar аппаратура дистанционного зондирования SeaWiFS (Sea viewing Wide Field Sensor) разрабатывается исследовательским центром Santa Barbara фирмы Hughes и представляет собой комбинацию сканера CZCS (Coastal Zone Color Scanner), ранее использовавшегося на спутнике Nimbus-7, и радиометра AVHRR, устанавливаемого на ИСЗ серии Noaa. Прибор SeaWiFS будет обеспечивать анализ цвета поверхности океана с целью исследования происходящих в нем глобальных биофизических процессов, включая воспроизводство фитопланктона и хлорофилла. Получаемые данные будут использоваться также для контроля углеродного цикла и изучения его влияния на глобальное потепление.

При съемке каждого изображения телескоп сканера SeaWiFS поворачивается на 360° вокруг фиксированной оси вращения, благодаря чему отпадает необходимость в использовании сканирующего зеркала и устраняются нежелательные поляризационные эффекты. За один оборот вокруг фиксированной оси камерой осуществляется съемка полосы изображения, калибровка по внутреннему эталонному источнику, а также калибровка нуля по открытому космосу. Во избежание появления солнечных бликов предусмотрен разворот камеры на -20°, 0° или 20° в плоскости, перпендикулярной плоскости сканирования. В целом аппаратура SeaWiFS имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.402–0.422, 0.433–0.453, 0.480–0.500, 0.500–0.520, 0.545–0.565, 0.660–0.680, 0.745–0.785 и 0.843–0.887 мкм;
- пространственное разрешение: 1.13 км в режиме локального наблюдения LAC (Local Area Coverage), 4.5 км в обзорном режиме GAC (Global Area Coverage);
- абсолютная радиометрическая точность: 5%;
- ширина полосы обзора: 1500–2800 км;
- периодичность повторной съемки заданного района: 1 сутки.

Передача кодированной информации, полученной космическим аппаратом SeaStar в режиме LAC, будет осуществляться в L-диапазоне частот с использованием режима HRPT (*табл.4.4*). Данные будут передаваться на все приемные станции, находящиеся на расстоянии до 2400 км от трассы ИСЗ, однако для декодирования принимаемых сигналов потребитель должен будет приобрести у фирмы OSC лицензию на право приема информации ДЗЗ и соответствующее декодирующее устройство.

Данные, полученные в обзорном режиме GAC, будут накапливаться на борту спутника и 2 раза в сутки сбрасываться на центральную приемную станцию, принадлежащую фирме OCS, в S-диапазоне частот со скоростью 2.0 Мбит/с. Для регистрации обзорной информации на борту спутника предусмотрен магнитофон емкостью 1.25 Гбит.

Дальнейшие работы по анализу цвета поверхности океана с применением космических средств дистанционного зондирования планируется проводить в рамках программы EOS при помощи спутников серии EOS-Color (п.6.7).

7.4. РОССИЙСКАЯ СПУТНИКОВАЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ОКЕАН»

7.4.1. *Общая характеристика программы «ОКЕАН»*

Работы по программе «ОКЕАН» были начаты в Советском Союзе с запуска в 1979 и 1980 гг. двух экспериментальных космических аппаратов «Космос-1076» и «Космос-1551», соответственно. На спутниках был установлен комплекс пассивных приборов дистанционного зондирования, предназначенных преимущественно для исследования океана. Начиная с очередного ИСЗ «Космос-1500», выведенного на орбиту в сентябре 1983 г., все спутники по программе «ОКЕАН» оснащались радиолокационной системой бокового обзора (РЛС БО) в комплекте с пассивной радиометрической аппаратурой, обеспечивающей съемку в различных диапазонах спектра. В 1984, 1986 и 1987 гг. были запущены еще три экспериментальных ИСЗ этой серии (соответственно, «Космос-1602, -1766 и -1869»), после чего в июле 1988 г. на орбиту был успешно выведен первый оперативный космический аппарат «Океан-О-1». Два очередных аппарата были запущены в 1990 и 1991 г., однако, аппаратура дистанционного зондирования на этих спутниках в скором времени вышла из строя и вплоть до 1994 г. в оперативном использовании оставался ИСЗ «Океан-О-1». В настоящее время эксплуатируется ИСЗ «Океан-О-4», выведенный на орбиту в октябре 1994 г.

Космические аппараты серии «Океан-О» разрабатывались и изготавливались в КБ «Южное» (Днепропетровск). В дальнейшем эта модель была использована в качестве базовой при создании по заказу Украинского космического агентства ИСЗ дистанционного зондирования типа «Сич». Спутники «Океан-О» с расчетным сроком активного функционирования 1 год запускаются с полигона Плесецк ракетой-носителем «Циклон» и выводятся на приполярные околокруговые орбиты со средней высотой 650 км и с наклонением 82.5°.

Космический аппарат типа «Океан-О» (рис.7.5) имеет цилиндрический корпус высотой 3 м и диаметром 1.4 м. Спутник стабилизирован по трем осям с точностью 0.75–1.0°, при этом точность определения ориентации составляет 0.03°. Средняя суточная мощность энергетической установки находится в пределах 110–270 Вт. Масса спутника достигает 1900 кг, из которых около 550 кг приходится на полезную нагрузку.

Конструктивной особенностью космических аппаратов серии «Океан-О» является размещение датчиков и антенн исследовательской аппаратуры на четырех поворотных панелях длиной 2.9 м, прикрепленных к днищу и расположенных в рабочем положении ортогонально ориентируемой на Землю оси космического аппарата /34/. В зачекованном состоянии панели расположены вдоль корпуса и устанавливаются в рабочее положение после выведения спутника на орбиту. Электронные блоки исследовательской аппаратуры размещены на приборной ферме вблизи днища. Химическая батарея, блок контроля системы энергопитания и электронные блоки системы ориентации солнечной батареи скомпонованы на ферме верхней части корпуса. Аппаратура командной радиолинии и телеметрической системы расположена в средней части корпуса. В этой же зоне размещены коммутационные блоки питания и управления для обеспечения минимальных длин кабелей связи с системами космического аппарата.

7.4.2. *Аппаратура дистанционного зондирования, устанавливаемая на космических аппаратах серии «Океан-О»*

Для всех экспериментов с использованием космических аппаратов серии «Океан-О» характерна комплексность изучения океана и атмосфе-

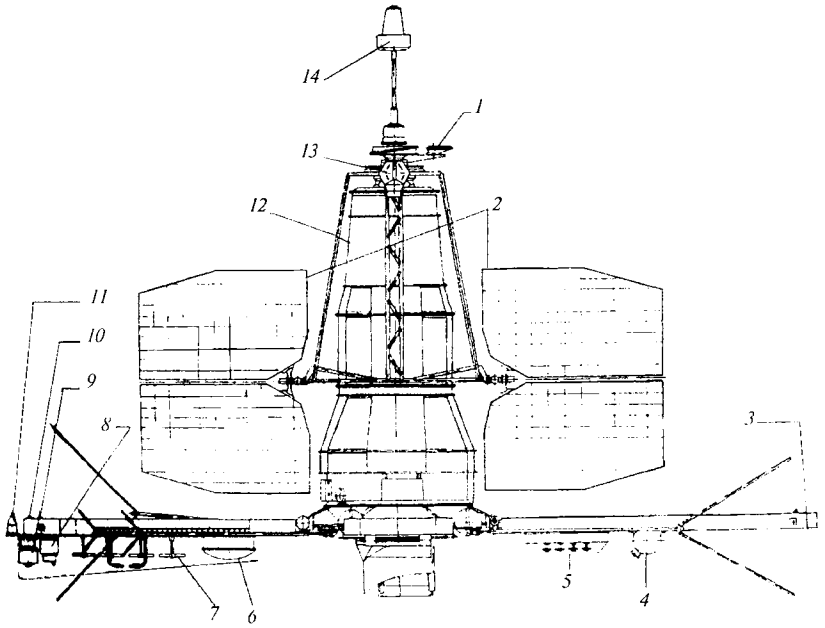


Рис.7.5. Космический аппарат типа «Океан-О»:

1 — датчик Солнца
2 — панели солнечной батареи
3 — место установки аппаратуры ДЗЗ
4 — датчик спектрометра «Трассер»
5 — приемная антенна системы сбора данных «Кондор-2»
6 — система питания и управления РЛС БО
7 — передающая антенна системы сбора данных «Кондор-2»
8 — многоспектральное сканирующее устройство МСУ-М
9 — многоспектральное сканирующее устройство МСУ-С
10 — антенна радиотелеметрической системы
11 — датчик магнитометра
12 — герметизированный отсек
13 — датчик системы управления положением панелей солнечной батареи
14 — гравитационный стабилизатор

ры, которая достигается оснащением спутников аппаратурой ДЗЗ, работающей в различных областях спектра. При этом осуществляется формирование совмещенного кадра, включающего информацию об одном и том же участке поверхности Земли, полученную одновременно радиолокационной системой бокового обзора (РЛС БО), сканирующим СВЧ-радиометром (РМ-0.8) и сканирующими устройствами видимого и инфракрасного диапазонов (МСУ-М и МСУ-С).

7.4.2.1. Радиолокационная система, устанавливаемая на спутниках серии «Океан-О», представляет собой некогерентную импульсную радиолокационную станцию с реальной апертурой антенны 11.3 м. При проектировании РЛС БО ИСЗ «Космос-1500» вследствие ограниченной пропускной способности канала передачи данных было принято решение

отказаться от использования антенны с синтезированной апертурой. Радиолокационная система ИСЗ серии «Океан-О» осуществляет зондирование по левую строну от трассы ИСЗ и имеет следующие основные характеристики:

- рабочая длина волны: 3.1 см;
- длительность зондирующего импульса: 3 мкс;
- ширина диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости: 0.2°;
- пространственное разрешение: 1.5 км (по азимуту), 2 км (по дальности);
- поляризация антенны РЛС: вертикальная линейная;
- ширина полосы обзора: 450 км;
- максимальная продолжительность непрерывной работы: 15 мин.

7.4.2.2. Многоспектральное сканирующее устройство МСУ-М предназначено для получения изображений поверхности океана и ледовых полей в диапазонах 0.5–0.6, 0.6–0.7, 0.7–0.8 и 0.8–1.1 мкм. Съемка осуществляется в полосе обзора 1930 км с пространственным разрешением 1 x 1.7 км. Время непрерывной работы не превышает 30 мин. Предусмотрена установка сканера МСУ-М на поворотной платформе, позволяющей разворачивать плоскость сканирования в секторе углов ±25° с шагом 5°. Выбор величины угла поворота плоскости сканирования определяется высотой и азимутом Солнца.

7.4.2.3. Сканирующее устройство МСУ-С используется для решения тех же задач, что и МСУ-М, но имеет повышенное до 345 м пространственное разрешение в полосе обзора 1280 км. Съемка осуществляется в двух спектральных диапазонах 0.5–0.7 и 0.7–1.0 мкм.

7.4.2.4. Сканирующий радиометр РМ-0.8 обеспечивает прием собственного радиоизлучения поверхности Земли на частоте 0.8 см. Съемка ведется в полосе обзора 550 км. Пространственное разрешение при этом составляет 15 x 20 км, а температурное — 0.3 К. Время непрерывной работы радиометра ограничивается 15 минутами.

7.4.2.5. Система «Кондор-2», предназначенная для сбора информации с платформ геофизического мониторинга, расположенных в полосе шириной 600 км вдоль трассы ИСЗ, осуществляет прием информации с платформ на частоте 1533.4 МГц со скоростью 500 бит/с, а затем передачу полученных данных в наземный центр обработки на частоте 460.03 МГц со скоростью 2 кбит/с.

Система «ОКЕАН» включает один-два космических аппарата типа «Океан-О», три оперативных центра приема и обработки данных (ОЦПОД) Росгидромета (Москва, Новосибирск и Хабаровск), а также упрощенные приемные комплексы, находящиеся непосредственно у потребителей. Передача информации дистанционного зондирования в полном объеме осуществляется по радиолинии дециметрового диапазона (с ИСЗ «Космос-1500» на частоте 466.5 МГц) в ОЦПОД. В метровом диапазоне волн на частоте 137.4 МГц данные передаются массовым потребителям в стандартном режиме АРТ.

8 КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Задачи исследования атмосферы Земли условно могут быть разделены на два класса: изучение физических процессов, протекающих в земной атмосфере, и определение ее химического состава.

Определение вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы осуществляется на основе измерения характеристик уходящего излучения в инфракрасном и микроволновом диапазонах. Устройства микроволнового и инфракрасного зондирования позволяют разделять излучения, соответствующие разным высотам, благодаря зависимости степени расширения линий излучения газовых компонентов от атмосферного давления и, как следствие, от высоты соответствующего газового слоя. В качестве индикаторных газов при измерении вертикальных профилей температуры обычно используются кислород или углекислый газ, относительно равномерно распределенные в атмосфере. Для определения профилей влажности спектральные диапазоны устройств микроволнового и инфракрасного зондирования выбираются совпадающими со спектральными линиями водяного пара.

Определение концентрации в атмосфере различных газовых компонентов осуществляется путем измерения характеристик отраженных электромагнитных волн на частотах, соответствующих линиям поглощения, излучения и рассеяния этих газов. Измерения проводятся в широком участке спектра от ультрафиолетового до микроволнового диапазона. При этом относительно широкополосные радиометры могут быть использованы только для определения концентрации озона, в то время, как характеристические линии других малых газовых компонентов являются весьма тонкими и могут быть выявлены лишь при помощи аппаратуры с высоким спектральным разрешением. По принципу действия аппаратуру определения химического состава атмосферы разделяют на приборы с наблюдением в надир и приборы, работающие в режиме наблюдения лимба. В первом случае обеспечивается достаточно высокое пространственное разрешение по горизонтали и низкое по вертикали, а во втором — высокое вертикальное (несколько км) и низкое (около 100 км) горизонтальное разрешение.

8.1. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ UARS

8.1.1. *Общая характеристика ИСЗ Uars*

Космический аппарат NASA, получивший наименование Uars (Upper Atmosphere Research Satellite), является первым спутником, запущенным по программе «Миссия к планете Земля» (Mission to Planet Earth), и крупнейшим ИСЗ исследования атмосферы. Спутник был выведен на орбиту высотой 600 км с наклонением 57° в сентябре 1991 г. в ходе полета многоразового транспортного космического корабля (МТКК) Shuttle по программе STS-48. Расчетный срок активного функционирования ИСЗ Uars составлял три-четыре года и в настоящее время спутник прекратил работу.

Программа UARS была предложена в 1976 г., прежде всего, в ответ на усилившиеся опасения относительно разрушительного антропогенного воздействия на озоновый слой Земли. Таким образом, основной целью орбитального эксперимента, начатого в 1991 г., являлось получение исчерпывающих данных, необходимых для изучения процессов истощения стратосферного озона. Четыре прибора (CLAES, ISAMS, MLS и HALOE), установленные на спутнике, обеспечивали измерение температурных профилей и концентрации озона, метана, водяного пара и основных малых газовых компонентов, таких, например, как хлорфтороуглеродов, оказывающих наиболее губительное воздействие на озоновый слой. Аппаратура HRDI и WINDII использовалась для картирования ветровых полей в верхних слоях атмосферы на основе доплеровских измерений. Еще три прибора ДЗЗ (SUSIM, SOLSTICE и PEM) были предназначены для контроля солнечного излучения и заряженных частиц, существенным образом влияющих на химический состав и динамику верхних атмосферных слоев.

Дополнительно в ходе эксперимента исследовались вопросы, связанные с энергетическим балансом в верхних слоях атмосферы, глобальными фотохимическими процессами, взаимодействием верхней и нижней атмосферы, а также взаимосвязью всех вышеперечисленных факторов.

8.1.2. *Бортовая аппаратура ИСЗ Uars*

8.1.2.1. Прибор ACRIM-2 (Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor) обеспечивает получение информации о яркости Солнца и определение солнечной постоянной, а также анализ временных вариаций суммарной интенсивности солнечного излучения в диапазоне от 1 нм до 1 мм с точностью не хуже 0.1%. Скорость передачи информации составляет 1 кбит/с.

8.1.2.2. Спектрометр CLAES (Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer) предназначен для определения концентрации азота, производных хлора, озона, водяного пара, метана и углекислого газа. Анализ содержания CO_2 осуществляется с целью определения температуры атмосферы

на различных высотах. Одновременно обеспечивается измерение на 20 высотах в диапазоне от 10 до 60 км. Спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- рабочие длины волн: 3.5, 6, 8, 12.7 мкм;
- пространственное разрешение: 2.8 км (по вертикали), 480 км (по горизонтали);
- точность измерения: 20% или 3К (в средней стратосфере);
- ширина полосы обзора: 50.7 км (перекрытие лимба по вертикали);
- скорость передачи информации: 3 кбит/с.

8.1.2.3. Экспериментальный прибор HALOE (Halogen Occultation Experiment) использовался для анализа вертикальных профилей концентрации плавиковой и соляной кислот, а также метана, водяного пара и производных азота. Кроме того, результаты измерения содержания углекислого газа, полученные при помощи прибора HALOE, использовались для анализа температуры атмосферы совместно с профилями давления.

Характеристики экспериментального прибора HALOE следующие:

- рабочие длины волн: 2.43 и 10.25 мкм;
- вертикальное разрешение по лимбу: около 4.5 км;
- горизонтальное разрешение по касательной к лимбу: около 300 км;
- точность измерений: 10–30%;
- ширина полосы обзора: 6–150 км (перекрытие лимба по вертикали);
- скорость передачи информации: 4 кбит/с.

8.1.2.4. Усовершенствованный зондировщик ISAMS (Improved Stratospheric and Mesospheric Sounder) предназначен для определения концентрации азота, озона, водяного пара, метана, окиси углерода, а также содержания атмосферных аэрозолей. Также предусмотрена возможность определения температуры атмосферы в зависимости от высоты на основе анализа содержания углекислого газа.

Прибор имеет следующие технические характеристики:

- рабочий диапазон: 4.6–16.6 мкм;
- пространственное разрешение по лимбу: 2.6 км (вертикальное), 18 км (горизонтальное);
- ширина полосы обзора: 65 км (перекрытие лимба по вертикали);
- скорость передачи информации: 1.25 км.

8.1.2.5. Микроволновый зондировщик MLS (Microwave Limb Sounder) использовался для анализа излучений окиси хлора, водяного пара и озона с длиной волны 4.8, 1.64 и 1.46 мкм, а также для определения атмосферного давления и вертикального профиля температуры на основе анализа излучений молекулярного кислорода.

Прибор MLS имеет следующие характеристики:

- рабочие частоты: 63, 183 и 205 ГГц;
- пространственное разрешение по лимбу: 4 км (вертикальное), около 400 км (горизонтальное);
- точность измерений: 5–25%;

- ширина полосы обзора:
  15–85 км с полным покрытием лимба по вертикали (нормальный режим),
  18 км с возможностью вертикального сканирования по всему лимбу (дополнительный режим);
- скорость передачи информации: 1.25 кбит/с.

8.1.2.6. Монитор PEM (Particle Environment Monitor) предназначен для детального анализа ультрафиолетового излучения, а также типа, количества, энергии и распределения заряженных частиц, влетающих в термосферу, мезосферу и стратосферу Земли.

8.1.2.7. Экспериментальный прибор SOLSTICE (Solar/Stellar Irradiance Comparison Experiment) обеспечивал исследование временных вариаций спектра излучения солнечного диска в УФ-диапазоне частот. Калибровка прибора осуществлялась путем сравнения интенсивностей УФ-излучений Солнца и ярких стабильных звезд. Характеристики прибора SOLSTICE:

- рабочий диапазон длин волн: 115–430 нм;
- ширина полосы пропускания (спектральное разрешение):
  0.12 или 0.25 нм (при анализе излучения Солнца),
  5 или 10 нм (при анализе излучения звезд);
- точность измерений: не хуже 5%;
- скорость передачи информации: 0.25 кбит/с.

8.1.2.8. Монитор SUSIM (Solar Ultraviolet Spectral Irradiance Monitor) предназначен для решения тех же задач, что и прибор SOLSTICE и имеет следующие технические характеристики:

- рабочий диапазон длин волн: 120–400 нм;
- ширина полосы пропускания: 0.15 нм;
- точность измерений: 1%;
- скорость передачи информации: 2 кбит/с.

8.1.2.9. Интерферометр WINDII (WIND Imaging Interferometer) и прибор HRDI (High Resolution Doppler Imager) устанавливались на ИСЗ Uars для проведения круглосуточных наблюдений ветра на высотах от 80 до 300 км путем измерения доплеровского сдвига линий излучения нейтрального и ионизированного атомарного кислорода, двух линий молекул гидроксила, а также молекулярного кислорода. Кроме того, интерферометр WINDII использовался для измерения температуры атмосферы и определения концентрации излучающих компонент атмосферы и имел следующие характеристики:

- диапазон длин волн: 0.55–0.78 мкм;
- пространственное разрешение:
  2 км (вертикальное),
  25 км (горизонтальное);
- точность измерения скорости ветра: 10 м/с;
- ширина полосы обзора: 70–310 км;
- скорость передачи информации: 2 кбит/с.

8.2. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ОЗОНОВОГО СЛОЯ ЗЕМЛИ СЕРИИ TOMS-EP

Космические аппараты серии Toms-EP (Total Ozone Mapping Spectrometer — Earth Probe) используются для продолжения серии экспериментов, начатых при помощи аппаратуры исследования озонового слоя Земли, установленной на ИСЗ Nimbus-7.

В соответствии с программой TOMS-EP был запланирован запуск двух спутников на солнечно-синхронные орбиты высотой 955 км с наклонением 99.3° и местным временем пересечения экватора в восходящем узле орбиты 11.00—12.00. Успешный запуск первого ИСЗ Toms-EP состоялся 9 августа 1995 г. с помощью ракеты-носителя Pegasus-XL с полигона NASA в Wallops WFF (Wallops Flight Facility). Спутник был выведен на орбиту высотой 670—690 км с периодом обращения 98 мин. Очередной космический аппарата этой серии, стоимость которого оценивается в 7.6 млн долл., выведен на орбиту 2 июля 1996 г.

Разработка ИСЗ серии Toms-EP (рис.8.1) осуществляется фирмой TRW, для создания аппаратуры дистанционного зондирования привлекается фирма Perkin-Elmer. Корпус космического аппарата изготовлен на основе платформы Eagle фирмы TRW и имеет вид шестиугольной призмы с диаметром основания 99 см и высотой 168 см без специальной аппаратуры. Общая площадь двусторонних панелей солнечных батарей составляет 6.25 м², при этом обеспечивается мощность бортовой энергетической установки не ниже 223 Вт в конце срока существования. В области тени питание обеспечивается одной универсальной никель-кадмиевой батареей емкостью 9 А·ч. Стабилизация ИСЗ трехосная с точностью ориентации не хуже 0.5°.

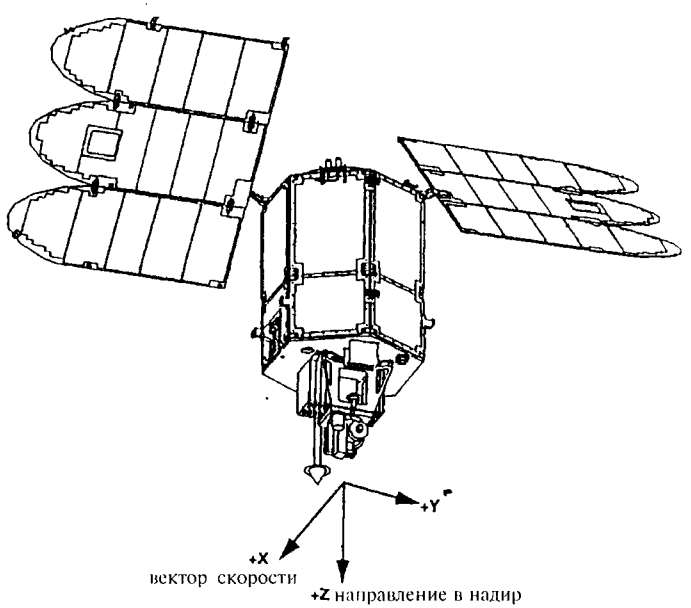


Рис.8.1. Космический аппарат серии Toms-EP.

Основным прибором ДЗЗ, устанавливаемым на спутниках серии Toms-EP, является спектрометр картирования озонового слоя TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), который представляет собой многочастотную систему, работающую в УФ-диапазоне и предназначенную для определения содержания в атмосфере озона и двуокиси серы. Многолетний эксперимент, проводимый с помощью приборов TOMS (аналогичные приборы устанавливаются на японских ИСЗ Adeos и российских метеоспутниках серии «Метеор-3»), направлен на изучение динамики распределения озона в атмосфере, контроль за состоянием «озоновой дыры» над Антарктикой, измерение характеристик озонового слоя в арктической зоне.

Прибор TOMS основан на монохрометре Фасти-Эберта диапазона 3086—3600 А и обеспечивает измерение ежегодного изменения концентрации озона в атмосфере с точностью до 0.1%. Возможность поперечного сканирования позволяет реализовать достаточно высокое пространственное разрешение при картировании озонового слоя. Спектрометр имеет следующие основные характеристики:

- рабочие длины волн: 0.3086, 0.3125, 0.3175, 0.3223, 0.3312 и 0.36 мкм;
- мгновенное поле зрения: 3°;
- ширина полосы обзора: 2800—3100 км;
- разрешающая способность: 47 x 47 км (в надире), 62 x 62 км (среднее разрешение в полосе обзора);
- масса прибора: 20 кг;
- потребляемая мощность: 22 Вт.

В течение суток информация со спектрометра со скоростью около 736 бит/с регистрируется на твердотельное бортовое запоминающее устройство, а затем в S-диапазоне передатчиком мощностью 2 Вт сбрасывается на приемную станцию командно-измерительного комплекса DSN или полигона Wallops со скоростью 202.5 или 50.6 кбит/с. Совмещенный центр управления полезной нагрузкой и обработки поступающей информации находится в НИЦ им.Годдарда NASA.

8.3. АМЕРИКАНСКО-ЯПОНСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА TRMM

8.3.1. *Общая характеристика программы TRMM*

Космический аппарат, создаваемый в рамках международной американско-японской программы TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), будет являться первой системой, специально предназначенной для наблюдения за тропическими ливнями. На протяжении трех лет предполагается ежемесячно исследовать процессы осадкообразования над участками поверхности площадью 5° x 5° по широте и долготе (около 500 x 500

км). Актуальность таких исследований объясняется тем, что вода, присутствующая в атмосфере во всех трех фазах, оказывает посредством конденсации и испарения существенное влияние на энергетический баланс планеты, глобальное перемещение воздушных масс и тепловых потоков. Кроме того, скрытая теплота, высвобождаемая тропическими ливнями, обеспечивает до 75% получаемой атмосферой энергии и играет, таким образом, ключевую роль в глобальной атмосферной циркуляции. Тем не менее, характеристики тропических ливней до настоящего времени с ко-бо изучены, что отрицательно сказывается, в частности, на точности существующих климатологических моделей.

Запуск ИСЗ Trmm запланирован на август 1997 г. с помощью японской РН H-2 с полигона Tanegashima. Спутник будет выводиться на круговую орбиту высотой 350 км с наклонением 35°. Масса ИСЗ (рис.8.2) составляет 3500 кг, из которых 725 кг приходится на гидразинное топливо, необходимое для удерживания высоты орбиты с точностью ±1.25 км. Космический аппарат имеет трехосную систему стабилизации с точностью ориентации 0.2°. Энергетическая установка мощностью 1.1 кВт включает две панели солнечных батарей и две никель-кадмиевые батареи емкостью 50 А·час каждая.

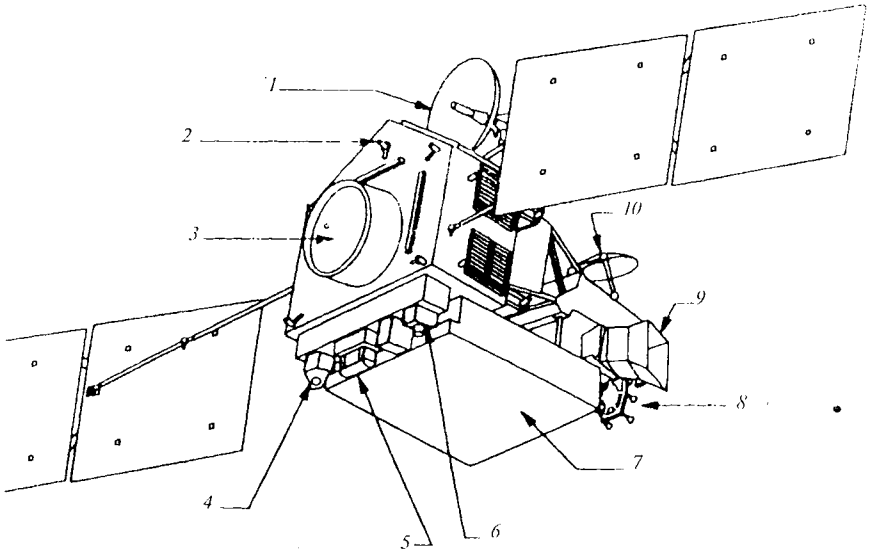


Рис.8.2. Космический аппарат Trmm:

1 — антенна передачи данных через ИСЗ TDRS
2 — ненаправленные антенны (2)
3 — топливный бак
4 — датчик Земли
5 — система CERES
6 — камера LIS
7 — РЛС наблюдения за осадками PR
8 — двигатели (6 передних, 6 задних)
9 — сканер VIRS
10 — камера TMI

8.3.2. *Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Trmm*

В соответствии с программой TRMM американская сторона отвечает за разработку спутника и основной части его бортовой аппаратуры, японская — за запуск космического аппарата и создание РЛС наблюдения за осадками PR.

8.3.2.1. Радиолокационная система наблюдения за осадками PR (Precipitation Radar) разрабатывается агентством NASDA при головном исполнителе Toshiba. Прибор PR является первой РЛС контроля погоды космического базирования. Система оснащается плоской антенной решеткой размерами 2.1 x 2.1 м и массой 376 кг, состоящей из 128 щелевых волноводных излучателей с ТТПУ. РЛС PR имеет следующие характеристики:

- рабочая частота: 13.796 и 13.802 ГГц;
- мощность в импульсе: 578 Вт;
- пространственное разрешение: около 250 м (по дальности), 4.3 км (по горизонтали в надире);
- угол сканирования поперек трассы: ±17°;
- ширина полосы обзора: 215 км;
- период просмотра полосы обзора: 0.6 с;
- диапазон просматриваемых высот: от поверхности Земли приблизительно до высоты 15 км;
- точность определения скорости выпадения осадков: около 0.7 мм/час;
- длительность импульса: 1.67 мкс;
- частота повторения импульсов: 2778.3 Гц;
- ширина ДН: 0.71°;
- скорость выдачи информации: 93.5 кбит/с;
- потребляемая мощность: 222 Вт.

8.3.2.2. Сканер VIRS (Visible IR Scanner) разрабатывается NASA. Информация, получаемая со сканера, совместно с данными аппаратуры CERES используется для анализа излучений облачного покрова, а также для калибровки результатов измерения интенсивности осадков, полученных при помощи других приборов ДЗЗ. Сканер VIRS имеет следующие характеристики:

- рабочие длины волн: 0.63, 1.6, 3.75, 10.8, 12 мкм;
- пространственное разрешение в надире: 2 км;
- мгновенное поле зрения при отклонении на 350 км от надира: ±0.210°;
- угол сканирования поперек трассы: ±45°;
- ширина полосы обзора: 720 км;
- скорость выдачи информации: 50 кбит/с;
- масса прибора: 57 кг;
- потребляемая мощность: 40 Вт.

8.3.2.3. Микроволновая камера TMI (Trmm Microwave Imager) разрабатывается NASA для получения информации об интенсивности выпадения осадков, в особенности — осадков над океаном, для которых предусмотрена возможность построения карт общего количества осадков, выпавших над океаном за месяц. Для восстановления комбинированной

структуры осадков результаты зондирования обрабатываются совместно с данными радиолокатора PR. Основные характеристики камеры TMI:

- рабочие частоты: 10.7, 19.4, 21.3, 37 и 85.5 ГГц;
- пространственное разрешение: 5—41 км (в зависимости от рабочей частоты);
- ширина полосы обзора: 790 км;
- скорость выдачи информации: 8.8 кбит/с;
- масса: 65 кг;
- потребляемая мощность: 50 Вт.

8.3.2.4. Система измерения лучистой энергии CERES (Cloud and Earth Radiant Energy System) разрабатывается NASA и используется также на космических аппаратах серий Eos-AM и Eos-PM. Система предназначена для изучения радиационного баланса Земли в глобальном масштабе. Для этого осуществляется картирование коротковолнового и длинноволнового ИК излучений как верхних, так и нижних слоев атмосферы. Система CERES выполнена на основе термисторных болометров и имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.3—5.0, 8.0—12.0, 0.3—50 мкм;
- пространственное разрешение в надире: 21 км;
- точность измерения: 2% (коротковолновое излучение), 1% (длинноволновое излучение);
- угол сканирования: 70±42.5°;
- скорость выдачи информации: 20 кбит/с;
- масса прибора: 45 кг;
- потребляемая мощность: 45 Вт.

8.3.2.5. Камера контроля грозовых разрядов LIS (Lightning Imaging Sensor), разрабатываемая NASA, будет использоваться для изучения механизмов влияния грозового электричества на процессы осадкообразования, выявления отличий в этих механизмах при выпадении осадков над морем и сушей. В ходе проводимых наблюдений планируется получить глобальное распределение и исследовать временные вариации распределения грозовых разрядов. Камера выполнена на основе решетки ПЗС и имеет следующие характеристики:

- рабочая длина волны: 0.7774 мкм;
- пространственное разрешение в надире: 4 км;
- поле зрения решетки ПЗС: 80° x 80°;
- скорость передачи информации: 6 кбит/с;
- масса прибора: 28 кг;
- потребляемая мощность: 33 Вт.

Передача информации дистанционного зондирования осуществляется в S-диапазоне частот через ретранслятор системы TDRSS либо непосредственно на наземный пункт приема. Суммарная скорость передачи данных ДЗЗ составляет около 170 кбит/с. На космическом аппарате планируется установить два твердотельных устройства записи емкостью 264 Мбайт каждое. Телеметрическая информация передается со скоростью 18 кбит/с в реальном масштабе времени, либо 1.75 Мбит/с — в режиме воспроизведения.

8.4. ШВЕДСКИЙ ИСЗ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ODIN

8.4.1. *Общая характеристика ИСЗ Odin*

Космический аппарат, разрабатываемый по программе ODIN, предназначен для решения различных аэрономических и астрономических задач, включая изучение химического состава и динамики атмосферы, а также наблюдения процессов образования новых звезд и химического анализа межзвездного пространства. Спутник разрабатывается под руководством Шведского космического агентства SSC (Swedish Space Corporation) и Национального космического совета SNSB (Swedish National Space Board).

Запуск космического аппарата Odin с норвежского ракетного полигона Andoya Rocket Range запланирован на октябрь 1997 г. с помощью малой ракеты-носителя PA-2, разрабатываемой фирмой PacAstro. Спутник имеет массу 205 кг и выводится на солнечно-синхронную орбиту, которая находится в плоскости терминатора, имеет высоту 620 км и наклонение 97°. Повторное прохождение трассы ИСЗ на расстоянии не более 100 км от заданного района обеспечивается каждые 5 суток.

8.4.2. *Аппаратура дистанционного зондирования ИСЗ Odin*

Приборы ДЗЗ, устанавливаемые на спутнике, используются как для наблюдения атмосферы, так и в интересах астрономических приложений.

8.4.2.1. Построитель изображений ИК-диапазона (IR imager) имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 1.26, 1.27 и 1.28 мкм;
- пространственное разрешение: 1 км;
- скорость передачи данных: за один виток планируется передавать несколько Мбайт информации.

8.4.2.2. Микроволновый радиометр, устанавливаемый на ИСЗ Odin, имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны частот: 119, 486—502 и 541—580 ГГц;
- пространственное разрешение: 2 км (вертикальное), 2 км (горизонтальное, при круговом сканировании);
- спектральное разрешение: 0.15 и 1.0 МГц;
- скорость передачи данных: за один виток планируется передавать около 10 Мбайт информации.

8.4.2.3. Спектрометр ультрафиолетового и видимого диапазонов (UV-visible spectrometer) имеет следующие технические характеристики:

- рабочие диапазоны: выше 280 нм (УФ), до 800 нм (видимый участок спектра);
- спектральное разрешение: 1—2 нм;
- разрешение: 1 км (вертикальное), 40 км (горизонтальное);
- скорость передачи данных: за один виток планируется передавать около 11 Мбайт информации.

9 МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Под малыми космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли принято понимать спутники массой до 500 кг, стоимостью не более 50 млн долл. и с ограниченным составом целевой аппаратуры (чаще всего, это одна-две оптико-электронных камеры высокого или среднего разрешения). Развитию проектов, связанных с разработкой малых спутников ДЗЗ, способствовали как новые достижения в области совершенствования датчиков дистанционного зондирования, аппаратуры ориентации ИСЗ, источников энергообеспечения и других бортовых подсистем, так и известные сложности в продвижении таких широкомасштабных программ, как LANDSAT, SPOT и др. Малые спутники дистанционного зондирования разрабатываются, как правило, частными фирмами с максимальным использованием существующего отечественного и зарубежного опыта создания космических аппаратов ДЗЗ, а также военных спутников аналогичного назначения. При этом делается расчет на рентабельность каждой отдельной системы на базе малых ИСЗ.

Работы по созданию собственных малых ИСЗ дистанционного зондирования ведутся в Аргентине, Бразилии, Великобритании, Германии, Израиле, Испании, Италии (совместно с Испанией и Грецией), Республике Корее, США, Тайване и Южноафриканской Республике (*табл. 9.1*).

В настоящее время наибольшее развитие проекты, связанные с созданием малых ИСЗ ДЗЗ, получили в США. В начале 1994 г. космическое агентство NASA подготовило проект программы по разработке технологий создания малых ИСЗ SSTI (Small Satellite Technology Initiative) и направило запрос на участие в этой программе 275 ведущим фирмам американского аэрокосмического комплекса. Предполагалось, что программа SSTI, на которую в период с 1994 по 1998 гг. запланировано выделить 112 млн долл., будет способствовать развитию американской промышленности, содействовать научным проектам NASA и позволит расширить опыт США в области коммерциализации космических средств дистанционного зондирования.

В рамках проекта SSTI в июне 1994 г. фирмам TRW (Redondo Beach, шт.Калифорния) и CTA (Rockville, шт.Мэриленд) были выданы контракты NASA на разработку соответственно спутников Lewis и Clark. При этом в соответствии с условиями контрактов масса каждого космическо-

Таблица 9.1

Основные характеристики малых космических аппаратов ДЗЗ

Страна разработки ИСЗ ДЗЗ	Наименование ИСЗ	Число спектр. диапазонов	Общий перекрываемый участок спектра, мкм	Простр. разрешение, м	Полоса обзора или размер кадра, км	Год запуска
Аргентина	SAC-C	5	0.48–1.7	150	315 x 315	1998–2002
Великобритания	Kitsat-1 (Корея)	1 1	0.81–0.89 0.81–0.89	3500 350	2550 x 1800 220 x 160	1992
	Posat-1 (Португалия)	1	0.61–0.69	200	150 x 100	1993
		1	0.81–0.89	2000	1500 x 1050	
Германия	Tubsat	*	*	*	*	1997
Гемания, Израиль	David	*	многоспектр.	5	*	1998
Израиль, США	Eros (8 ИСЗ в системе)	1 *	0.5–0.9 многоспектр.	1 5	11 x 55 15 x 55	1997–2002
Испания	MiniSat	1 *	панхроматич. многоспектр.	3 3	10–20 10–20	*
Италия, Испания, Греция	Cosmo (4 ИСЗ с РСА)	1	РСА на частоте 9.65 ГГц	3 6–12	40 100–120	*
	Cosmo (3 ИСЗ с оптико-электр. камерами)	1 *	панхроматич. многоспектр.	3 15–20	12 x 12 100–120	
Корея	KompSat	6	многоспектр.	1000	*	1999
		1 2	0.51–0.73 0.43–0.68	10 20	40 40	
США	Lewis	1 120 256	0.45–0.75 0.4–1.0 0.9–2.5	5 30 30	13 7.7 7.7	1997
		1	1.0–2.5	300	77	

	Clark	1 2	0.45–0.8 0.5–0.68	3 15	6 30	1997
	Earth Watch (ИСЗ Early Bird)	*	многоспектр.	15	*	1997
	SIS (ИСЗ Carterra)	1 *	панхроматич. многоспектр.	1 3.3	* *	1998
	Orbview-1	1 *	панхроматич. многоспектр.	1/2 4	4/8 8	1998
	TerraSat	6	1.1–2.78	130	33.3 x 33.3	*
		1	8.0–9.5	50	6.4 x 6.4	
		6	0.4–1.0	90	34.5 x 25.9	
		5	0.4–0.75	12	4.6 x 3.5	
Тайвань	RockSat	6	многоспектр.	800	*	1998

*) — характеристики не уточняются.

го аппарата не должна была превышать 350 кг, объем — 1м^3, а стоимость 2-летней разработки — 50 млн долл. Запуски спутников запланированы на 1997 г. с Западного ракетного полигона США при помощи легкой ракеты-носителя LLV-1, разработанной фирмой Lockheed Martin.

Для космического аппарата Lewis выбрана солнечно-синхронная орбита высотой 502 км и наклонением 97.4°, которая обеспечивает период повторной съемки заданного района не более 4–5 суток без отклонения камеры от направления в надир. Масса ИСЗ составляет 285.1 кг, из которых 81.3 кг приходятся на полезную нагрузку, а 11.8 кг — на топливо.

На спутнике устанавливается гиперспектральная камера HSI (Hyper-Spectral Imager) фирмы TRW с возможностью отклонения сектора обзора на ±22° от направления в надир. Камера HSI обеспечивает работу в трех различных режимах (*табл.9.2*) и ежесуточно будет передавать до трех изображений.

Кроме того, на ИСЗ Lewis устанавливается камера среднего разрешения LEISA (Linear Etalon Imaging Spectral Array) со следующими характеристиками:

- рабочий диапазон: 1–2.5 мкм;
- спектральное разрешение: 3–8 нм;
- пространственное разрешение: 300 м;
- ширина полосы обзора: 77 км;
- размеры снимка на местности, 77 x 77 км;

- отклонение сектора обзора от направления в надир: ±15° вдоль трассы и ±60° поперек трассы;
- радиометрическая точность: 4096 уровней.

Таблица 9.2

Характеристики режимов работы камеры HSI ИСЗ Lewis

Характеристика	Наименование режима		
	Панхроматический	1-й гиперспектральный	2-й гиперспектральный
число спектральных поддиапазонов	1	120	256
участок спектра, перекрываемый всеми поддиапазонами, мкм	0.45–0.75	0.4–1.0	0.9–2.5
спектральное разрешение, нм	—	5	6.25
пространственное разрешение, м	5	30	30
ширина полосы обзора, км	13	7.7	7.7
размер снимка на местности, км	13 x 13	7.7 x 7.7	7.7 x 7.7
радиометрическая точность уровней	256	4096	4096

ИСЗ Clark будет выводиться на солнечно-синхронную орбиту высотой 456 км с наклонением 97.3° и местным временем пересечения экватора 11 ч 15 мин. Спутник имеет массу около 280 кг, при этом на полезную нагрузку приходится 94 кг, а 12.7 кг — на топливо. Расчетная продолжительность активного функционирования ИСЗ составляет 3 года.

Целевая аппаратура космического аппарата Clark включает многоспектральную камеру, разработанную корпорацией WorldView Imaging, спектрометр мягкого рентгеновского излучения, а также два прибора для измерения загрязнений атмосферы, один из которых является томографом. Многоспектральная камера ИСЗ Clark имеет следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0.45–0.8 мкм (панхроматический режим), 0.5–0.59 и 0.61–0.68 мкм (многоспектральный режим);
- пространственное разрешение: 3 м в панхроматическом режиме и 15 м в многоспектральном режиме;
- ширина полосы обзора: 6 км в панхроматическом режиме и 30 км в многоспектральном режиме;
- отклонение сектора обзора от направления в надир: ±30° вдоль и поперек трассы ИСЗ;
- точность геодезической привязки изображений: 100 м.

Возможность отклонения сектора обзора камеры ИСЗ Clark в направлении вдоль трассы спутника будет использоваться при построении стереоскопических изображений интересующих объектов за один пролет ИСЗ.

Важной особенностью ИСЗ Lewis и Clark является наличие на борту специального компьютера, позволяющего выявлять и исключать в полученных изображениях участки, закрытые облачностью. На ИСЗ Lewis, кроме того, предусмотрен режим, в котором сектор обзора камеры среднего разрешения LEISA отклоняется в направлении полета спутника, что позволяет заблаговременно проанализировать плотность облачного покрова по трассе ИСЗ и не использовать камеру HSI для съемки закрытых облачностью участков. Благодаря этому удастся избежать передачу на Землю малоинформативных данных. Для записи изображений на борту спутников Lewis и Clark будут установлены накопители емкостью 4 и 1.37 Гбайт, соответственно.

Данные космического аппарат Lewis будут передаваться на пункт приема фирмы TRW в Chantillie (шт.Сев.Виргиния) и станцию Аляскинского университета в Fairbanks. С ИСЗ Clark сброс данных будет осуществляться в зонах обслуживания станций в Livermore (шт.Калифорния), Fairbanks (шт.Аляска) и Kiruna (Швеция).

В соответствии с условиями контракта, заключенного с фирмами TRW и CTA, в течение одного года после запуска спутников Lewis и Clark передаваемые данные будет бесплатно распространяться среди потребителей. Таким образом агентство NASA надеется стимулировать разработку предложений по концепции коммерческого использования информации с малых ИСЗ дистанционного зондирования. В соответствии с конкурсом, проведенным NASA в 1995 г., право на продажу снимков, полученных с космического аппарата Clark, в дальнейшем будет осуществлять компания Terra NOVA International (Los Altos, шт.Калифорния), которая заблаговременно оказывает содействие фирме CTA в изучении рынка сбыта этих изображений.

В США концепцию доступа к данным от ИСЗ ДЗЗ, разработанных и находящихся в собственности федерального правительства, обозначил закон о коммерциализации дистанционного зондирования 1984 года (Public Law 98–365, The Land Remote-Sensing Commercialization Act или Landsat Act), а развил и дополнил ее закон 1992 года (Public Law 102–555, The Land Remote Sensing Policy Act или Policy Act), направленный на привлечение американских фирм к коммерческой деятельности. После этого на частные спутниковые системы ДЗЗ министром торговли США было выдано 9 лицензий. В 1994 г. правительство президента Клинтона заявило о своем решении стимулировать развитие американской промышленности, связанной с дистанционным зондированием, и одновременно указало на необходимость защиты интересов национальной безопасности.

В 1995 г. организацией NOAA разработан проект документа, регламентирующего порядок введения правительством США ограничений на дистанционное зондирование отдельных участков местности. Такие ограничения могут вводиться под предлогом обеспечения национальной безопасности, а также в соответствии с особенностями проводимой внешней политики. В проекте определяются условия, при которых Министр

торговли после консультаций с Министром обороны и Государственным секретарем может потребовать ограничения дистанционного зондирования территории или ограничения распространения снимков на какой-либо район в течение любого периода, когда существует угроза национальным интересам или национальной внешней политике США /14/.

Первой частной компанией, получившей от правительства США лицензию на создание коммерческого ИСЗ, на котором будет установлена съемочная аппаратура высокого разрешения, является фирма WorldView Imaging Corp. Планируется, что фирмой будет разработан спутник, обеспечивающий получение снимков с пространственным разрешением 3 м при периодичности повторного пролета над заданным участком на поверхности Земли 4.75 суток.

После этого аналогичные лицензии были выданы фирмам Eyeglass International и Space Imaging. Космический аппарат компании Eyeglass International планируется оснастить панхроматической камерой с разрешением 1 м. На спутнике SIS (Space Imaging Satellite) будет размещена камера, обеспечивающая пространственное разрешение 1 м при работе в панхроматическом режиме и 4 м при получении многоспектральных снимков (в видимом и ИК-участках спектра). Оба спутника в 1997 г. планируется вывести на орбиты, обеспечивающие 2-суточный период повторного просмотра заданного участка на поверхности Земли.

Компания Orbimage, разрабатывающая спутник дистанционного зондирования Orbview-1, намечает вывести его на орбиту высотой 460 км в 1998 г. Этот аппарат обеспечит получение и передачу в реальном масштабе времени панхроматических изображений с разрешением 1 и 2 м, а также многоспектральных снимков с разрешающей способностью 4 м. При этом в режиме с максимальным пространственным разрешением 1 м ширина полосы обзора будет составлять 4 км, а в панхроматическом режиме с разрешением 2 м и в многоспектральном режиме будет обеспечиваться просмотр полосы шириной 8 км. Спутник Orbview-1 разрабатывается на основе платформы космического аппарата Microlab-1, выведенного на орбиту 3 апреля 1995 г. при помощи ракеты-носителя Pegas-XL. К 2000 г. компания рассчитывает иметь годовой доход от эксплуатации системы Orbview в размере 100 млн.долл.

В 1994 г. по контракту, выданному NASA, фирма LeoSat Industries разработала проект двух малых ИСЗ изучения природных ресурсов типа TerraSat, которые при необходимости могут быть использованы в системе LANDSAT до запуска нового спутника Landsat-7 в случае выхода из строя использующегося в настоящее время ИСЗ Landsat-5. Оба космических аппарата типа TerraSat планируется выводить на орбиты с параметрами, аналогичными спутникам системы LANDSAT. Каждый ИСЗ такого типа будет иметь массу около 145 кг, его ориентировочная стоимость составляет 13.7 млн долл.

В качестве целевой аппаратуры ДЗЗ на спутниках типа TerraSat планируется установить по 4 оптико-электронных камеры, характеристики

которых приведены в *табл.9.3.* Камеры с разрешением 130, 90 и 12 м обеспечивают многоспектральный режим съемки за счет смены по программе с периодичностью 200–250 мс оптических фильтров, настроенных на различные спектральные поддиапазоны.

Таблица 9.3

Характеристики оптико-электронных камер, устанавливаемых на ИСЗ типа TerraSat

Характеристика	Номер камеры			
	1	2	3	4
число спектральных поддиапазонов	6	1	6	5
участок спектра, перекрываемый всеми поддиапазонами, мкм	1.1–2.78	8.0–9.5	0.4–1.0	0.4–0.75
пространственное разрешение, м	130	50	90	12
скорость формирования изображений, $с^{-1}$	10	10	20	20
число элементов в матрице ПЗС	256 x 256	128 x 128	384 x 288	384 x 288
масса камеры, кг	1.6	1.65	1.25	0.5
потребляемая мощность, Вт	30	30	12	6

10 ОСОБЕННОСТИ ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ РОССИЙСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

С какими проблемами сталкивается сегодня российский потребитель информации ДЗЗ? В условиях быстро растущего ГИС-сообщества, повышенного и предметного интереса к краевым и региональным задачам в России, хронической нехватки централизованных финансовых ресурсов таких проблем оказывается больше, чем этого бы хотелось.

Прежде всего, это неразвитость в России маркетинговой сети распространения как мировой, так и отечественной информации ДЗЗ. Здесь есть ряд общих проблем и проблем специфических, свойственных России.

Общие проблемы связаны со сверхцентрализацией и, соответственно, сверхмонополизацией доступа к информации подобного рода. Дело в том, что весьма ограниченное число наземных приемных комплексов (гл.2, 3) уже не позволяет сегодня обслуживать быстро растущий рынок широкого потребления информации ДЗЗ. В России к середине 1997 г. существует единственный работающий оперативный центр приема информации в г. Обнинске, а еще два, запланированных Росгидрометом в Новосибирске и Хабаровске, не позволяют принимать данные в Х-диапазоне частот. Между тем, в одних университетах — США, Канады, Японии и т.п. — существуют уже многие сотни Центров дистанционного зондирования, Лабораторий спутникового мониторинга Земли и т.п., являющихся потенциальными потребителями данных такого рода. Пропускная способность существующих общедоступных средств передачи данных (типа Internet) не позволяет «перекачивать» необходимые объемы информации дистанционного зондирования (типичный объем снимка высокого разрешения составляет несколько сотен Мбайт). Это приводит к необходимости пересылки зарегистрированной информации ДЗЗ с использованием магнитных, магнито-оптических и других подобных носителей, что существенно снижает оперативность доставки данных потребителям и усложняет процедуру их использования.

Альтернативой отправке выбранных снимков на магнитных носителях по почте из ограниченного числа крупных центров приема и архивации данных является внедрение собственных систем оперативного доступа, обеспечивающих непосредственный прием информации ДЗЗ в пунктах тематической обработки и анализа спутниковых данных.

Специфические российские проблемы связаны как с затрудненностью доступа к общемировым базам данных из-за низкой пропускной способности отечественных линий связи и дороговизны для потребителя мировых цен, так и с маркетинговой «неоформленностью» собственных, отечественных баз данных. Под последним обстоятельством мы подразумеваем отсутствие до недавнего времени современных электронных каталогов; стандартных, совместимых с основными ГИС-пакетами, форматов хранения и обработки данных; устойчивой и разумной ценовой политики и т.п.

Необходимо также учитывать особенности тематических задач, стоящих перед отечественными потребителями: колоссальные размеры подлежащих контролю территорий; высокую динамику изменения природно-ландшафтных комплексов, связанную с активной и зачастую стихийной хозяйственной деятельностью последних лет и т.п.

Поэтому в последней главе мы попытались провести анализ существующей ситуации в области ДЗЗ с учетом приведенных выше особенностей российского рынка (п.10.1), а также описать конкретные решения, реальные на сегодняшний день для внедрения в практику и рассмотренные на примере технологической цепочки «прием информации — обработка — распространение данных», предлагаемой Инженерно-технологическим центром СКАНЭКС — ведущим отечественным разработчиком и поставщиком подобных серийных систем (п.10.2).

10.1. СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ДЗЗ

Обширная часть настоящего издания (гл.2—9) была посвящена обзору существовавших, существующих в настоящее время и основных перспективных космических программ ДЗЗ.

В настоящем разделе проводится сопоставительный анализ общей ситуации в области ДЗЗ, исходя из возможностей изменения сложившейся практики сверхцентрализованного доступа к исходной информации. Решением вопроса может явиться создание сети малогабаритных, недорогих станций приема и обработки природноресурсной информации, описание которых приведено в п.10.2.

Такого сорта системы нашли повсеместное распространение в последнее десятилетие для приема и обработки метеорологической информации по вполне естественной причине: невысокий темп передачи этих данных (*табл. 10.1*) сделал возможным реализацию недорогих, доступных массовому потребителю систем (антенн, демодуляторов, интерфейсов) для регистрации сигналов в реальном времени в процессе пролета спутника в зоне приема станции. Отметим, что комплексов для приема цифровой метеорологической информации (*табл. 10.1*) насчитывается сегодня более тысячи (гл.4, 5); для приема общедоступного стандарта передачи данных в аналоговом виде (режимы APT и WEFAX) — десятки тысяч.

Таблица 10.1

Характеристики съемочной аппаратуры различных космических программ

1. Пространственное разрешение, м	< 10	10—100	100—1000	1000—10000
2. Спутник/сенсор	Irs-1C,1D/PAN; Radarsat/SAR	«Ресурс-О»/МСУ-Э; ~~Adeos/AVNIR;~~ Cbers/CCD; Ers-1,2/AMI-SAR; ~~Jers-1/OPS,SAR;~~ Irs-1A,1B/LISS-1; Irs-1A,1B/LISS-2; Irs-1C,1D/LISS-3; ~~Landsat-4,5/MSS;~~ Landsat-4,5/TM; Landsat-7/ETM+; Mos/MESSR; ~~Spot-1,2,3/HRV-P*~~; ~~Spot-1,2,3/HRV-XS**~~; Spot-4/HRVIR-P; Spot-4/HRVIR-XS;	«Ресурс-О»/МСУ-СК; Cbers/WFI; Irs-1C,1D/WiFS; ~~Mos/VTIR;~~	FY-1,2/VHRSR; Noaa 10-14/AVHRR; Seastar/SeaWiFS; Trmm/VIRS; Meteosat/MVIRI; Trmm/LIS,PR; «Метеор-3М»/МР-2000, «Климат-2»; Goes/Imager; Gms/VISSR; «Электро»/БТВК;
3. Полоса обзора, км	≈50	≈100	≈500	>2 000
4. Скорость передачи данных, Мбит/с	>100	>100	≈10	<1
Наземный сегмент				
5. Диаметр антенны, м	>10	≈6-10	≈2-3	<1
6. Цена, долл.	≈10 000 000	≈ 1 000 000	≈100 000	≈10 000
7. Количество станций	≈ 5	≈ 25	3	>1 000

* P — панхроматический режим.
** XS — многоспектральный режим.

Это обстоятельство, наряду с принятой Всемирной метеорологической организацией бесплатностью и общедоступностью доступа к информации такого рода, привело к повсеместному использованию спутникового метеорологического мониторинга не только в профессиональных приложениях, но и в образовательных центрах, в практике любительского приема космической информации и т.п.

В то же время, основные программы спутникового природноресурсного мониторинга (*табл. 10.1*) из-за высокого потока передачи данных (до 100 Мбит/с и более) требуют создания весьма громоздких (диаметр антенного зеркала более 5 м) и, соответственно, дорогих приемных станций. Кроме того, ориентировочная стоимость лицензии на прием информации подобного рода превышает 1 млн долл. в год. Эти обстоятельства естественным образом приводят к вышеупомянутой проблеме сверхцентрализации доступа (всего в мире насчитывается порядка 25 станций, способных принимать побобную информацию), а также к итоговым весьма значительным ценам на спутниковую информацию (*табл. 10.2*).

Таблица 10.2

Цены на спутниковые изображения

Спутник/ датчик ДЗЗ	Принадлежность	Количество каналов	Стоимость снимка, долл.	Ширина полосы съемки, км	Пространст. разрешение, м	Стоимость съемки площади 100 км², долл.
Meteosat/ MVIRI	ESA	3	113	полушарие	2500	бесплатно
Noaa/ AVHRR	США	5	115	2400	1000	бесплатно
«Ресурс-О»/ МСУ-СК	**Россия**	**4**	**1300**	**600**	**150**	**0.36**
Irs	Индия	4	300	130	36	2
Mos	Япония	4	316	100	50	3
Landsat/MSS	США	4	1233	185	80	4
«Ресурс-О»/ МСУ-Э	**Россия**	**3**	**200**	**45**	**35**	**10**
Landsat/TM	США	7	5180	185	30	16
Spot/HRV-XS	Франция	3	2487	60	20	69
Spot/HRV-P	Франция	1	3133	60	10	87

Исключением могла бы явиться информация так называемого среднего разрешения (порядка нескольких сот метров), плотности потока

передачи которой еще достаточны для приема на сравнительно небольшие антенные зеркала с диаметром порядка 2–3 м. Однако чаще всего информация датчиков, осуществляющих съемку с подобным разрешением, включается в общий поток данных — соответственно, нельзя построить отдельную недорогую систему, осуществляющую прием и обработку этой информации. Удачным исключением является российская программа «РЕСУРС-О» (п.2.7), где для передачи данных как среднего (150 м), так и высокого (40 м) разрешения попеременно выделен канал с пропускной способностью 7.68 мбит/с. Такая плотность потока позволяет осуществить его прием с помощью весьма компактной системы с диаметром зеркала 1.6–2.0 м (п. 10.2) и приблизить получение информации к конечному потребителю. Немаловажным является и то, что стоимость спутниковых данных при таком подходе может быть на порядок ниже цен для информации ИСЗ «Ресурс-О», приведенных в *табл. 10.2*. Особенно интересной представляется такая возможность для российских потребителей, так как согласно решению РКА прием информации сканера среднего разрешения (МСУ-СК) осуществляется в России на бесплатной и беззаявочной основе, а заказ съемок сканером высокого разрешения (МСУ-Э) — на льготных условиях (цена заказа одного снимка сканера МСУ-Э составляет около 0.5 млн руб., что на порядок дешевле аналогичного показателя для основных западных систем типа LANDSAT и SPOT).

Таким образом, сегодня российский потребитель может иметь оперативный доступ не только к бесплатной метеорологической информации, но и по весьма доступным ценам — к информации основной российской системы изучения природных ресурсов — «РЕСУРС-О». Безусловно, высокое качество съемок, наличие стандартизованных алгоритмов обработки информации удобно организованных архивов и схем оформления заказа привлекает внимание к предложениям таких активных поставщиков информации дистанционного зондирования Земли, как, например, Spot Image, даже несмотря на относительно высокую стоимость данных. Однако, имея собственный архив съемки с космических аппаратов серии «Ресурс-О», легче принять правильное, взвешенное решение о приобретении более дорогой информации западных систем изучения природных ресурсов.

10.2. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: ПЕРСОНАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Персональными принято называть станции приема и первичной обработки спутниковых данных, представляющие собой комплексы, которые не требуют специального обслуживания и сопровождения в текущей работе, ориентируются на использование персональных компьютеров и могут эффективно эксплуатироваться одним оператором или исследова-

телем. Из этого достаточно общего определения вытекает ряд конкретных требований к персональным приемным станциям:

1. Все вспомогательные, служебные функции должны быть полностью автоматизированы, от расчетов расписания работы станции до распаковки и калибровки принятых данных.

2. Стоимость комплекса приема и обработки спутниковых данных должна быть сопоставима со стоимостью персональных компьютеров, необходимых для регистрации и обработки интересующих информационных потоков.

3. Система, наряду с современным дизайном, должна обладать достаточным ресурсом и надежностью в работе: простотой адаптации к появлению новых источников данных (новых средств дистанционного зондирования, средств передачи данных с ИСЗ и т.п.), «дружественным» пользовательским интерфейсом, прежде всего, в смысле программного обеспечения (ПО), простотой экспорта данных в стандартные форматы, универсальностью пакетов обработки изображений, а также возможностью наращивания ПО.

В идеальном случае пользователь должен иметь возможность, исходя из стоящих перед ним задач, выбрать оптимальную конфигурацию приемной системы, как в смысле регистрации передаваемых со спутников данных, так и в смысле использования для дальнейшей обработки тех или иных прикладных алгоритмов. Так мы приходим к идее создания универсального конструктора персональных станций для приема и обработки спутниковых данных.

При этом, очевидно, на сегодня наиболее оптимальной и распространенной для использования программной средой является Windows, так как пользовательский интерфейс в этом случае достаточно универсален и привычен, а перспективы развития позволяют надеяться не только на широкое применение в сетях, но и сближение платформ Windows и UNIX.

Практическую реализацию такого подхода на отечественном рынке предлагает Инженерно-технологический центр СКАНЭКС, которым разработан и серийно выпускается широкий спектр персональных станций приема спутниковой информации (*табл. 10.3*). Комплексы «Лиана-М» (п.10.2.1.1) и «Селена» (п.10.2.1.2) представляют собой образцы направленных стационарных антенн для приема и регистрации информации с геостационарных спутников, «Лиана» (п.10.2.2.1) — ненаправленной стационарной антенны для приема малых информационных потоков в режиме APT с полярноорбитальных спутников, «СканЭкс» (п.10.2.2.2) и «СканЭР» (п.10.2.3) — направленных следящих антенн с программным и автосопровождением для приема соответственно метеорологической и природноресурсной информации с полярноорбитальных спутников.

Наиболее полно мы остановимся на станции «СканЭР», так как она является наиболее высокотехнологичным проектом, выполняемым ИТЦ СКАНЭКС, одобрена Российским космическим агентством и не имеет аналогов не только в России, но и в мире.

Таблица 10.3

Персональные станции приема спутниковой информации

Наименование станции	Режим передачи или тип датчика	Серии спутников	Диапазон частот, МГц	Полоса обзора, км	Разрешение, км	Вес станции, кг
«Лиана»	APT	Noaa, «Метеор», «Океан»	137	2000	4 x 4	15
«Лиана-М»	WEFAX	Goes, Gms «Электро», Meteosat	1700	полусфера	8 x 8	25
«Селена»	MDUS	«Электро»	7500	полусфера	2 x 2	140
«СканЭкс»	HRPT	Noaa, SeaWiFS	1700	2000	1.1 x 1.1	140
«СканЭр»	МСУ-Э, МСУ-СК	«Ресурс-О»	8200	45 600	0.035 x 0.045 0.15 x 0.25	170

10.2.1. *Комплексы «Лиана-М» и «Селена»*

10.2.1.1. Комплекс «Лиана-М» предназначен для демодуляции, аналого-цифрового преобразования и ввода в ПЭВМ данных, поступающих с метеорологических спутников типа Meteosat, Gms, Goes и «Электро» на частоте 1.7 ГГц.

В состав комплекса помимо аппаратной части входят персональная ЭВМ класса IBM PC/AT-486 и специальное программное обеспечение.

Аппаратная часть комплекса состоит из:

- зеркальной параболической антенны диаметром 1.2 м, устанавливаемой на стационарном основании;
- облучателя, установленного в фокусе антенного зеркала;
- малошумящий усилитель (МШУ) и преобразователя частоты на 137 МГц, смонтированного в непосредственной близости от облучателя;
- малогабаритного приемника, монтирующегося на плате интерфейса;
- блока сопряжения с персональным компьютером, выполненного в виде платы, вставляемой в слот компьютера.

Программное обеспечение, входящее в комплект поставки комплекса, работает в среде MS Windows и позволяет:

- принимать изображение со спутника по заданному расписанию;
- отображать процесс приема на дисплее компьютера в режиме реального времени;
- осуществлять анимацию последовательно принятых изображений;
- вырезать интересующий фрагмент, увеличивать и уменьшать его;
- контрастировать изображение, строить гистограмму яркости для выбранного участка;

- экспортировать файлы изображений в формат BMP;
- распечатывать изображение на лазерном или струйном принтере.

При должной аппаратной и программной настройке система обеспечивает полностью автоматический прием данных и процесс формирования изображений, не требующий участия оператора ни на одной из стадий работы.

Требования к базовой ПЭВМ

Тип	IBM PC/AT
Процессор	i486DX2 и выше
Тактовая частота	50 МГц и выше
Шина	ISA
ОЗУ	8 Мбайт
Графический адаптер	SVGA, 256 цветов
Скорость переноса на жесткий диск	не менее 1 Мбайт

Программное обеспечение выполнено в среде MS Windows 3.1. Пользовательский интерфейс приложения управления приемом построен в элементах стандартных меню и диалогов. Расписание витков может быть рассчитано в приложении или загружено в приложение из текстового файла. При наличии расписания приложение автоматически переводит систему в состояние приема по наступлении времени начала витка и автоматически прекращает прием по окончании витка или при потере сигнала. Формируемое изображение индицируется на дисплее ПЭВМ в реальном времени в уровнях серого тона с автоматическим масштабированием, обеспечивающим возможность наблюдения всего поля изображения по одному из каналов.

10.2.1.2. Комплекс «Селена» обеспечивает устойчивый прием цифровой информации с геостационарного спутника Meteosat на частоте 1.7 ГГц. Станция позволяет в течение длительного интервала времени (до двух суток) непрерывно принимать, формировать и записывать изображения без участия оператора.

Аппаратная часть включает:

- зеркальную параболическую антенну диаметром 2.6 м;
- облучатель, установленный в фокусе антенного зеркала;
- МШУ и преобразователь частоты, смонтированные в непосредственной близости от облучателя;
- малогабаритный приемник;
- блок сопряжения с персональным компьютером.

Программное обеспечение, входящее в комплект поставки станции, функционирует в среде MS Windows и обеспечивает решение задач, перечисленных в п. 10.2.1.1.

10.2.2. ***Комплексы «Лиана» и «СканЭкс»***

Станции «Лиана» и «СканЭкс» являются характерными примерами персональных станций приема и обработки спутниковой информации. Конструкция антенных устройств позволяет надежно регистрировать информацию, передаваемую спутником при углах места более 10°. Спиральная антенна станции «Лиана» сравнительно легко устанавливается на крыше или балконе любого здания. Управляемая от компьютера антенна «СканЭкс» сопровождает спутник по угловым координатам на протяжении всей видимой части витка. Диапазон метеопараметров, в которых работают приемные антенны комплексов «Лиана» и «СканЭкс», весьма широк: температура от -50°С до +50°С, скорость ветра — до 22 м/с.

Наличие антенных усилителей и фильтров допускает без каких-либо дополнительных приспособлений удаление антенн от приемного устройства на расстояние до 50 м, что в подавляющем большинстве случаев оказывается вполне достаточным для потребителя. Наконец, компактные и современные приемные устройства (для станции «Лиана» — плата, вставляемая в слот ПЭВМ, или, по желанию, отдельный интерфейсный блок; для «СканЭкс» — блок управления антенной, подключаемый к компьютеру через последовательный порт RS-232, и интерфейсная плата, вставляемая в слот ПЭВМ) завершают архитектуру аппаратной части обеих станций.

Программное обеспечение станций построено по принципу максимальной дружественности и открытости по отношению к пользователю при замкнутости и комплексности подхода к решению вспомогательных задач. Широко распространяемой по сетям информации об орбитальных данных вполне достаточно для расчета времени сеансов связи со спутником. Дальнейший процесс проведения или пропуска сеанса зависит только от желания пользователя.

Географическая привязка, контрастирование, выбор интересующего фрагмента, полноцветный синтез — весьма неполный список возможностей прилагаемых программных пакетов (п. 10.2.3). При необходимости предусмотрен экспорт видеоинформации в стандартные форматы и переход к другим программным пакетам.

10.2.2.1. Станция приема спутниковых изображений «Лиана» представляет собой изящное и недорогое решение проблемы оперативного приема спутниковой информации в режиме APT (Automatic Picture Transmission) в диапазоне частот 136–138 МГц. Комплекс «Лиана» обеспечивает полную автоматизацию приема, простоту в освоении программного обеспечения, возможность быстрого получения твердой копии на принтере, удобное сопряжение с автоматизированным рабочим местом синоптика «ГИС-Метео» — все это способствует успешному внедрению комплекса в практику оперативной работы региональных, областных и авиационных гидрометеорологических центров, а также аэрофотосъемочных отрядов (рис. 10.1).

Комплекс обеспечивает устойчивый прием изображений с полярно-орбитальных спутников «Метеор», Noaa, «Океан» даже в условиях индустриальных помех.

Аппаратная часть включает:

- приемную антенну;
- малошумяший усилитель;
- кабель снижения;
- блок демодулятора и цифрового интерфейса.

Приемная антенна представляет собой 4-заходовую спираль размерами 150 x 150 x 50 см с установочным основанием 100 x 100 см. Ширина диаграммы направленности по уровню 3 дБ не менее 160°. Антенна разборная, легко монтируется, размер в транспортном положении (с упаковкой) не превышает 60 x 60 x 30 см. МШУ конструктивно выполнен в виде герметичного блока, крепящегося на основании антенны. Коэффициент усиления 40±2 дБ. Диапазон частот 135...139 МГц. Кабель снижения (в стандартной поставке длиной 50 м) предназначен для соединения удаленной части комплекса (антенна + МШУ) с блоком демодулятора и цифрового интерфейса, который выпускается в различных версиях: устанавливается в слот расширения ПЭВМ или подключается через последовательный порт.

Программная часть состоит из двух приложений:

1. Приложение SL/APT Receiver.
2. Приложение ScanViewer.

Приложение SL/APT Receiver осуществляет следующие функции:

- управление аппаратным интерфейсом;
- отображение принимаемых данных на дисплее PC в реальном времени;
- формирование и запись на жесткий диск файлов изображения;
- расчет расписания витков по заданнфым параметрам орбиты спутника;
- автоматический прием информации по расписанию.

Приложение ScanViewer обеспечивает:

- просмотр в произвольном масштабе целого изображения или выбираемого пользователем участка;
- сохранение на диске для последующей обработки фрагмента изображения;
- нанесение на спутниковый снимок географической карты с возможностью ручной коррекции ее положения;
- просмотр изображения в модифицируемой пользователем псевдоцветной палитре;
- экспорт изображения в формат Windows BMP;
- вывод на печать отдельного изображения или группы изображений с наложением географической привязки.

10.2.2.2. Комплекс «СканЭкс» обеспечивает прием, регистрацию и обработку информации, передаваемой с метеорологических ИСЗ серии Noaa в диапазоне 1670–1710 МГц в режиме HRPT.

В состав комплекса входят антенная система, устройство сопряжения антенной системы с ПЭВМ и программное обеспечение.

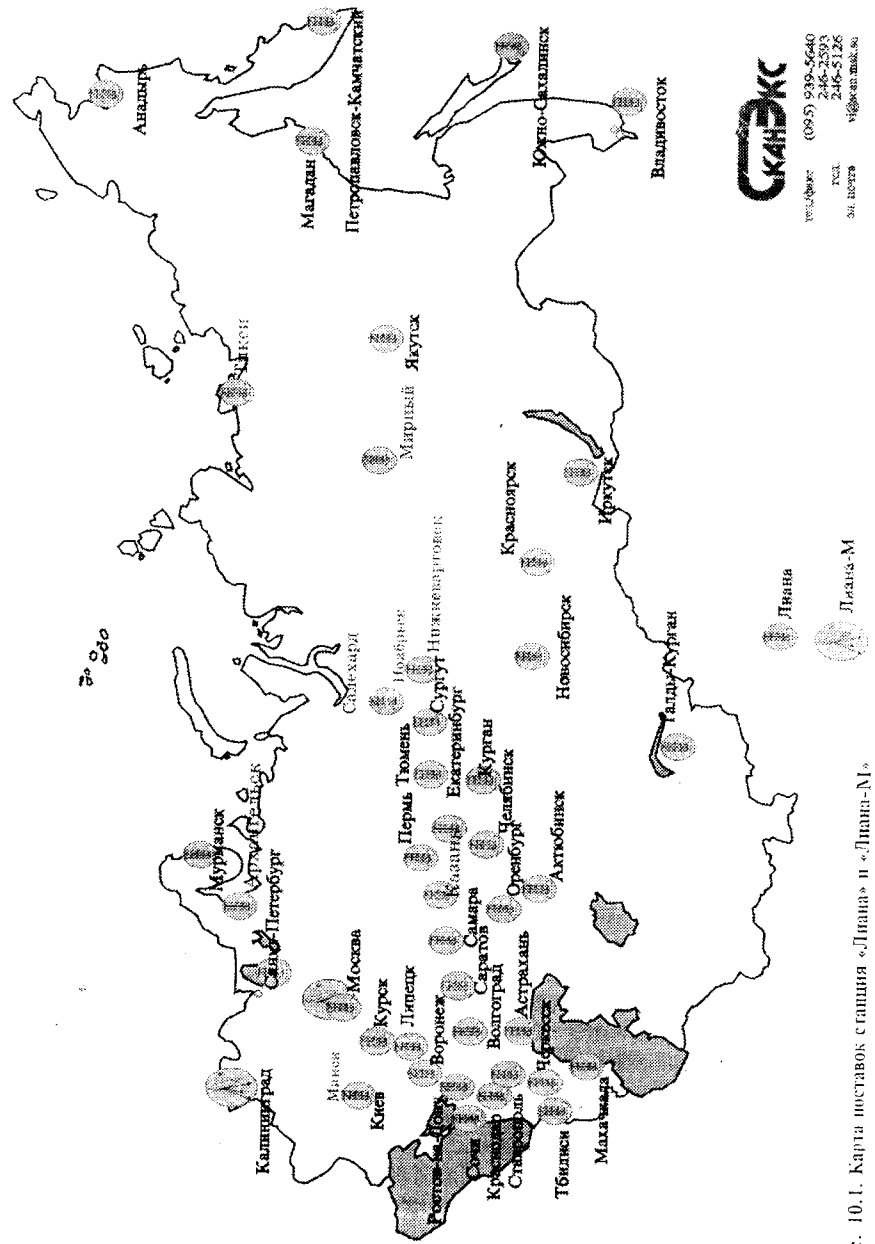


Рис. 10.1. Карта поставок станция «Лиана» и «Лиана-М»

Антенная система включает:

- параболическое зеркало с поворотным устройством;
- малошумящий усилитель;
- преобразователь частоты.

Устройство сопряжения включает:

- усилитель и фазовый детектор принимаемых сигналов;
- преобразователь сигналов в параллельный цифровой код;
- аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи контрольных сигналов и сигналов управления комплексом;
- антенные усилители;
- имитатор сигналов.

Устройство сопряжения конструктивно выполненно в виде настольного блока с питанием от однофазной сети 220 В, 50 Гц и стандартной платы расширения ПЭВМ.

Антенная система и лабораторная часть комплекса соединяются между собой линией связи длиной не более 50 м.

Программная часть выполнена в среде MS Windows 3.1 и состоит из двух основных приложений:

1. Программа управления приемом данных (*ScanReceiver*).
2. Программа просмотра и первичной обработки данных (*ScanViewer*).

Приложение управления приемом (*ScanReceiver*) выполняет следующие функции:

- управление комплексом при приеме данных и тестировании;
- расчет расписания прохождения спутников через зону видимости произвольной приемной станции в заданном интервале времени;
- автоматический прием данных по расписанию;
- расчет траектории спутника для управления антенной при приеме данных;
- индикацию состояния антенны и потока данных в процессе приема;
- формирование файла принимаемых данных и запись его на жесткий диск;
- формирование растрового изображения от одного из спектральных каналов датчика ДЗЗ и отображение его на дисплее ПЭВМ в темпе приема.

Функции управления антенной и приема данных рассчитаны на строго определенный протокол взаимодействия с внешними устройствами и выполняются только в составе станции.

Приложение просмотра и первичной обработки (*ScanViewer*) обеспечивает следующие возможности при работе с изображениями AVHRR:

- аннотирование изображений;
- просмотр изображений с возможностью выбора канала и фрагмента;
- целочисленное масштабирование на стадиях загрузки и отображения;
- плавное масштабирование при отображении;
- географическая привязка по орбитальным элементам (независимым или записанным в заголовке файла данных) с нанесением на изображение координатной сетки, карты и населенных пунктов из списка, редактируемого пользователем;
- псевдоцветное отображение с произвольным формированием палитры;
- расчет гистограмм и поэлементная фотометрия;
- коррекция привязки (фактически точного времени приема и ориентации спутника) по реперным точкам в изображении;
- сохранение выбранных фрагментов в исходном формате и экспорт их в стандартные форматы;
- распечатка на черно-белых и цветных лазерных и струйных принтерах с нанесением всех элементов географической привязки.

Основные технические характеристики станции «СканЭкс»

Несущая частота входного сигнала	1698.0 МГц, 1707.0 МГц;
Шумовая температура МШУ, не более	40 К;
Диаметр зеркала антенны	1.2 м;
Максимально допустимая скорость ветра:	
рабочая	22 м/с
предельная	40 м/с
Диапазон рабочих температур	
антенной системы	-50 ... + 50° С
Вес антенной системы, не более	150 кг
Внешние габариты настольного блока	570 x 220 x 450 мм
Потребление по первичной сети не более	2 А

Устойчивый прием данных ДЗЗ обеспечивается при возвышениях спутника над горизонтом более 10°. При этом вероятность ошибочного восстановления бита не превышает 10^{-6}.

При должной аппаратной и программной настройке комплекс обеспечивает устойчивый прием данных и формирование изображений и не требует участия оператора ни на одной из стадий работы с момента расчета расписания. Комплекс автоматически переходит в состояние приема по наступлении времени начала витка и прекращает прием по окончании витка или при потере сигнала. Расчет расписания витков и целеуказания также производятся в рамках приложения управления приемом.

В процессе приема на дисплее ПЭВМ обеспечивается исчерпывающая индикация текущего состояния системы (режимы, параметры витка, объем принятых данных и свободного дискового пространства, состояние синхронизации, текущие целеуказания и ошибки сопровождения и т.п.).

Формируемое изображение индицируется на дисплее ПЭВМ в реальном времени в уровнях серого тона с автоматическим масштабированием, обеспечивающим возможность наблюдения всего поля изображения по одному из спектральных каналов. Комплекс содержит аппаратные и программные средства для пошагового внутреннего тестирования.

Технология формирования информационного архива, являющегося заключительным звеном в цепочке ПО: программы приема (*ScanReceiver*) —

просмотра изображений (*ScanViewer*) — каталогизации (*СКАНЭКС каталог менеджер*), предназначенного для хранения, поиска и распространения полученных изображений, описывается в п. 10.2.4.

10.2.3. *Комплекс «СканЭР»*

Комплекс «СканЭР» (рис. 10.2) обеспечивает прием, регистрацию и обработку цифровой информации, передаваемой полярноорбитальными природноресурсными ИСЗ типа «Ресурс-О1–3» в диапазоне 8 ГГц.

В состав комплекса входят антенная система, устройство сопряжения антенной системы с ПЭВМ и программное обеспечение.

Антенная система включает:

- параболическое зеркало с поворотным устройством;
- малошумящий усилитель;
- преобразователь частоты.

Устройство сопряжения включает:

- усилитель и фазовый детектор принимаемых сигналов;
- преобразователь принимаемого сигнала в параллельный цифровой код;
- аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи контрольных сигналов и сигналов управления комплексом;
- имитатор сигналов.

Основные характеристики станции «СканЭР»

Тип антенны	параболическое зеркало
Диаметр антенны	1.6–2.0 м
Тип поляризации	правая круговая
Диапазон частот	8175–8225 МГц
Длина кабеля	не более 50 м
Вес антенной системы	80 кг
Азимутальный сектор	± 270°
Угломестный сектор	0–180°
Тип сопровождения	автоматическое, программное
Точность сопровождения	0.1°
Рабочая скорость ветра	до 22 м/с
Предельная скорость ветра	.45 м/с
Рабочие температуры	-50°С – 50°С
Потребляемая мощность	не более 2 А

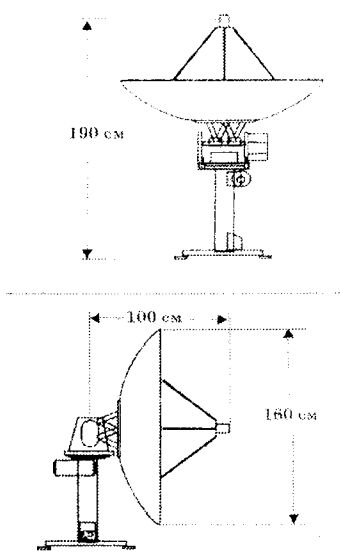


Рис. 10.2. Комплекс «СканЭР».

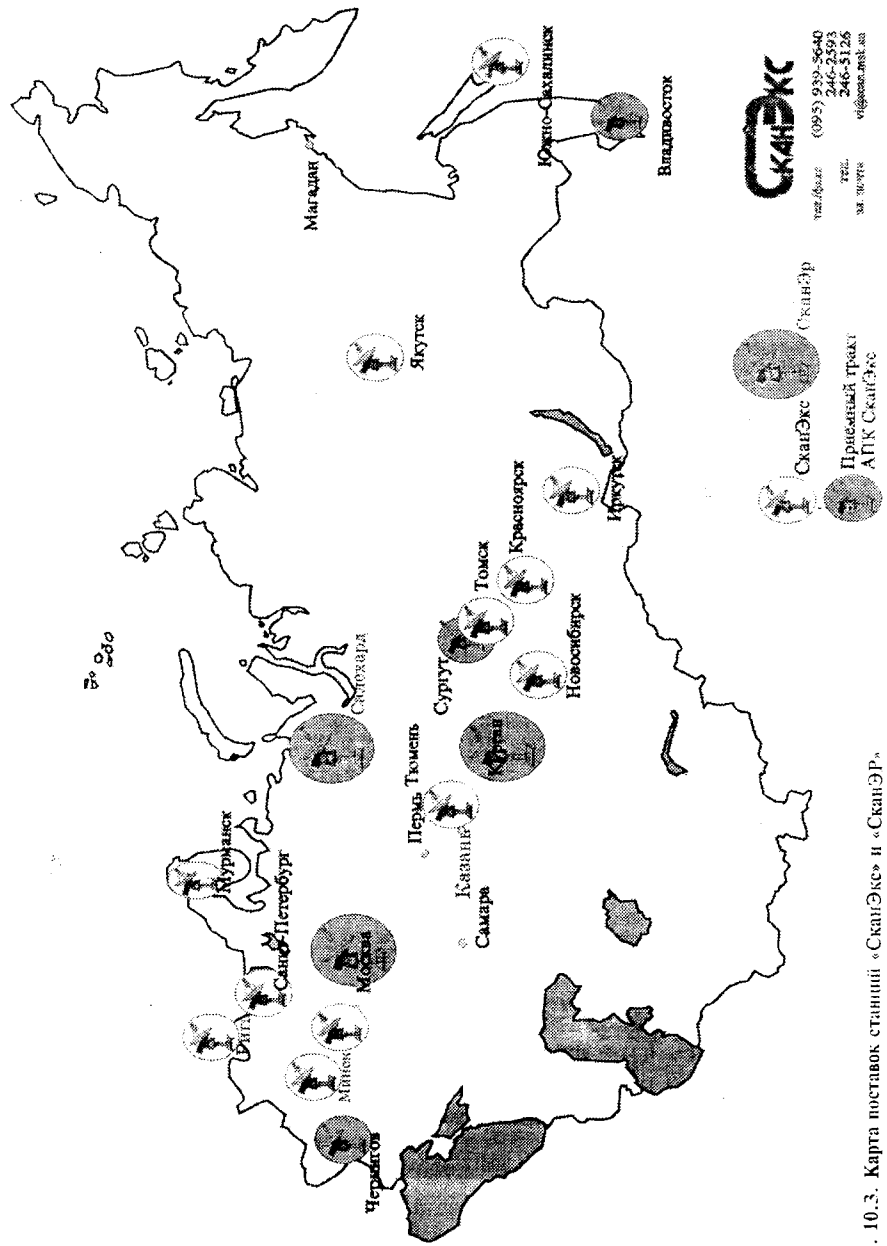


Рис. 10.3. Карта поставок станций «СканЭкс» и «СканЭР».

Устройство сопряжения конструктивно выполненно в виде настольного блока с питанием от однофазной сети 220 В, 50 Гц и стандартной платы расширения ПЭВМ.

Антенная система и лабораторная часть комплекса соединяются между собой линией связи длиной не более 50 м.

Программная часть выполнена в среде MS Windows 3.1 и состоит из двух основных приложений: *ScanReceiver* и *ScanViewer* (п. 10.2.2.2).

Станции «СканЭкс» и «СканЭР» установлены во многих российских гидрометеорологических, природрохранных службах, учебных, исследовательских, административных учреждениях. Карта поставок комплексов «СканЭкс» и «СканЭР» приведена на рис. 10.3. Зоны приема информации с космических аппаратов «Ресурс-О1–3» при помощи станций, разработанных по технологии «СканЭР», показаны на рис. 10.4.

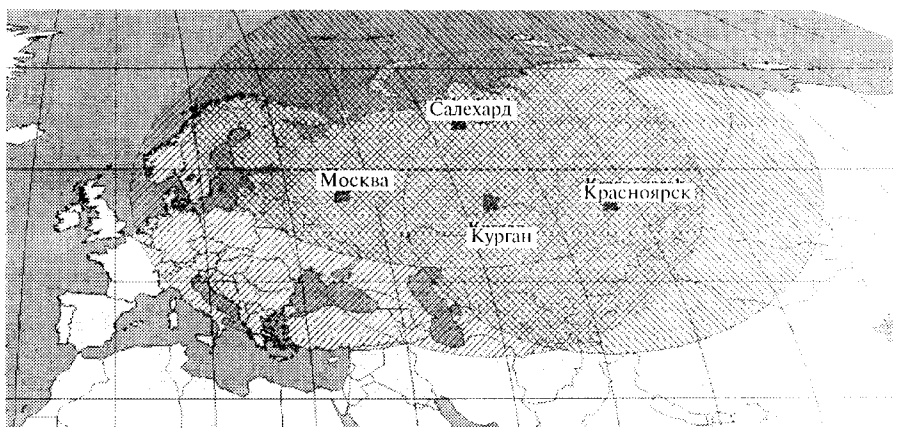


Рис. 10.4. Зоны приема информации с ИСЗ «Ресурс-О1–3» комплексами «СканЭР».

10.2.4. *Приложение «СКАНЭКС каталог менеджер»*

Приложение «СКАНЭКС каталог менеджер» предназначено для поддержки каталога спутниковых изображений, полученных с помощью комплексов «Лиана», «СканЭкс», «СканЭР». С его помощью можно просто и эффективно организовать работу с большим количеством снимков как на фиксированных дисках, так и на сменных носителях. Приложение дает также уникальную возможность доступа к базе данных снимков, полученных приемными станциями центра СКАНЭКС, объединенными в пространственно-распределенную информационную сеть, и позволяет сделать заказ выбранных снимков через систему Internet.

Приложение поддержки каталога (рис. 10.5) хранит информацию о спутниковых изображениях в виде набора таблиц, каждая запись которых содержит следующие данные о файле с изображением:

- дата и время съемки;

- станция, которой был принят снимок;
- наиемнование спутника и тип сканирующего прибора;
- список спектральных каналов;
- размер снимка (ширина и высота в пикселах);
- пространственное разрешение;
- данные для географической привязки снимка;
- размер файла в байтах;
- местонахождение файла (архив, метка тома, имя файла).

Пользователь имеет возможность связать с записью о файле текстовый комментарий произвольной длины и графическое изображение в формате JPEG или Windows BMP.

Принципы хранения и преобразования информации представлены на рис.10.6. Основное место хранения информации — база данных «Локальный каталог». Занесение в него информации о снимках производится приложением автоматически при сканированиии заданных пользователем директорий на дисках. В этой базе данных пользователь может собрать информацию о всех интересующих его снимках, а также имеет возможность получить копию глобального каталога, который поддерживается ИТЦ СКАНЭКС. Приложение позволяет обновлять эту копию через систему Internet. Далее путем запроса или простого выбора отдельных записей оказывается возможным сформировать любое количество пользовательских таблиц, в которых будут содержаться записи о снимках, скажем, отдельной территории или необходимых для работы над конкретными проектами. Отобрав интересующие снимки из глобального каталога, можно непосредственно осуществить их заказ в ИТЦ СКАНЭКС через систему Internet.

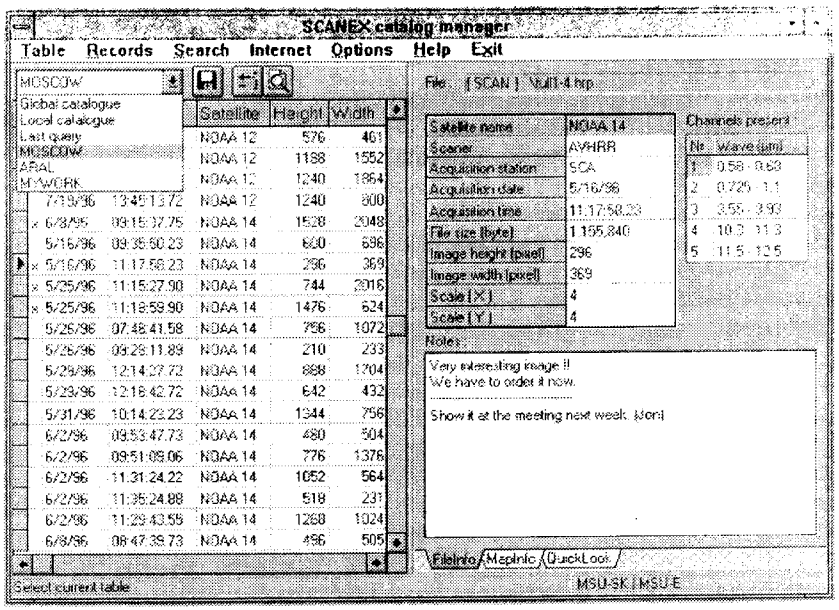
Быстро пополняющийся сегодня глобальный каталог, поддерживаемый ИТЦ СКАНЭКС, содержит уже более 100 ГБайт информации и включает не только многократное покрытие Европейской части и Западной Сибири съемками среднего разрешения (МСУ-СК), но и весьма полное покрытие этих районов съемками высокого разрешения (МСУ-Э). Обращение к нему означает получение не только выбранных кадров, но и целых полос изображения вдоль трассы ИСЗ; кроме того, доступ к информации может осуществляться на условиях подписки («ГИС-обозрение» №1, 1997).

Формируя запрос к базе данных, пользователь может отобрать снимки по следующим критериям:

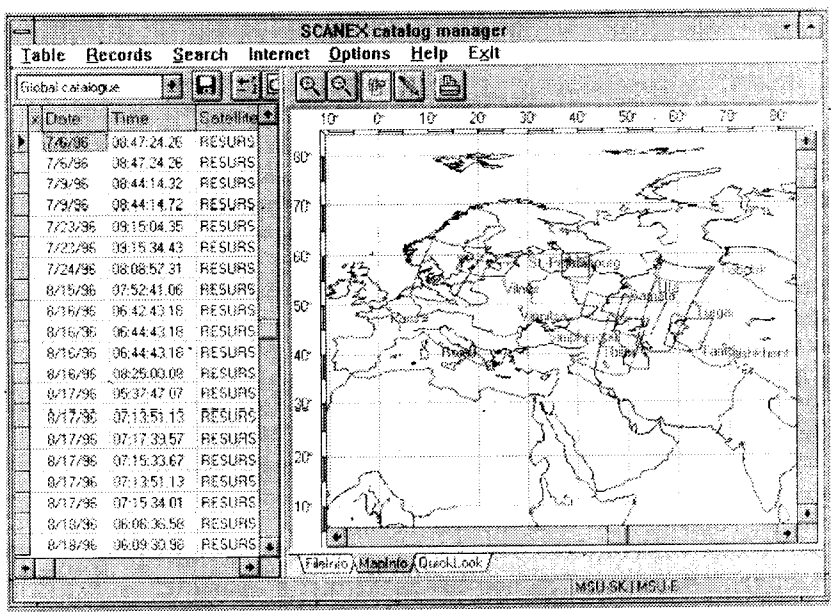
- тип сканирующего прибора;
- наличие в файле определенных спектральных каналов;
- дата и время съемки;
- покрытие снимком заданной территории;
- место хранения файла;
- наличие некоторого текста в комментариях к записям.

Приложение управления каталогом предоставляет также ряд дополнительных возможностей:

- вывод информации о выбранных записях в обычный текстовый файл;



а



б

Рис. 10.5. Экранные формы приложения поддержки каталога, иллюстрирующие табличное хранение информации о спутниковых изображениях (а) и покрытие снимками заданной территории (б).

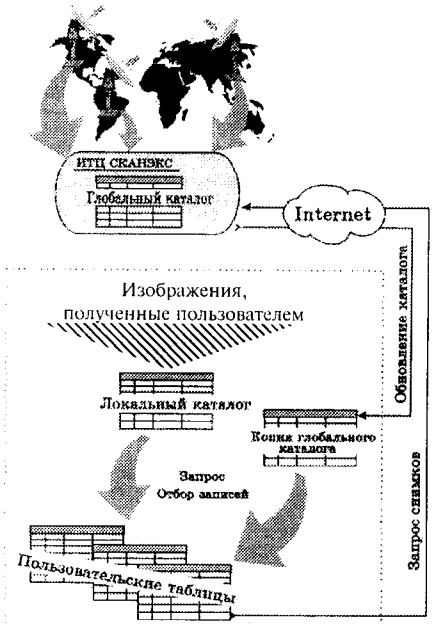


Рис. 10.6. Структурная организация каталога «СКАНЭКС каталог менеджер».

- сохранение и восстановление копий таблиц в сжатом виде с целью резервного копирования или передачи их другим пользователям;
- вывод на печать отчетов и изображений карты с контурами снимков;
- сохранение в файле и печать привязанных к записям графических изображений;
- непосредственная загрузка выбранных изображений в приложение просмотра и обработки изображений ScanViewer.

Приложение управления каталогом рассчитано на работу в среде операционных систем Windows 3.1, Windows for Workgroups 3.11, Windows 95, Windows NT 3.51 (4.0). Минимальный объем необходимой оперативной памяти — 16 Мбайт.

За рамками монографии остались требующие самостоятельного рассмотрения вопросы экспорта/импорта принимаемой информации ДЗЗ в специализированные «ГИС-пакеты», предназначенные для дальнейшей тематической обработки поступающих данных. Это вполне соответствует устоявшейся технологии создания и применения комплексов приема спутниковых данных, в соответствии с которой персональные станции должны выполнять прием, регистрацию и первичную обработку информации ДЗЗ, обеспечивая совместимость этих данных с необходимыми тематическими приложениями.

ЛИТЕРАТУРА К ВВЕДЕНИЮ И ГЛАВЕ 1

1. **Аковецкий В.И.** Аэрокосмос и ноосфера. М.: Недра, 1989.
2. **Кронберг П.** Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии. — М.: Мир, 1988.
3. **Гарелик И.С., Грин А.М., Цветков Д.Г.** Аэрокосмические полигоны. задачи исследований и состав наземных наблюдений/Космические исследования земных ресурсов. Методы и средства измерений и обработки информации. — М.: Наука, 1976.
4. **Lorenz D.** Stereoscopic imaging from polar orbit and syntetic stereo imaging/ /Adv. Space Research. v.2, №6. 1983.
5. **Баррет Э., Куртис Л.** Введение в космическое землеведение. — М.: «Прогресс», 1979.
6. Космическое землеведение/Под ред. В.А.Садовничего. — М.: МГУ, 1992. — 269 с.
7. **Ромашов А.А.** Основные вопросы комплексирования материалов аэрокосмических съемок и геолого-геофизических исследований при нефтегазопоисковых работах. Дистанционные исследования при поиске полезных ископаемых. Новосибирск. — М.: Наука, 1986.
8. International Program for Earth Observations (IPEO)//The Intern. Space Univ., Toronto. Canada. Summer Session, 1990. Final Report. — 560 с.
9. **Кондратьев К.Я., Григорьев А.А., Покровский О.М.** Информационное содержание данных космической дистанционной индикации параметров окружающей среды и природных ресурсов. — Л.: Изд. ЛГУ, 1975.— 146 с.
10. CEOS Yearbook/Commitee on Earth Observation Satellites. ESA, 1995.— 133 с.
11. **Книжников Ю.Ф.** и др. Применение многозональной аэрокосмической съемки в исследованиях береговой зоны//Береговая зона моря. Сб. статей. АН СССР. Комиссия по проблемам Мирового океана. — М.: Наука, 1981.
12. **Кравцова В.И.** Аэрокосмические исследования динамики береговой зоны Дагестанского побережья Каспия при подъеме его уровня// Исследование Земли из космоса. №5. 1993. — С.96.
13. **Гончаренко И.А.** и др. Тематическая обработка данных AVHRR на примере изучения прибрежного апвеллинга//Исследование Земли из космоса. №2. 1993. — С.97.
14. Оценка протяженности охваченных пожарами площадей в африканской саванне//Adv. Space Res. 1994. 14. №11. — С.447–454.
15. **Коптев Ю.Н.** Дистанционное зондирование Земли//Радиотехника. 1995. №10. — С.83–90.
16. **Ahmad A.** e.a. Tolerance analysis versus image quality: a case study for cost-effective space optics//Opt. Eng. 1995. — 34. №2. — С.575–583.
17. **Жеребцов Г.А.** и др. Использование данных AVHRR с ИСЗ Noaa для обнаружения лесных пожаров//Исследование Земли из космоса. 1995. №5. — С.74–77.
18. **Reber C.A.** The Upper Atmosphere Research Satellite (UARS)//Geophis. Res. Letters, 1993. — 20. №12. — С.1215–1218.
19. **Kamperman Th.M., Goede A.P.H., Ginding C.J.Th.** GOME instrument simulation//Proc. SPIE, Optical Methods in Atmospheric Chemistry, 1993. №1715. — С.562–572.
20. **Седунов Ю.С.** и др. Основные направления развития и использования оперативных космических систем наблюдения для гидрометеорологического обеспечения и мониторинга окружающей среды//Метеорология и гидрология, 1995. №4. — С.7–21.
21. Status of WMO Satellite data requirements//Report of the CGMS — Annapolis. USA. 11–15 Apr. 1994.
22. Об использовании спутниковой аппаратуры дистанционного зондирования для изучения атмосферных аэрозолей/O'Neill N.T. et al// IGARSS'89: Remote Sens.: Econ. Tool Nineties [and] 12th Can. Symp. Remote Sens., Vancouver, July 10–14. v.4. — С.2684–2687.
23. Using meteorological information and products. WMO. Geneva. Edt. Arvil Price — Budgen,1990.
24. **Авдуевский В.С., Успенский Г.Р.** Народно-хозяйственные и научные космические комплексы. — М.: Машиностроение. 1985.
25. Использование данных спутниковой съемки на коммерческом рынке//Иностранная печать об экономическом, научн.-техн. и военном потенциале государств, участников СНГ и техн. средствах его выявления. Сер. «Экономический и научн.-техн. потенциал», 1995. №1–2. — С.35–37.
26. **Кондратьев К.Я., Бузников А.А., Покровский О.М.** Глобальная экология: дистанционное зондирование//Итоги науки и техники. Сер. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». М.: ВИНИТИ, 1992. 14. — С.1–312.
27. Space News, 1991, 6–12/V, v.2, №16, с.7.
28. Прогноз землетрясений из космоса//Ракетно-космическая техника. №4. 1996. — С.6.
29. Remote Sensing in Forestry//Int. Training Seminar on Forestry App. of Remote Sens., Coll. of Reports. Moscow, 1988.

30. **Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А.** и др. Организация системы оперативного доступа удаленных пользователей к спутниковым данным//Исследование Земли из космоса, 1996. №5. — С.67–72.

31. Обеспечение доступа к информации о разработке и применении космической техники через систему Internet//Aerospace America, 1995, v.33: №6, с.12–14; №11, с.16–17; №12, с.34–35.

32. **Анфимов Н.А., Лукьященко В.И., Моисеев Н.Ф.** и др. Проект государственной космической программы России на 1993–2000 гг.//Космонавтика и ракетостроение, 1993. №1. — С.14–27.

33. **Уткин В.Ф., Анфимов Н.А., Лукъященко В.М.** и др. Концепция построения космической программы России//Проблемы авиационной и космической техники, 1995. №8. — С.6–8.

34. **Арманд Н.А.** и др. Космические исследования Земли как экологической системы и воздействия человека на эту систему (программа «Экос»). — ИКИ РАН, 1993.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВАМ 2-10

1. **Дементьев Г.П.** и др. Физико-технические основы создания и применения космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1987. 264 с.

2. **Кронберг П.** Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии. М.: Мир, 1988. — 349 с.

3. **Савиных В.П., Соломатин В.А.** Оптико-электронные системы дистанционного зондирования Земли. М.: Недра, 1995. — 240 с.

4. Датчики авиационного и космического базирования для изучения окружающей среды, созданные в Советском Союзе/Shutko A.M.//Spatial data 2000: Proc. Jt Conf. Photogramm. Soc., Remote Sens. Soc., Amer. Soc. Photogramm. and Remote Sens., Oxford, 17–20 Sept. 1991. London, 1991.— С.39–55.

5. Current Science. V.61. NN№3,4. 1991.

6. Current Science. V.70. №7. 1996.

7. **K.Ya.Kondratyev, T.Tanaka.** Advanced Earth Observing Satellite — II (ADEOS-II): New Perspectives of Global Environmental Monitoring//Исследование Земли из космоса. 1997. №1. С.105–121.

8. Бразильские ИСЗ исследования земных ресурсов//Acta astronaut. 1994. V.37. — С.503–512.

9. Jane's Space Directory 1993–94. Ninth edition. Edt. by Andrew Wilson. London. 1993.

10. CEOS Yearbook/Commitee on Earth Observation Satellites. ESA. 1995. 133 с.

11. Indian Earth Remote Sensing Satellites IRS-1C/1D//Int. J.Remote Sens. 1995. — 16. №5. с.791–799.

12. ATSR-2: The evolution in its design from ERS-1 to ERS-2/Stricker N.C. e.a.//ESA Bull. 1995. №83. — С.32–37.

13. **Menzel W.P., Purdom J.F.W.** Intriduction GOES-I: The first of a new generation of geostationary operational environmental satellites. 1) The satellite sensor systems, quality control procedures for converting data into products// Исследование Земли из космоса. 1996. №1. с.62–74. 2) The data flow to the users, probable imager and sounder schedules//Исследование Земли из космоса. 1996. №2. — С.69–91.

14. Ограничения на съемку с коммерческих спутников//Ракетно-космическая техника. 1996. №16. — С.6–7.

15. Показатели качества изображений системы «Спот»//Ракетно-космическая техника. 1991. №14–15. — С.13–17.

16. Использование снимков со спутника «Спот»//Ракетно-космическая техника. 1996. №11–12. С.6.

17. Спутник дистанционного зондирования Envisat-1//Ракетно-космическая техника. №8, 1995, с.10; №3, 1996, с.2; №6, 1996, с.4–9.

18. Система ADEOS//Ракетно-космическая техника. №15, 1996, с.3.

19. Космический аппарат Radarsat//Космическая радиотехника и телеметрия. ЦНТИ «Поиск». NN№2,12. 1989.

20. The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series//NOAA Technical Memorandum NESS'95. Washington, D.C. 1978. — 75 с.

21. Определение отношения коэффициента усиления к шумовой температуре наземной станции связи с метеорологическими спутниками//Космическая радиотехника и телеметрия. ЦНТИ «Поиск». №5. 1991. — С.1–6.

22. Meteorological Satellite Ground Stations. Type Jupiter/Compagnie Industrielle Radioelectrique. Berne. Doc.553. 1978.

23. **Malcolm Baldrige, John V. Byrne, John H. McElroy.** NOAA Satellite Programs Briefing/NOAA. January 1984. 203 с.

24. Система METEOSAT//Ракетно-космическая техника. №10. 1996. — С.5.

25. Космические аппараты серии Metop//Ракетно-космическая техника. №15. 1996. — С.10.

26. **Jensen N.E., Nicolai C., Paci G.**//International Conference on Antennas for Aircraft and Rockets. Electronic Division of the Institution of Electrical Engineers. 3–5 June 1975. — С.95–100.

27. **Nicholas L.Johnson, David M.Rodvald.** «1993–94 Europe and Asia in Space». Kaman Sciences Corp. 1994.

28. **Edward W. Mowle, Cornelius J.Dennehy.** The Landsat-6 Satellite: An Overview//National Telesystems Conf. IEEE. 1991. — С.277–282.

29. Ers-1/Ers-2. ESA Bulletin-83. 1995. — С.9–52.

30. Оптико-физические средства дистанционного зондирования/Под ред. А.А.Бузникова и др. Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет им.В.И.Ульянова (Ленина). 1995. — 80 с.

31. **Моисеенко А.Е.** Современное состояние и перспективы использования средств дистанционного зондирования Земли из космоса в целях изучения природных ресурсов и экологии. Обзор. М.: 1994. — 103 с.

32. MOMS on Priroda. Data Users Handbook//DARA, DLR. January 1997. — 75 с.

33. Российский геостационарный метеорологический ИСЗ. Справочник пользователя/Под ред. А.М.Волкова, Ю.М.Кондратьева, Ю.В.Трифонова, С.Г.Яковлева. — С.П-б.: Гидрометеоиздат, 1996. — 127 с.

34. Радиолокация поверхности Земли из космоса. Исследование морской поверхности, ледяного и ледникового покровов с помощью спутниковой радиолокационной станции бокового обзора/Под ред. Л.М.Митника, С.В.Викторова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — 200 с.

35. **Витер В.В.** Космический аппарат «Алмаз-1» и программа «Океан». — М.: НПО «Машиностроение», 1993.

36. **Atlas D., Beal R.C., Browm R.A.** et al. Problems and future directions in remote sensing of the oceans and troposphere: a workshop report. — J. Geophys. Res. 1986. V.91. №.C2. — C.2525–2548.

37. **К.Лантратов.** Модуль «Природа»//»Новости космонавтики». 1996. №9. — С.16–26.