

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

ПРОГРАММА «МЕТЕОР-ПРИРОДА»

Л.А. Макриденко, С.Н. Волков,
А.В. Горбунов, В.П. Ходненко
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Рассматривается общая характеристика программы изучения природных ресурсов Земли «Метеор-Природа», её назначение, основные задачи и технические параметры научно-информационной аппаратуры.

Ключевые слова: метод дистанционного зондирования, космический аппарат, многозональная съёмка, спектральные диапазоны, передача и обработка информации, периодичность получения информации, структурная схема КА, компоновка, корректирующие двигательные установки.

Возможность осуществления непрерывного обзора огромных территорий земного шара с борта спутника навела учёных на мысль о целесообразности использования космических снимков, получаемых с метеорологических космических аппаратов (КА), для изучения природных ресурсов Земли (ИПРЗ).

Как известно, космические методы наблюдения Земли обладают, по сравнению с традиционными методами исследования земных ресурсов, широкой полосой захвата, высокой периодичностью обзора, оперативностью доставки информации потребителям, возможностью наблюдения труднодоступных районов, низкой удельной стоимостью съёмки единицы площади. Космические средства позволяют получать высококачественную информацию и сократить время её обновления до нескольких недель, а в некоторых случаях и до нескольких суток.

Высокая информативность наблюдения с КА даёт возможность быстро и объективно оценивать запасы быстроменяющихся природных ресурсов (снега, растительной массы пастбищ и т. д.), состояние посевов, лесных массивов, возникновение и развитие опасных природных явлений (наводнений, лесных пожаров, ураганов, циклонов), загрязнение природной среды, что позволяет повысить эффективность различных отраслей народного хозяйства за счёт своевременного принятия мер по рациональному использованию природных ресурсов и предотвращения ущерба [1]. Использование информации из космоса позволяет соответствующим органам на местах принимать своевременные и эффективные меры по наилучшему проведению всех видов сельхозработ.

Космические снимки позволяют проводить детальный поиск полезных ископаемых, таких как нефть, газ, олово, медь, а также строительных материалов.

Кроме того, космическая информация позволяет

решать задачи контроля и сохранения лесных массивов, управления водными ресурсами бассейнов рек, осуществлять контроль загрязнений морских территорий и т. д.

Что касается метеорологии, то использование спутниковых данных об облачности и таких характеристиках атмосферы, как температура, влажность, давление и других метеопараметров, значительно повышает качество прогнозов погоды. Наличие достоверных сведений о погоде, развитии опасных природных явлений (циклонов, заморозков, наводнений), ледовой обстановке в Арктике и Антарктике, состоянии морской поверхности, полученных с метеорологических КА, существенно повышает надёжность полётов, безопасность мореплавания и экономят ходовое время.

Благодаря данным из космоса, можно получать сведения о геологическом строении Земли, создавать почвенно-растительные карты, планировать мероприятия по рациональному расходованию водных ресурсов, прогнозировать запасы продовольствия, инвентаризировать лесные массивы. Всё это позволяет заметно повысить эффективность хозяйственной деятельности.

Результаты наблюдения из космоса, помимо информативности и оперативности, обладают большой объективностью и обзором, и позволяют организовать рациональное землепользование, составить оптимальные морские маршруты, обнаружить и впоследствии ликвидировать источники загрязнения биосферы, катастрофические явления: пожары, сели, лавины, половодья, наводнения, полевые бури.

Интерес к применению космических средств для изучения естественных природных ресурсов Земли и природных явлений увеличивался с каждым годом. При этом речь шла о комплексных глобальных исследованиях, с помощью которых мож-

но получать не только детальные представления о ресурсах нашей планеты, но и создать модель взаимодействия человека и природы. Специалисты понимали, что для использования получаемой из космоса информации, а тем более для создания специальных КА и космических систем по изучению природных ресурсов планеты, необходимо провести большие подготовительные работы.

В результате проведения большого числа экспериментов и глубоких научных исследований удалось получить богатый материал, позволивший составить достаточно чёткое представление об основных направлениях использования КА для ИПРЗ и наметить ряд практических мер.

Процесс исследования Земли из космоса основан на измерении двумерных распределений радиационных потоков, излучаемых и отражаемых наземными образованиями. Указанные измерения принято называть видеoinформацией, так как они могут быть представлены в виде изображений участков земной поверхности по трассе полёта КА. Для проведения таких съёмок из космоса с успехом используются видимый и ИК-диапазоны электромагнитных волн. СВЧ-диапазон, как известно, позволяет создавать всепогодные средства наблюдения.

Необходимо заметить, что известный метод обнаружения и физико-химического анализа снимаемых образований на основе их собственного и отражённого электромагнитного излучения, был применён и в исследовании Земли из космоса – новое научно-прикладное направление в космических исследованиях. Здесь этот метод получил дальнейшее широкое развитие и был назван «Remote Sensing», или, в переводе на русский язык, «дистанционное зондирование» [2].

При изучении Земли из космоса измерения можно проводить только в зонах прозрачности земной атмосферы, включающих видимую и ближнюю ИК-области, несколько узких участков в тепловом ИК-диапазоне и СВЧ-область в диапазоне от миллиметровых до декаметровых волн.

В видимом диапазоне, обладающем наиболее широким спектром, количество информации о земных образованиях является наибольшим по сравнению с тепловым ИК- и СВЧ-диапазонами.

Характеристики отражённой солнечной радиации в этом диапазоне очень чувствительны к различным характеристикам земных образований. Кроме того, максимум получаемой в видимом диапазоне информации о природных образованиях, обуславливается наибольшей потенциальной разрешающей способностью, которая может быть получена в данном диапазоне.

В то же время, высокая чувствительность характеристик принимаемой радиации видимого диапазона обуславливает его низкую помехоустойчивость по отношению к различным помехосоздающим факторам и, в частности, таким как гидрометеоры, дымка и др., когда последние сами не являются объектами исследования. И, естественно, видимый диапазон требует освещения земной поверхности Солнцем.

Области ближнего, и особенно теплового ИК-излучений, с точки зрения их радиационных характеристик, являются более «грубыми» по сравнению с видимым диапазоном.

Они менее чувствительны к вариациям физико-химических характеристик природных образований, но зато хорошо реагируют на температурные изменения последних.

Волны ИК-диапазона не свободны от поглощения гидрометеорами и аэрозолью. Отрицательное действие оказывает на них рассеянное земной поверхностью и атмосферой излучение Солнца, а также непосредственная подсветка Солнцем объектов съёмочной аппаратуры.

Важнейшим достоинством теплового ИК-диапазона, как известно, является возможность «видеть» как днём, так и ночью.

Радиоволны, обладающие наиболее узким частотным спектром, потенциально могут переносить меньшее количество информации, чем ИК- и световые волны. И разрешающая способность радиосредств, за исключением радиолокаторов бокового обзора с синтезированной апертурой, существенно ниже, чем у аппаратуры других диапазонов.

Однако, в отличие от волн ИК- и видимого диапазона, радиоволны способны проникать сквозь большие толщи земных покровов и льда.

Электромагнитные волны СВЧ-диапазона очень чувствительны к геометрическим характеристикам поверхностей, т. е., к степени их шероховатости, а также к содержанию влаги в почве. К существенным недостаткам космических средств СВЧ-диапазона относятся их большие габариты и вес, а также высокое энергопотребление.

Многообразие видов и состояний земных образований в большинстве случаев не позволяет их обнаруживать и исследовать на основе измерения характеристик излучения в какой-либо одной зоне спектра. В связи с этим развитие исследований Земли из космоса пошло по пути определения и использования зависимостей между видами и физико-химическими свойствами объектов земной поверхности, морей, океанов и атмосферы и характеристиками излучения этих объектов во всём про-

пускаемом спектре электромагнитных волн или значительной его части. Выполнить такие измерения – непрерывные по спектру и с высоким энергетическим разрешением – технически непросто.

Существенным достижением в области дистанционного зондирования земной поверхности явился метод многозональной (многоспектральной) съёмки. Данный метод положен в основу исследований Земли из космоса и основывается на измерении излучения каждого из обследуемых элементов одновременно в нескольких узких спектральных участках [3].

Наиболее высокая точность измерений излучения в нужном количестве спектральных участков видимой и ИК-областей обеспечивается сканирующими оптико-электронными системами. Также можно измерять излучение земных объектов одновременно в нескольких зонах оптического и радиодиапазонов.

Важным достоинством метода многозональной съёмки является и возможность автоматизации интерпретационной обработки получаемой информации и использование для этого цифровой вычислительной техники.

На основании анализа распределения яркости объектов по зонам спектра можно, например, получать определённые сведения о характере почвенного и растительного покрова, о степени увлажнённости и засоленности различных участков земной поверхности, снегосодержания, загрязнении водных бассейнов и рельефа дна мелководий и т. д.

С помощью специализированных КА можно осуществлять оперативный сбор метеорологической, океанографической, сейсмической и другой информации с автоматических станций, устанавливаемых на морских буях в труднодоступных и опасных местах земной поверхности, а также соответствующей информации с наземных реперных станций интерпретационной обработки получаемых из космоса изображений земной поверхности.

Говоря об использовании метода дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), к основным задачам ДЗЗ можно отнести:

- разработку и оптимизацию методов и средств измерения из космоса, собственного и отражённого излучения элементов земной поверхности в разных участках видимой, ИК- и микроволновой областей спектра и передачи на Землю получаемой информации;

- изучение энергетических, пространственных и временных характеристик собственного и отражённого излучения различных природных и антропогенных образований с целью разработки методов и способов тематической интерпретации космической видеоинформации о Земле в интересах решения научных и практических задач;

- разработку принципов, технических средств и матобеспечения автоматизированного анализа космической видеоинформации о земных ресурсах с целью её передачи на Землю, последующей обработки и картографического представления;

- разработку методик и оценку экономической эффективности использования космической информации о земной поверхности в практических целях.

Поскольку космическая съёмка подстилающей поверхности осуществляется сквозь толщину атмосферы, то искажающее влияние последней, естественно, сказывается на получаемой информации.

Уменьшить указанное влияние можно только двумя способами: во-первых, использовать для съёмок наиболее прозрачные естественные «окна пропускания» атмосферы, а во-вторых, попытаться определить так называемую передаточную функцию атмосферы (функция влияния) и с её помощью убрать со снимков вредное влияние атмосферы.

Известно, что наша земная атмосфера непрозрачна для большей части спектра электромагнитных волн – от гамма-лучей до радиоволн. Она не пропускает на Землю, а стало быть, и в обратном направлении ни рентгеновские, ни ультрафиолетовые лучи, ни большую часть других излучений. Исключение составляет наличие нескольких узких окон, наиболее прозрачными из которых являются оптическое и радиоокно [4].

Наиболее приемлемыми в целях использования для наблюдения за подстилающей поверхностью являются следующие диапазоны:

- от 0,4 до 0,7 мкм (видимый свет) для фотографирования и спектрографирования;

- от 3,7 до 4,5 мкм и от 8 до 12 мкм (ИК-излучение) для спектрографирования и ИК-фотографирования;

- от 8 до 10 см (радиоволны) для радиотеплолокации.

Именно в этих спектральных участках и работают все обзорные системы бортовых информационных комплексов КА ИПРЗ.

С помощью синхронных подспутниковых экспериментов удалось решить следующий круг задач:

- определить влияние передаточной функции;

- создать каталог «паспортизованных» изображений отдельных природных образований;

- использовать полученные зависимости для дальнейшего изучения различных характеристик атмосферы.

Развитие отечественных космических средств для изучения природных ресурсов Земли прошло на основе опыта, полученного при использовании космических метеорологических снимков в интересах геологии и других отраслей народного хозяйства, а также с учётом результатов проведён-

ных подспутниковых экспериментов и исследованиях по оптимизации соотношений между полосой обзора, разрешением на местности и периодичностью обзора одних и тех же районов Земли.

Отечественная программа ИПРЗ из космоса с помощью космических аппаратов «Метеор-Природа» началась в июне 1974 г. успешным запуском экспериментального КА «Метеор-Природа» № 1, оснащённого многозональной телевизионной аппаратурой.

Программа «Метеор-Природа» в дальнейшем развивалась как комплексная космическая программа, предусматривающая проведение экспериментальных работ по получению, передаче и обработке информации по исследованию Земли, атмосферы, околоземного космического пространства, а также экспериментов, направленных на дальнейшее усовершенствование КА для дистанционного зондирования.

Следует отметить, что ранее было установлено, что для указанных целей на начальном этапе этих работ недостаточно иметь на КА только аппаратуру с высоким (50 – 80 м) разрешением и узкой (180 – 200 км) полосой обзора (пример КА «Лэндсат»). Известно, что вероятность безоблачного наблюдения из космоса регионов, расположенных в средних широтах, составляет лишь 20 – 30 %, что приводит к фактической периодичности наблюдения одного и того же района не чаще, чем один раз в 1,5 – 2 месяца и не позволяет оперативно оценивать многие быстроменяющиеся параметры, интегрирующие потребители информации ИПРЗ [5].

По указанным причинам, а также из-за технической сложности получения и передачи многозональной информации высокого разрешения, во ВНИИЭМ, как головном разработчике КА ИПРЗ, была поставлена задача на первом этапе получить многозональные снимки земной поверхности с достаточно большой обзорностью при относительно низком разрешении, чтобы, с одной стороны, иметь возможность проследить состояние достаточно крупных природных объектов и динамику изменения кратковременных и сезонных явлений на больших территориях, и, с другой стороны, получить определённый опыт в использовании многозональной космической информации и определить требования к постоянно действующей космической системе изучения природных ресурсов Земли.

Для реализации этой программы первоначально использовалась возможность КА серии «Метеор» изменять состав приборной части, устанавливая более современные научно-информационные приборы.

Основными задачами программы «Метеор-Природа» являлись:

- создание и отработка специальной аппаратуры и методов получения, передачи и обработки многозональной телевизионной информации различного разрешения для изучения природных ресурсов;

- отработка средств и методов коррекции траектории КА с целью обеспечения необходимых орбитальных характеристик и наведения трасс КА на тестовые полигоны;

- создание и отработка методик обработки и интерпретации многозональной телевизионной информации в интересах различных отраслей народного хозяйства и наук о Земле;

- создание научно-технического задела для развития и совершенствования КА и систем ИПРЗ и их аппаратуры;

- накопление опыта эксплуатации КА и космических систем ИПРЗ.

Для решения комплекса задач изучения Земли из космоса методами дистанционного зондирования необходимо, чтобы измерительная система и сам КА обеспечивали [6]:

- постоянную или регулируемую периодичность получения информации об одних и тех же районах Земли при одинаковых условиях освещённости;

- оптимальное сочетание глобального обзора земной поверхности с возможностями получения локальной информации детального осмотра;

- возможность одновременного (синхронного) проведения комплексных измерений;

- возможность получения многозональной информации с заданным пространственным и спектральным разрешением;

- возможность осуществления географической привязки изображений к местности с заданной точностью и т. п.

С этой целью на КА дистанционного зондирования устанавливался бортовой информационно-измерительный комплекс. В него входили несколько информационных датчиков (многозональных сканеров), работающих одновременно, блок управления, общее устройство синхронизации, кодирования и уплотнения, объединяющее отдельные виды информации в единый информационный поток, запоминающие устройства для регистрации информации вне зон радиовидимости и необходимые радиолинии (передатчики и антенно-фидерные устройства) для передачи на наземные приёмные пункты информации ДЗ.

Программа «Метеор-Природа» в последующее (после 1974 г.) десятилетие прошла последовательно три этапа. Первые КА «Метеор-Природа» создавались на базе спутника первого поколения «Метеор» и выводились на такие же приполярные орбиты высотой 900 км и наклоном 82°. На спут-

никах устанавливались научно-информационный радиотелевизионный комплекс, состоящий из многозональных сканеров малого (МСУ-М) и среднего (МСУ-С) разрешения, бортового запоминающего устройства и двух радиопередатчиков дециметрового (466 мГц) и метрового (137 мГц) диапазонов.

С 1977 г. последующие спутники выводились на солнечно-синхронную орбиту со средней высотой 650 км и наклоном 98°. Таким образом, впервые появилась возможность получать многоспектральную видеоинформацию по одним и тем же районам земной поверхности в одинаковых условиях освещённости. В 1978 г. научно-информационный радиотелевизионный комплекс был принят в эксплуатацию (Постановление Правительства от 6 февраля 1978 г.), что дало возможность регулярно и оперативно обеспечивать многозональной информацией [6] около 200 организаций различных министерств и ведомств.

Следующий этап развития программы ДЗЗ в интересах изучения природных ресурсов и мониторинга природной среды начался в 1980 г. 18 июня 1980 г. был запущен спутник следующего поколения, на котором, кроме штатного комплекса РТВК, были установлены два новых комплекса бортовой аппаратуры:

– бортовой информационный комплекс БИК-Э в составе многозонального (4-канального) сканера среднего разрешения с конической развёрткой (МСУ-СК), многозонального сканера высокого разрешения с электронной развёрткой (МСУ-Э), устройства сбора и формирования потока данных и цифрового радиопередающего устройства в диапазоне 466 мГц;

– экспериментальная система «Фрагмент» в составе 8-канального оптического сканера и цифрового радиопередающего устройства в диапазоне 1000 мГц.

Таким образом, появилась возможность осуществлять съёмку земной поверхности в различных диапазонах спектра с пространственным разрешением на местности от 50 м до 2 км. Применение устройств бортовой калибровки и цифровых радиопередающих устройств позволило заметно повысить качество получаемой многозональной информации.

Программа «Метеор-Природа» включала подготовку и запуск семи спутников, проведение исследований с использованием получаемых данных, приём, обработку и выдачу всем заинтересованным потребителям многозональных спутниковых изображений [7].

На спутниках «Метеор-Природа» была осуществлена серия экспериментов по ДЗЗ, включая зондирование атмосферы и мониторинг околоземного пространства. Состав и характеристики основной многозональной аппаратуры зондирования поверхности

Земли и атмосферы КА серии «Метеор-Природа» представлены в табл. 1.

Кроме многозональной аппаратуры, на КА устанавливались спектрометр-радиометр, разработанный специалистами ГДР и ряда отечественных институтов, а также спектрометры и радиометры для мониторинга околоземного космического пространства (А-019, А-019Б, А-019М) и изучения верхней атмосферы (А-018, Б-12), созданные специалистами ГосНИЦИПР.

Программа исследования природных ресурсов методами ДЗЗ предусматривала, как указывалось выше, возможность установки на КА комплекса информационных приборов, нескольких радиолиний и обеспечения одновременного включения этих приборов в различных режимах. Многорежимность работы съёмочной аппаратуры в совокупности с выбором определённых сочетаний районов получения и передачи данных вызывало потребность в специальном программно-временном устройстве с долговременной памятью или использовании управляющей ЭВМ на борту КА. Большие массивы накапливаемой и передаваемой информации в сочетании со стремлением экономить бортовые энергоресурсы и ограниченность зон радиовидимости наземных пунктов приёма требовали применения узконаправленных ориентированных бортовых антенн, иногда со специальными электроприводами наведения. Аппаратура, являясь измерительной, требовала обеспечения постоянства температурного режима, а иногда и «глубокого» охлаждения её датчиков. Кроме того, необходимо было защитить чувствительную аппаратуру от помех и влияния сравнительно мощных электротехнических систем в широком диапазоне спектра электромагнитных волн. Особое внимание должно было уделяться динамическим характеристикам КА, чтобы не допускать ухудшения качества информации, вызываемого некомпенсированными возмущающими моментами в аппаратуре спутника.

Конструкция КА должна быть способной обеспечивать высокую динамическую точность и температурную стабильность установки измерительных приборов относительно осей аппарата, быть достаточно универсальной и позволять сравнительно легко устанавливать различные сочетания измерительной и информационной аппаратуры. Конструкция аппарата должна быть рассчитана на использование корректирующих двигательных установок (КДУ) для начальной установки необходимой орбиты и регулярной коррекции её параметров в процессе эксплуатации [8].

Всеми этими качествами, в значительной степени,

Таблица 1

Наименование аппаратуры, разработчик	Назначение	Основные характеристики аппаратуры				Примечание
		Число каналов	Спектральный диапазон, мкм	Полоса обзора, км	Разрешение, м	
РТВК МСУ-М (РНИИКИ)	Получение совмещённых изображений подстилающей поверхности и облачного покрова	4	0,5 – 0,6 0,6 – 0,7 0,7 – 0,8 0,8 – 1,1	2800 – 3000 (№ 1, № 2) 1800 – 1900 (остальные)	1500 × 1500 (№ 1, № 2) 1000 × 1700	Все КА, кроме № 3-2
МСУ-С (РНИИКИ)	Получение совмещённых изображений подстилающей поверхности и облачного покрова	2	0,6 – 0,7 0,7 – 1,0	1900 – 2000 (№ 1, № 2) 1300 – 1400	250 × 250	Все КА
БИК-Э МСУ-СК (РНИИКИ)		4	0,5 – 0,6 0,6 – 0,7 0,7 – 0,8 0,8 – 1,1	600	340 – 500 (№ 3 – 1) 150 – 250 (№ 3 – 2)	№ 3-1 № 3-2
МСУ-Э (РНИИКИ)		3	0,5 – 0,7 0,7 – 0,8 0,8 – 1,0	25 – 30 в полосе 350	62 (I) 104 (II – III) (№ 3 – 1) 30 (№ 3 – 2)	№ 3-1 № 3-2
Многоканальное сканирующее устройство «Фрагмент» (ГДР, АН СССР)		8	0,4 – 0,5; 0,5 – 0,6 0,6 – 0,7; 0,7 – 0,8 0,8 – 1,1; 1,2 – 1,3 1,5 – 1,8; 2,1 – 2,4	90	80 (I – V каналы) 240 (VI – VII) 480 (VIII)	№ 3-1
А-011 (ГосНИЦИПР). Экспериментальная телевизионная система	Получение совмещённых изображений для наблюдения облачности	2	0,59 – 0,63 8,0 – 12,0	2900	9 × 17	№ 1
ИК-аппаратура «Ласточка-65»	Получение изображений облачности, ледяного и снежного покровов на освещённой и теневой стороне Земли	1	8 – 12	1600 (№ 1, 2) 930	17 – 25 (№ 1, 2) 16 × 16	
А – 014 (ГосНИЦИПР). Сканирующий ИК-поляриметр	Определение фазового состава облаков	2	1,5 – 1,9 2,1 – 2,5	2200	45 – 50	№ 2-1
Спектрометр СМП-32 (Болгария)	Исследование отражённой земной поверхностью солнечной радиации в видимой и ближней ИК-области спектра	32	0,457 – 0,888	–	280 м ²	№ 2-4

обладали КА серии «Метеор» первого, и особенно второго поколения. Созданные изначально для метеорологических целей, они удовлетворяли большинству требований ДЗЗ и поэтому были положены в основу реализации экспериментальной программы изучения природных ресурсов Земли из космоса, получив название «Метеор-Природа».

Для информационных комплексов, работающих на КА программы «Метеор-Природа», характерным являлось одновременное использование приборов, различных по следующим основным признакам:

- по используемым для получения информации диапазонам спектра электромагнитных излучений;
- по принципам наблюдения – электромеханическое и электронное сканирование по местности и спектру, трассирование и т. д.;
- по ориентации и геометрическим формам полей обзора приборов;
- по способам передачи информации – цифровым и аналоговым с помощью телеметрических и специальных информационных радиолиний в метровом и дециметровом диапазонах.

Важное место в ходе создания и отработки КА занимало обеспечение электромагнитной совместимости столь разнообразных приборов.

Найденные технические решения позволили настолько минимизировать помехи по цепям питания и высокочастотные – по эфиру, что серьёзного влияния на конечный исход экспериментов они не оказали.

При разработке информационных приборов были реализованы принципы надёжности, использованные при создании КА «Метеор»:

- единая программа обеспечения надёжности на всех этапах разработки, изготовления, наземных и лётных испытаний;
- специальные облегчённые режимы работы электрорадиоэлементов;
- обеспечение резервирования и функциональной избыточности;
- применение термостабилизационных испытаний и другие способы.

При создании КА «Метеор-Природа» (рисунок) размещение и работоспособность сложных приборных комплексов были обеспечены в рамках имевшихся спутниковых конструкций.

При решении конструктивно-компоновочных задач были реализованы следующие принципы:

- расположение на единой унифицированной платформе всех приборов с целью обеспечения точного наведения оптических осей приборов на Землю;
- расположение большинства приборов или их датчиков вне герметичного контейнера с сохранением собственного микроклимата, что позволяло избавиться-

ся от иллюминаторов, снижающих общий уровень полезного сигнала;

- компоновка электронных и электромеханических блоков и узлов, не рассчитанных на открытое исполнение, в виде герметичных моноблоков.

При компоновке многоприборного комплекса КА была решена задача обеспечения разнообразных полей обзора информационной аппаратуры и достаточно широких диаграмм направленности нескольких антенн радиотехнических передающих систем. С целью повышения надёжности были применены только стационарные антенны без использования каких-либо раскрывающих механизмов.

Работоспособность информационных приборов и их качественные характеристики во многом определяются соблюдением заданной термостабильности. С этой целью были использованы разнообразные конструкторские решения для обеспечения с точностью до нескольких градусов стабильности температуры чувствительных элементов приборов.

Использование специальных терморегулирующих покрытий, плоскостных нагревателей и радиаторов, создание конструктивных тепловых мостиков, а также отработанная и экспериментально проверенная методика тепловых расчётов каждого прибора в отдельности и в комплексе позволили успешно решить сложную задачу обеспечения заданных, достаточно узких диапазонов температуры информационных приборов. В некоторых случаях, при низких температурах (-40° и ниже), для чувствительных элементов аппаратуры высокого разрешения использовались специальные тепловые трубы и, связанные с ними, охлаждающие экраны, установленные на теневой стороне КА.

Важнейшее значение для решения задач дистанционного зондирования имело баллистическое построение космической системы, т. е. характеристики орбит КА, количество спутников на орбитах и их орбитальная динамика. Требования к орбитам достаточно противоречивы.

Так, например, чем выше орбита, тем шире полоса обзора с КА, выше частота наблюдений, но меньше разрешение на местности. Если увеличивать полосу обзора при той же высоте орбиты с сохранением разрешения, то повышается информативность, но увеличиваются геометрические искажения.

Для КА ИПРЗ первых этапов развития программы «Метеор-Природа» применительно к съёмочной аппаратуре, имеющей пространственное разрешение 50 и 250 м и полосы обзора 200 и 600 км, выбирались орбиты высотой 600 – 800 км. При полосе обзора шириной 200 км и высоте круговой



КА «Метеор-Природа»

орбиты около 640 км период повторных наблюдений за одними и теми же районами земного шара должен составлять для экваториальных широт примерно 14 суток. Для средних широт, естественно, повторения будут чаще. Такие орбиты были названы кратными.

Для осмотра всего земного шара используются полярные и околополярные орбиты, плоскости которых наклонены к плоскости экватора под углом, близким к 90° , так как только в этом случае осматриваются и полярные районы. Требование (желание) проводить измерения при одинаковых высотах Солнца исходит из возможностей, которые предоставляют солнечно-синхронные орбиты (ССО), плоскость которых поворачивается (процессирует) синхронно с обращением Земли вокруг Солнца со скоростью около 1° в сутки. При этом орбитальная плоскость КА сохраняет постоянный угол к направлению Земля – Солнце. По отношению к плоскости экватора ССО наклонены на $98^\circ - 100^\circ$. Выведенный на такую орбиту КА проходит над одними и теми же широтами в одно и то же местное солнечное время, т. е. при примерно одинаковых условиях освещённости. Местное время, когда производится наблюдение, устанавливается путём выбора необходимого угла между плоскостью орбиты и направлением на Солнце.

При угле, равном нулю, КА проходит над наблюдаемым районом в местный полдень. С КА ИПРЗ целесообразно вести наблюдения в 9 – 11 ч по местному времени, т. е. в период минимальной облачности.

Освоение ССО в СССР была впервые осуществлена при запуске КА «Метеор-Природа» в июле 1977 г.

Необходимо отметить, что при этом для КА серии «Метеор» не потребовалось осуществление особых конструктивных изменений. Доработке подверглись лишь элементы системы ориентации и

программно-управляющие устройства в связи с изменением высоты полёта.

Большой интерес для решения задач ДЗЗ представляла установка не просто кратной орбиты, а такой, при которой трасса КА с заданной периодичностью проходит через определённый район, например, через тестовый (измерительный) полигон, где одновременно проводятся подспутниковые (самолётные и наземные) наблюдения с целью разработки единых методик интеграции космической информации. Пути решения такой задачи были отработаны в процессе эксперимента с КА «Метеор-Природа», осуществлённого по программе «Болгария-1300», причём точность наведения трассы на нужный район составила 5 – 10 км при четырёхсуточном периоде повторения наблюдений.

В целях более оперативного обзора всей поверхности Земли или более частого наблюдения одних и тех же районов земной поверхности, создаются космические системы (КС) из нескольких КА. Для поддержания стабильности КС дистанционного зондирования используются КДУ.

Одним из важных результатов программы «Метеор-Природа» явились успешные лётные испытания электрореактивных двигателей и отработка методик коррекции орбит. На этапе лётных испытаний стационарных плазменных двигателей на ксеноне в 1972 – 1975 гг. были отработаны принципиальные вопросы работоспособности таких двигателей в космосе, надёжности, стабильности тяги, исследована их электромагнитная совместимость с электрорадиотехническими системами КА, а также проведены различного вида корректирующие манёвры.

Создана и отработана методика проведения оптимальных по времени и расходу электроэнергии различного типа коррекций, имевших целью получение так называемых кратных орбит (в одном из экспериментов была установлена кратная ССО с пятисуточным периодом повторения), а также создания специальных орбит в интересах ИПРЗ. При этом была реализована оптимальная стратегия определения участков включения КДУ.

Орбитальные характеристики КА серии «Метеор-Природа» представлены в табл. 2.

Экспериментальные КА ИПРЗ, выведенные на орбиты в 1980 и 1981 гг., успешно эксплуатировались более четырёх и трёх лет соответственно, при этом, в целом получен весьма ценный опыт по разработке и созданию перспективных приборов для дистанционного зондирования.

Орбитальные характеристики КА «Метеор-Природа»

№ КА. Наименование «Метеор-Природа»	Дата запуска	Изготовитель	Место запуска	Характеристики орбиты		ГПР	Срок службы
				Средняя высота, км	Наклонение, град		
№ 1	09.07.74	ВНИИЭМ	Плесецк	900	81,2	6 мес.	2 г. 4 мес.
№ 2-1	15.05.76	ВНИИЭМ	Плесецк	900	81,2	6 мес.	2 г. 2 мес.
№ 2-2	29.06.77	ВНИИЭМ	Байконур	650	98	6 мес.	1 г. 8 мес.
№ 2-3	25.01.79	ВНИИЭМ	Байконур	650	98	6 мес.	2 г. 6 мес.
№ 3-1	18.06.80	ВНИИЭМ	Байконур	650	98	1 год	8 лет 3 мес.
№ 2-4	10.07.81	ВНИИЭМ	Байконур	650	98	6 мес.	3 года 1 мес.
№ 3-2	24.07.83	ВНИИЭМ	Байконур	650	98	1 год	3 года 6 мес.

Для всех экспериментов с использованием КА «Метеор-Природа» характерна комплексность изучения, как земной поверхности, так и атмосферы. В связи с этим совместно с упомянутыми многозональными телевизионными приборами на КА «Метеор-Природа» испытывались в разных сочетаниях ещё десять приборов, работающих в видимом инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра, а также восемь приборов для исследования корпускулярных излучений и других параметров космического пространства. Большинство из них испытывалось в космическом пространстве впервые.

В ходе выполнения программы «Метеор-Природа» впервые в отечественной практике успешно решены следующие научно-технические проблемы:

1. Осуществлён переход от отдельных экспериментов к опытной эксплуатации информационной космической системы ИПРЗ первого поколения «Метеор-Природа» в составе одного-двух космических аппаратов и трёх наземных пунктов приёма и обработки полученной информации.

Система приносила значительный ежегодный экономический эффект, измеряемый десятками млн. руб.

2. За время эксплуатации системы с помощью аппаратуры малого и среднего разрешения территория СССР была снята более 600 раз, т. е. практически общий обзор территории осуществлялся в среднем один раз в 3 – 4 суток.

3. Освоена синхронно-солнечная орбита применительно к космическим аппаратам дистанционно-го зондирования.

4. Создан специализированный космический аппарат первого поколения «Метеор-Природа» для изучения природных ресурсов Земли, разработаны и

реализованы конструктивно-компоновочные принципы приборных платформ для КА ДЗ в моноблочном и негерметичном исполнении; решены проблемы электромагнитной совместимости и обеспечения тепловых режимов многоприборных комплексов; получен опыт для дальнейшего усовершенствования КА для ИПРЗ.

5. Отработаны и внедрены в оперативную практику методы визуальной интерпретации телевизионных многозональных широкозахватных изображений среднего и малого разрешения в интересах различных отраслей народного хозяйства, расширены сферы применения поступающей информации.

6. Получен научно-технический и конструкторский опыт создания усовершенствованных приборов, работающих в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах и экспериментальной интерпретации их информации.

7. Создана и отработана оптимальная методика коррекции траектории КА с помощью электрореактивных двигателей малой тяги с целью получения кратных орбит и наведения трасс КА на измерительные полигоны ИПРЗ при подспутниковых экспериментах.

Литература

1. Народнохозяйственные и научные космические комплексы / В. С. Авдеевский, Г. Р. Успенский. – М.: Машиностроение, 1985.
2. Сагдеев Р. З. Космические исследования и изучение природных ресурсов Земли / Р. З. Сагдеев. – М.: Наука, 1976.
3. Ходарев Ю. К., Зиман Я. Л. Космические исследования земных ресурсов / Ю. К. Ходарев, Я. Л. Зиман. – М.: Наука, 1976.
4. Космические аппараты исследуют природные ресурсы / В. С. Агалаков, А. Ш. Сире. – М.: Знание, 1976.
5. Советские космические аппараты для дистанционного зондирования типа «Метеор» / Н. Н. Шереметьевский, А. Г. Иосифьян, Ю. В. Трифонов // Электротехника. – 1982. – № 6.
6. Трифонов Ю. В. Искусственные спутники Земли «Метеор» и «Метеор-Природа» / Ю. В. Трифонов // Природа

Земли из космоса. – Л. : Гидрометеиздат, 1984.

7. Получение и использование спутниковых данных о природных ресурсах Земли и окружающей среде // Труды НИЦИПР. – Выпуск 45. – СПб. : Гидрометеиздат, 1999.

8. Трифонов Ю. В. Спутники серии «Метеор», предназначенные для изучения Земли из космоса / Ю. В. Трифонов // Исследование Земли из космоса. – 1982. – № 5.

Поступила в редакцию 05.06.2014

*Леонид Алексеевич Макриденко, д-р техн. наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.
Сергей Николаевич Волков, д-р техн. наук, 1-й зам. генерального директора, т. (495) 366-42-56.
Александр Викторович Горбунов, канд. техн. наук, зам. генерального директора, т. (495) 623-41-81.
Владимир Павлович Ходненко, д-р техн. наук, главный научн. сотрудник, т. (495) 624-94-98.
E-mail: vniiem@orc.ru.*