

ISSN 0536-101X

# ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

## ГЕОДЕЗИЯ и АЭРОФОТОСЪЕМКА



№ 2

МОСКВА

1995

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
РАЗДЕЛ  
ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА  
№ 2

Журнал основан в июле 1957 года  
Выходит шесть раз в год

*Материалы научной конференции "Проблемы высшего образования, науки и техники в области геодезии, фотограмметрии, дистанционного зондирования и картографии", посвященной 215-летию МИИГАиК*

ИЗДАНИЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ  
МОСКВА 1995

УДК 528.711.1(202):577.4

Центральное научно-производственное  
объединение «Комета»  
Профessor, доктор техн. наук В.Г.Бондар

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫХ ЦЕЛЯХ

## *I. Введение*

Развитие современной цивилизации привело к такому влиянию человека на окружающую среду, которое соизмеримо по своим масштабам с естественными процессами, происходящими в природе, а следовательно, и к нарушению динамического равновесия на нашей планете. В связи с этим решение проблем охраны

окружающей среды, рационального природопользования, а также контроля чрезвычайных ситуаций (ЧС), вызванных природными катастрофами, техногенными авариями, региональными и локальными военными конфликтами, становится одной из наиболее актуальных задач, как для нашей страны, так и для человечества в целом [1; 2]. Для решения этих проблем необходимо создание сложных информационно-управляющих систем, важным звеном которых является космическая система мониторинга (КСМ) [3; 4], обеспечивающая получение необходимой информации о большинстве ключевых объектов окружающей среды, о всех подсистемах нашей планеты (геосфере, гидросфере, атмосфере, биосфере), их взаимодействии и о Земле как единой природной системе. Космические средства дистанционного зондирования позволяют исследовать любые труднодоступные районы Земного шара с требуемой периодичностью и большими полями обзора, что делает их незаменимыми при мониторинге окружающей среды.

В настоящее время работа по экологическому оздоровлению России ведется неэффективно, так как отсутствуют действенные рычаги для ресурсосбережения, экономико-правовые механизмы, обеспечивающие безусловное и повсеместное выполнение норм выбросов вредных веществ в окружающую среду, необходимая и достаточная информация для оперативного принятия объективных и оптимальных управлеченческих решений. Контроль состояния окружающей среды и исследования природных ресурсов в России и странах СНГ в настоящее время осуществляется комплексом разобщенных систем и средств различной ведомственной принадлежности. В этой связи Постановлением Правительства Российской Федерации № 1229 от 24.11.1993 г. поручено создание Единой Государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ). Наблюдение и контроль за состоянием окружающей среды в ЕГСЭМ должны осуществляться с использованием не только инструментальных (физико-химических) методов, но и с применением биофизических и биологических методов (биоиндикация, биотестирование), учитывающих ответную реакцию биоты на изменение качества среды, а также с использованием всего комплекса методов и средств дистанционного мониторинга (в том числе космических методов и средств дистанционного зондирования Земли). Уникальные возможности последних делают их в составе ЕГСЭМ в качестве специальной подсистемы.

#### *П. Задачи, решаемые КСМ*

Приоритетными проблемами, имеющими общегосударственное и международное значение, для решения которых должна со-

здаваться КСМ, являются [1; 2; 5-7]; контроль погодообразующих и климатообразующих факторов с целью достоверного прогнозирования погоды и изменения климата; контроль за состоянием источников загрязнения атмосферы, воды, почвы с целью проведения природоохранных мероприятий; мониторинг экосистем глобального и регионального масштаба; оперативный контроль ЧС техногенного и природного характера с целью эффективного планирования и своевременного проведения мероприятий по ликвидации их последствий; контроль масштабов и последствий военных действий вблизи территории страны; информационное обеспечение проведения земельной реформы, рационального землепользования и хозяйственной деятельности; составление кадастров земель, контроль вегетации посевов и естественной растительности; составление и обновление тематических карт; поиск природных ресурсов по их прямым и косвенным проявлениям; оценка влияния антропогенной деятельности на природные комплексы; контроль переноса загрязнений, в том числе трансграничных переносов; изучение динамики городских агломераций; контроль состояния крупномасштабных искусственных сооружений; формирование банков многолетних данных по геофизическим, метеорологическим, биоклиматическим параметрам; создание динамической модели Земли как системы с целью прогнозирования нарушений экологического баланса и разработки мероприятий по сохранению среды обитания человека.

Использование КСМ совместно с другими системами, входящими в ЕГСЭМ, позволит: осуществлять долгосрочное и оперативное планирование и управление хозяйственной деятельностью; разрабатывать стратегию рационального использования природных ресурсов; осуществлять неотложные меры по ликвидации последствий техногенных и природных ЧС; контролировать климатические изменения в глобальном и региональном масштабах для прогноза погоды; систематически собирать, обрабатывать, хранить, использовать и распространять информацию в форме максимально доступной для потребителя (цифровой, текстовой, графической, картографической и т.п.); обеспечить выдачу в звенья управления информации о состоянии окружающей среды; проводить обмен данными на международном уровне. Кроме того КСМ обеспечит сбор и ретрансляцию данных, полученных наземными, воздушными и морскими источниками информации, в информационно-управляющие центры различных уровней, а также передачу данных конкретным потребителям.

### *III. Объекты наблюдения и контроля*

Все многообразие объектов, которые должны наблюдаться КСМ объединим в следующие классы:

- *природные объекты*, включающие биотические компоненты экосистем (естественная растительность, животный мир), абиотические компоненты экосистем (приземной слой атмосферы, почва, почвообразующая порода, грунтовые воды, океанические воды, поверхностные воды суши, ледяной покров, снежный покров), внешние экологические факторы (геофизические, гидрометеорологические, геологические и геоморфологические, климатические);
- *объекты социально-экономической сферы* (население, объекты социотехносферы и землепользования);
- *чрезвычайные ситуации*, включающие природные катастрофы различного происхождения: геофизические (падение небесных тел, повышение солнечной активности, повышение средней температуры Земли, разрушение озонового слоя и др.), метеорологические (наводнения, штормы, тайфуны, смерчи, засуха, ливни, снегопады, пожары, пыльные бури и др.), геологические и гидрологические (землетрясения, цунами, извержения вулканов, горные обвалы, камнепады, оползни, карст, опустынивание, заболачивание и др.), биологические (эпидемии, эпизоотии, массовые размножения вредных животных и т.п.), а также объекты, опасные, с точки зрения, возникновения *техногенных аварий* (объекты ядерной энергетики, ракетно-космического комплекса, ГЭС и ТЭС, химической промышленности, биотехнологии, транспортные системы, крупные подземные сооружения, летательные аппараты, атомные подводные лодки, плотины и др.).

Всем перечисленным объектам присущи различные значимые параметры, определяющие их состояние, знание которых необходимо для выбора методов и аппаратуры дистанционного зондирования, регистрирующей различные физические поля, используемые для контроля этих параметров по их прямым и косвенным проявлениям.

### *IV. Исходные данные об объектах наблюдения*

Наличие достоверных исходных данных об объектах наблюдения и окружающем их фоне, а также контролируемых территориях необходимо для разработки принципов функционирования КСМ, определения ее оптимального состава, выбора методов зондирования, типов дистанционной аппаратуры и ее информационных характеристик, методов и средств обработки информации [8;22]. Кроме того, исходные данные по контролируемым объектам, фоне и фоново-целевой обстановке в целом позволяют выявить наиболее отличитель-

ные признаки для идентификации и правильного распознавания интересующих исследователя объектов и явлений. При этом необходимо учитывать, что эти объекты в зависимости от решаемой задачи могут являться как целями, так и фонами [22].

В современных аэрокосмических системах используются различные методы дистанционного зондирования, которые в зависимости от типов регистрируемых физических полей могут быть классифицированы на [8–10]: методы, измеряющие характеристики электромагнитного поля; магнитометрические методы; гравиметрические методы; методы, основанные на регистрации потоков частиц. Наиболее распространенными являются методы, регистрирующие электромагнитную энергию, излучаемую или отражаемую исследуемыми объектами. С учетом этого, одним из наиболее важных параметров, определяющих состояние объектов наблюдения, является спектральная отражательная способность. Первая наиболее полная классификация объектов по их спектральным отражательным свойствам для длин волн 40–850 нм была разработана Е.Л.Криновым [11]. Из более поздних аналогичных работ необходимо отметить монографии [12, 13]. На рис. 1 в качестве примеров приведены спектральные отражательные способности, некоторых объектов [9, 13]: горных пород (рис. 1, а: 1,2 — светло-коричневый и серый песчаник, 3 — красный алевролит, 4 — серый известняк, 5 — выветрелый серый известняк); сухих и влажных почв (рис. 1, б — суглинки, в — песчаные почвы, г — чернозем); зеленых листьев с различным содержанием влаги (рис. 1, д); лиственных (рис. 1, е) и хвойных (рис. 1, ж) лесов; здоровых (рис. 1, и — кривая 1) и поврежденных (рис. 1, и — кривая 2) лиственных (рис. 1, л — кривая 1) и красных (рис. 1, л — кривая 2) листьев клена; листьев на различных стадиях вегетации (рис. 1, м: 1 — живые листья, 2, 3 — ранняя и средняя стадии, 4 — отмершая листва); воды (рис. 1, н, о); снега (рис. 1, п: кривая 1 — свежего, кривая 2 — подтаявшего). Эти данные показывают, как изменяется отражательная способность природных объектов при изменении их состояния в силу естественных или аномальных причин. Увеличение влажности почв приводит к уменьшению отражательной способности (см. рис. 1, б, в, г, кривые 1 и 2). Изменение мутности воды (см. рис. 1, н, кривые 1 и 2) и содержания в ней хлорофилла (см. рис. 1, о, кривые 1, 2, 3) также приводят к существенному изменению спектральных кривых. На рис. 1 и, л, м показано влияние на  $r(\lambda)$  степени вегетации растительности или ее нарушений, часто выражющихся в изменении содержания пигментов (хлорофилла, каротина, антоцианина и др.). Спектральная отражательная способность растительных сообществ является важ-

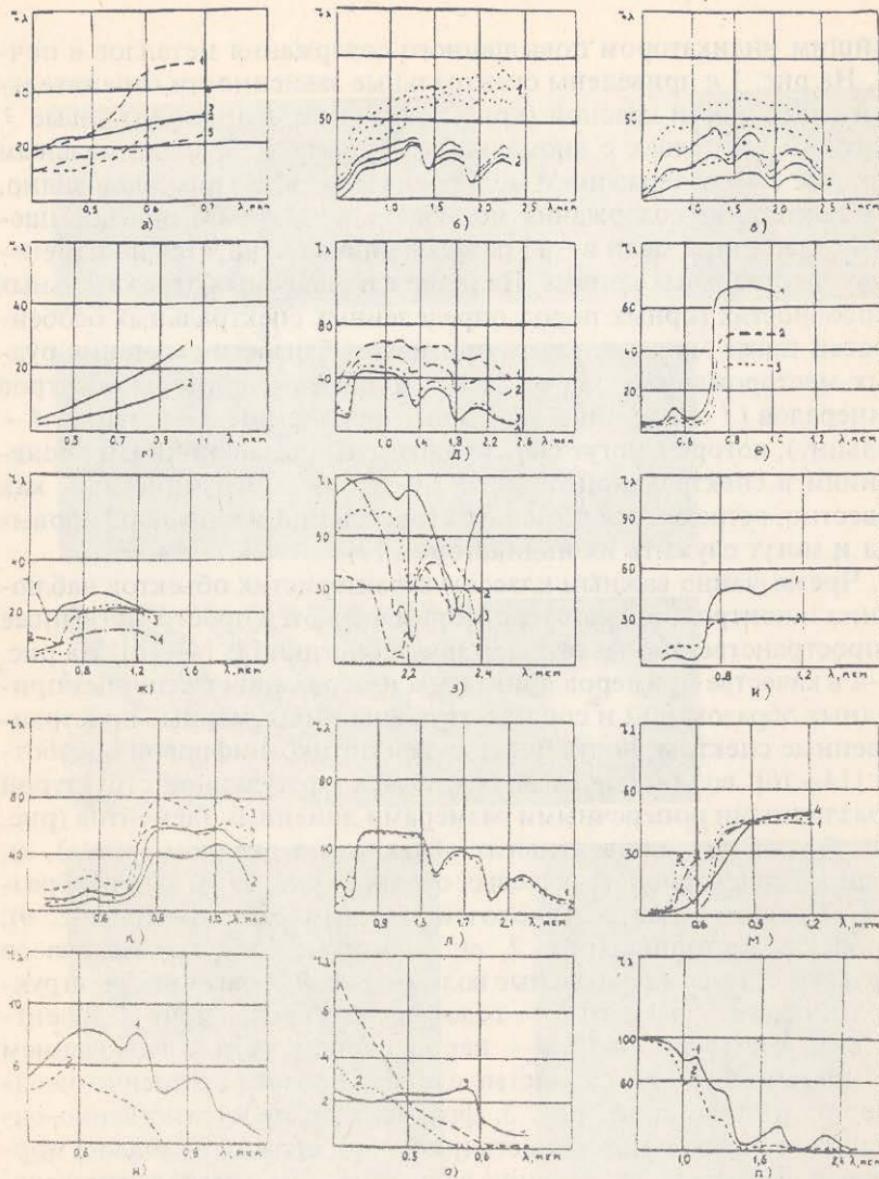


Рис. 1. Спектральная отражательная способность природных объектов: а) — различные горные породы; б), в), г) — сухие (1) и влажные (2) почвы различных типов; д) — листья с различным содержанием влаги; е) — лиственные леса различных пород; ж) — хвойные леса зимой и летом; з) — различные минералы на участках геотермальных изменений в горных породах; и) — здоровые (1) и поврежденные (2) листья; к) — сосна на почвах с нормальным и аномальным содержанием металлов; л) — зеленые (1) и красные (2) листья клена; м) — листья на различных стадиях вегетации; н) — пресная вода: мутная (1), чистая озерная (2); о) — океанская вода с различным содержанием хлорофилла; п) — снег: почти свежий (1), подтаявший (2)

нейшим индикатором повышенного содержания металлов в почве. На рис. 1 приведены спектральные зависимости отражательной способности красной (кривые 1, 2) и бальзамовой (кривые 3, 4) сосны на почвах с аномальным (кривые 1, 3) и нормальным (кривые 2, 4) содержанием молибдена и меди. Из рисунков видно, что понижение содержания молибдена в ~ 4,5 раза при повышении содержания меди в ~ 15 раз уверенно фиксируется по изменению спектральных кривых. Наличие в измеряемых отражательных способностях горных пород определенных спектральных особенностей также может служить признаком близости залегания рудных месторождений. На рис. 1, 3 приведены примеры спектров минералов (1 — каолинит, 2 — монтмориллонит, 3 — алунит, 4 — кальцит), которые могут быть обнаружены по характерным проявлениям в спектральной области 2,0-2,4 мкм. Эти минералы, как известно, встречаются вблизи месторождений медно-порфировых руд и могут служить их индикатором [9].

Чрезвычайно важным классом характеристик объектов наблюдения и контролируемых территорий являются пространственные и пространственно-частотные характеристики [8; 14—16]. На рис. 2—4 в качестве примеров приведены изображения различных природных образований и соответствующие им двумерные пространственные спектры, полученные путем оптико-цифровой обработки [14—16]: волнистые слоистые облака с регулярной структурой и различными поперечными размерами линейных элементов (рис. 2, а, б); цепочки конвективных облаков над океаном (рис. 2, в); мощные гряды слоисто-кучевых облаков (рис. 2, г); кучевообразная облачность над сельскохозяйственным районом (рис. 2, д); городская застройка (рис. 2, е); волнистые слоистые облака со структурой типа «корабельные волны» (рис. 3, фрагмент 5 — структура в целом, фрагмент 2 — головная часть, фрагмент 3 — центральная часть, фрагмент 4 — периферийная часть с включением волнистых облаков); волнистые слоистые облака с линейно-неоднородной структурой (рис. 3, фрагмент 6); пространственно-однородная морская поверхность (рис. 4, а); область выхода на морскую поверхность внутренних волн (рис. 4, б); морская поверхность с двумя системами ветровых волн (рис. 4, в); морская поверхность с ветровым волнением и волнами зыби (рис. 4, г). На рис. 5 приведены радиолокационные изображения морской поверхности, снятые под различными азимутами на разных поляризациях в сантиметровом диапазоне и их двумерные пространственные спектры [15]. На рис. 6 приведены одномерные пространственные спектры некоторых природных объектов в различных диапазонах спектра электромагнитных волн [8, 16]: кучевообраз-

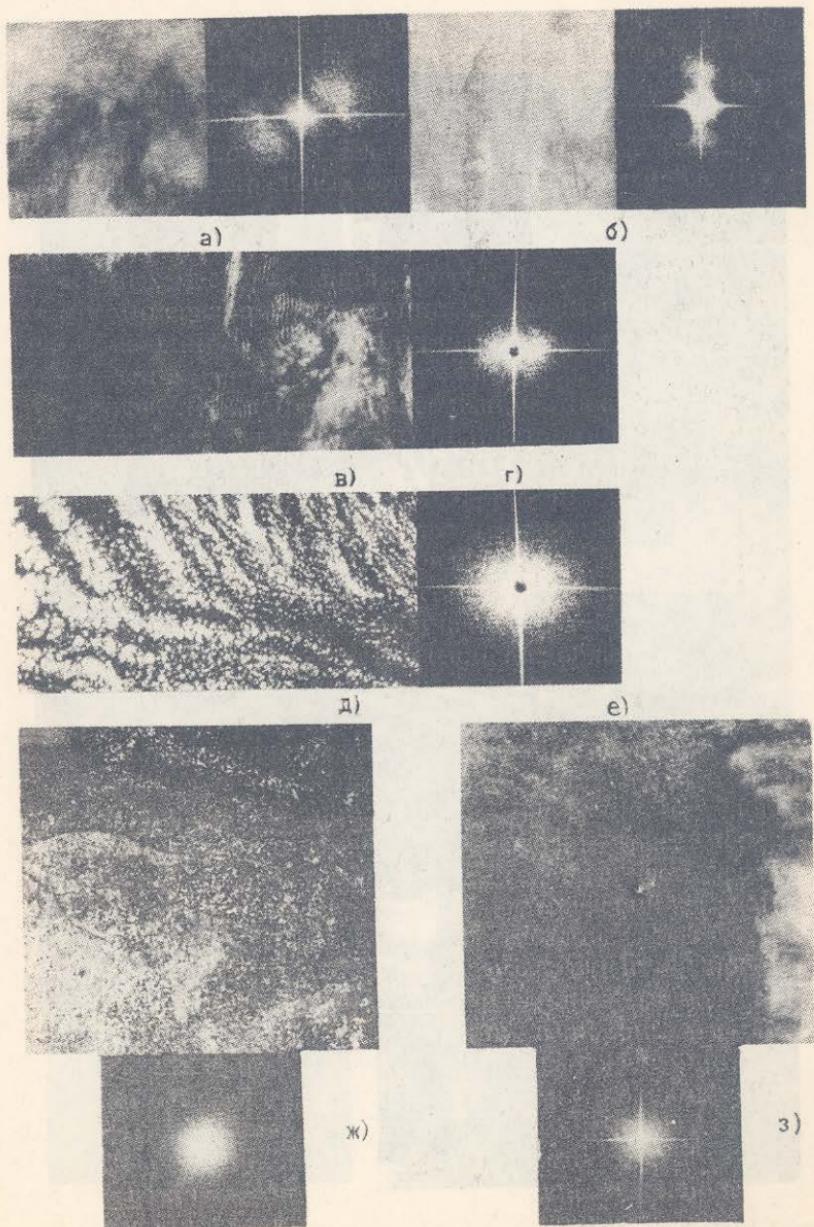


Рис. 2. Изображения природных образований и их пространственные спектры

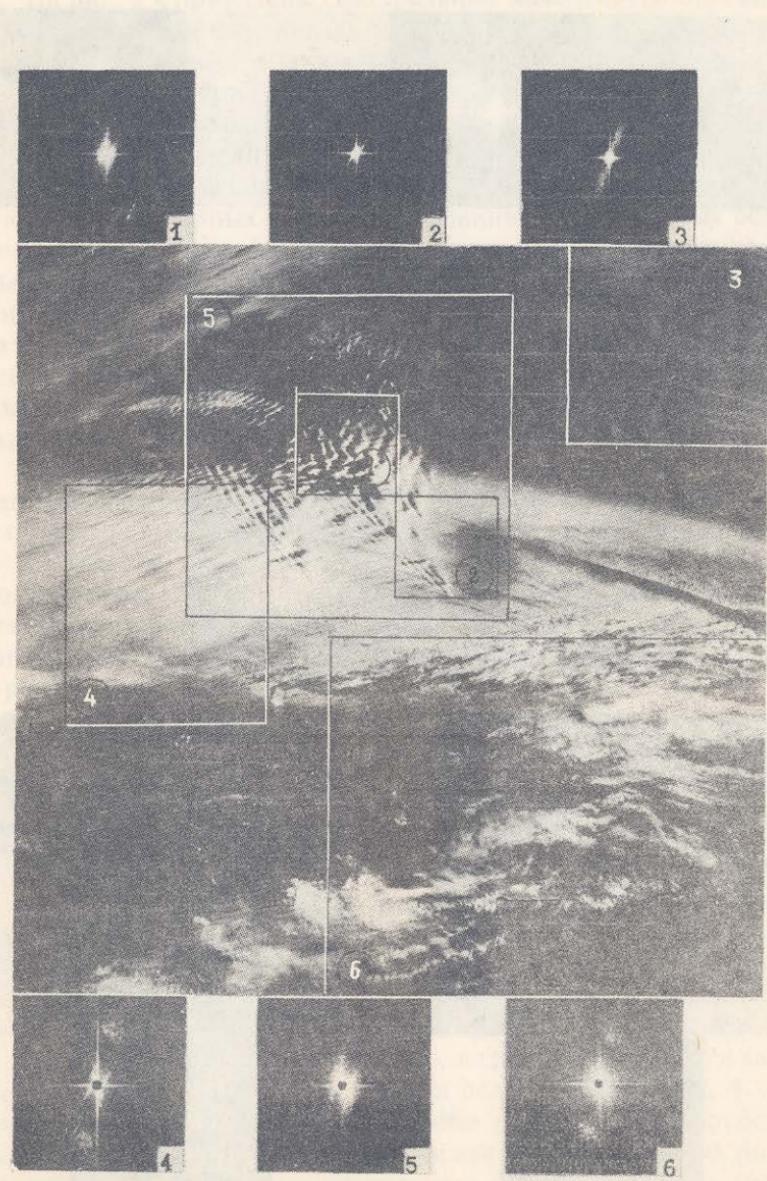
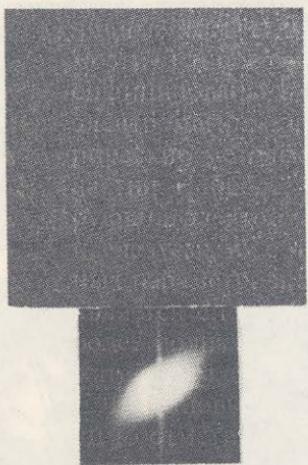


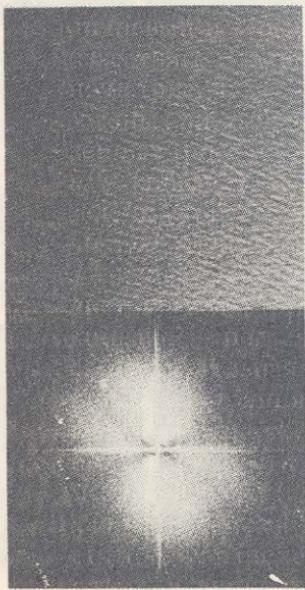
Рис. 3. Изображения различных типов облачности и их двумерные пространственные спектры



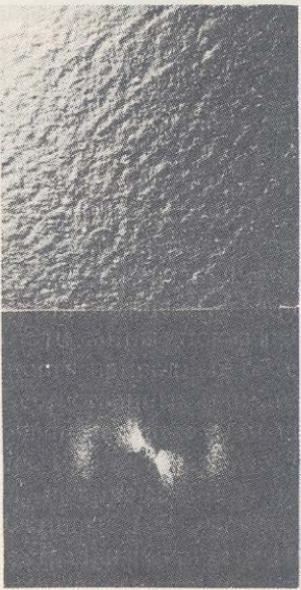
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Фотоизображения и двумерные спектры однородной морской поверхности (а), области выхода внутренних волн (б), поверхности с двумя системами волн (в), (г)

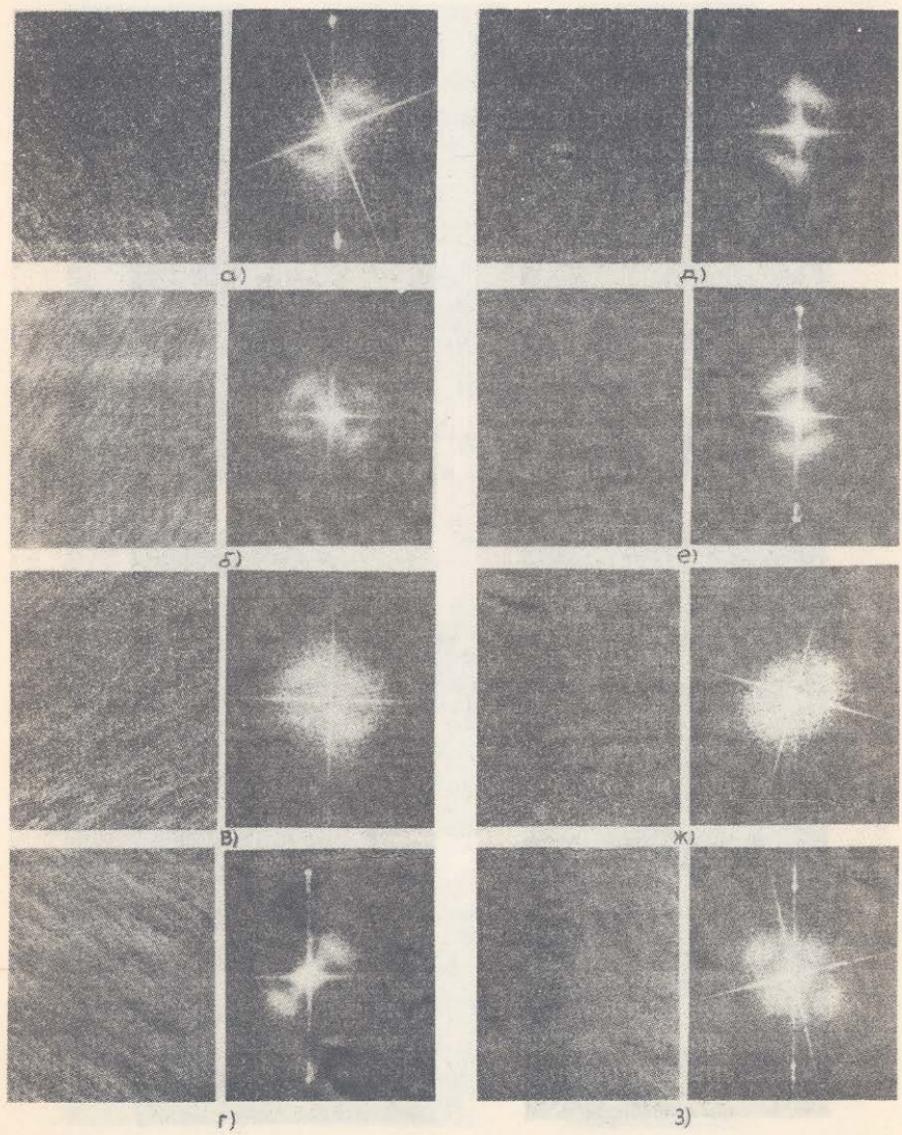


Рис. 5. Радиолокационные изображения различных поляризаций и их двумерные пространственные спектры

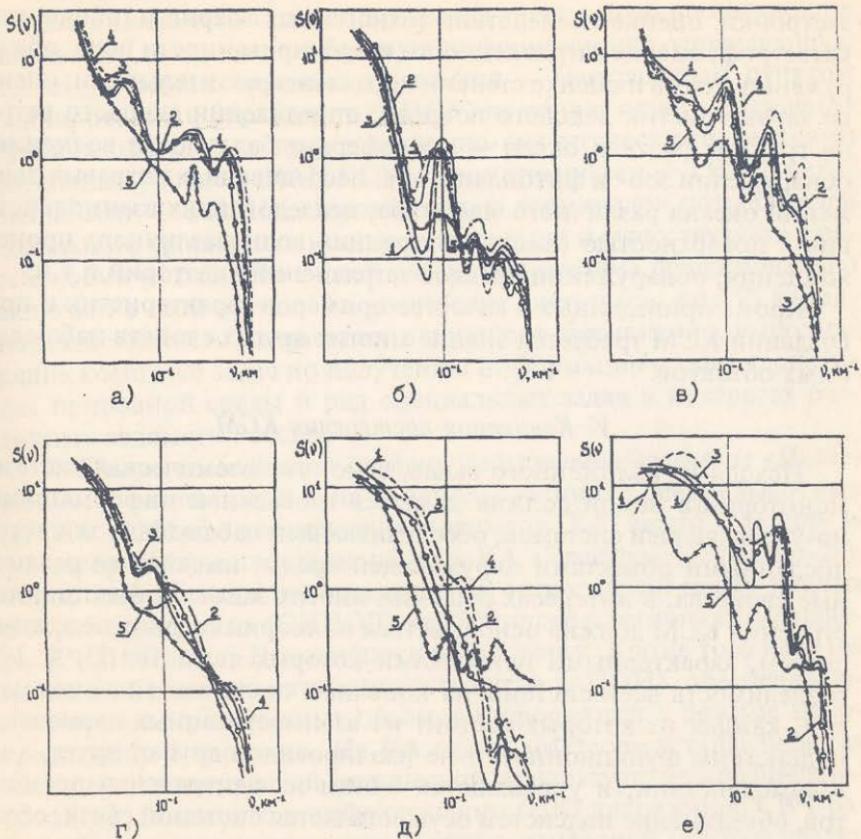


Рис. 6. Одномерные пространственные спектры различных природных образований в спектральных диапазонах:

- 1 — 1,35 мкм; 2 — 1,9 мкм; 3 — 2,35 мкм; 4 — 2,2 мкм; 5 — 2,5...3,1 мкм.  
 а) кучевообразная облачность;  
 б) мощные кучевые, слоистокучевые облака;  
 в) гряды слоистокучевых облаков;  
 г) слоистокучевые облака в сочетании с перистыми;  
 д) фронтальная облачность;  
 е) равнинная суша.

ная облачность (а); мощные кучевые, слоистокучевые облака (б); гряды слоистокучевых облаков (в); слоистокучевые облака в сочетании с перистыми (г); фронтальная облачность (д); равнинная суша (е).

Приведенные примеры демонстрируют некоторые возможности метода дистанционной пространственно-частотной спектрометрии [14–16], который может использоваться при: мониторинге объектов землепользования; определении типа и густоты жилой

застройки; оценке последствий техногенных аварий и природных катастроф; оценке загрязненности и эродированности почв; обнаружении очагов и оценке степени поражения растительности; оценке характеристик ледового покрова; определении скорости ветра на границе раздела океан — атмосфера и балльности волнения; обнаружении зоо- и фитопланктона; исследованиях вихревых движений океана различного масштаба; исследованиях взаимодействия с поверхностью океана внутренних волн различного происхождения; обнаружении ареалов загрязнений акваторий и т.п.

Кроме приведенных в качестве примеров характеристик и при создании КСМ требуется знание многих других свойств наблюдаемых объектов.

#### *V. Концепция построения КСМ*

Исходя из изложенного выше, ясно, что космическая система мониторинга Земли должна являться глобальной информационно-управляющей системой, обеспечивающей наблюдение за многочисленными объектами окружающей среды, имеющими различные свойства, в интересах решения многих задач. Концепция построения КСМ должна основываться на теории создания сложных систем, характерными признаками которых являются [3; 4; 17]: разделимость всей системы на конечное число частей — подсистем, каждая из которых состоит из взаимосвязанных элементов; подсистемы функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимодействии, и управляются одним из центральных элементов; объединение подсистем осуществляется системой связи, обеспечивающей циркуляцию информации в многоуровневой структуре потребителей.

Учитывая многогранность решаемых задач, физико-географические особенности территории страны и планеты в целом, физико-химические и биологические свойства объектов контроля на суше, в океане, атмосфере и околоземном космическом пространстве, многообразные, зачастую противоречащие друг другу, требования к регистрируемым параметрам, КСМ предлагается создавать по многоуровневому иерархическому принципу с различными космическими аппаратами, функционирующими на разных орбитах, с обширным классом дистанционной аппаратуры, широкой сетью наземных центров приема и обработки данных в интересах потребителей различных уровней [4]. Такой принцип построения КСМ позволяет обеспечить наблюдение за всеми объектами контроля в широком диапазоне пространственных масштабов с различным пространственным и временным разрешением и различными периодами обновления информации.

Концепция построения КСМ основана на объединении существующих ведомственных космических систем, функционирующих автономно, в единую глобальную информационно-управляющую систему с одним органом управления — Центральным пунктом планирования и управления (ЦППУ) на основе одного из существующих объектов, с информационно-аналитическими центрами различных уровней (ИАЦ КСМ, ведомственными — ГИАЦ, региональными — РИАЦ), широкой сетью терминалов потребителей локального уровня, с помощью создаваемых и существующих систем космической и наземной связи. Эта система функционально включает в свой состав 10 космических систем (см. рис. 7) народнохозяйственного назначения и двойного применения, выполняющих комплекс задач по получению информации о характеристиках природной среды и ряд специальных задач в интересах различных ведомств России:

1. Единую космическую систему гидрометеобеспечения «Планета-С», основанную на использовании средневысотных ( $H=900\ldots1250$  км) космических аппаратов (КА) серии «Метеор-3» («Метеор-3М») и геостационарных КА «Электро» («Электро-2»). Сброс информации производится на оперативный центр приема и обработки данных (ОЦПОД) в г. Обнинске и региональные центры (РЦПОД) в г.г. Новосибирск и Хабаровск. Кроме того имеется несколько десятков автономных пунктов (АППИ), обеспечивающих прием ограниченных объемов информации в режиме непосредственной передачи. На КА серий «Метеор» устанавливается комплекс сканирующей оптической аппаратуры ультрафиолетового (УФ), видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, СВЧ-радиометры и аппаратура радиационных измерений потоков частиц [20]. На КА «Электро» устанавливается двухканальная обзорная оптико-электронная аппаратура и приборы гелио-геофизического назначения для регистрации корпускулярных потоков и параметров геофизических полей [18].

2. Космическую систему исследования природных ресурсов «Ресурс», включающую в свой состав неоперативную часть, основанную на использовании КА фотонаблюдения «Ресурс-Ф1» («Ресурс-Ф1М») ( $H=180\ldots250$  км), «Ресурс-Ф2» («Ресурс-Ф2М») ( $H=180\ldots450$  км) с последующим переходом к более совершенным средствам на КА типа «Ника-Кубань», а также оперативную часть, основанную на использовании КА типа «Ресурс-О1» («Ресурс-О2») ( $H=600\ldots850$  км) и КА типа «Океан-О» ( $H=650$  км) или их альтернативного варианта — КА «Ресурс-Арктика». На КА этих типов устанавливаются многоспектральная сканирующая оптическая аппаратура, СВЧ радиометры и радиолокационные системы боко-

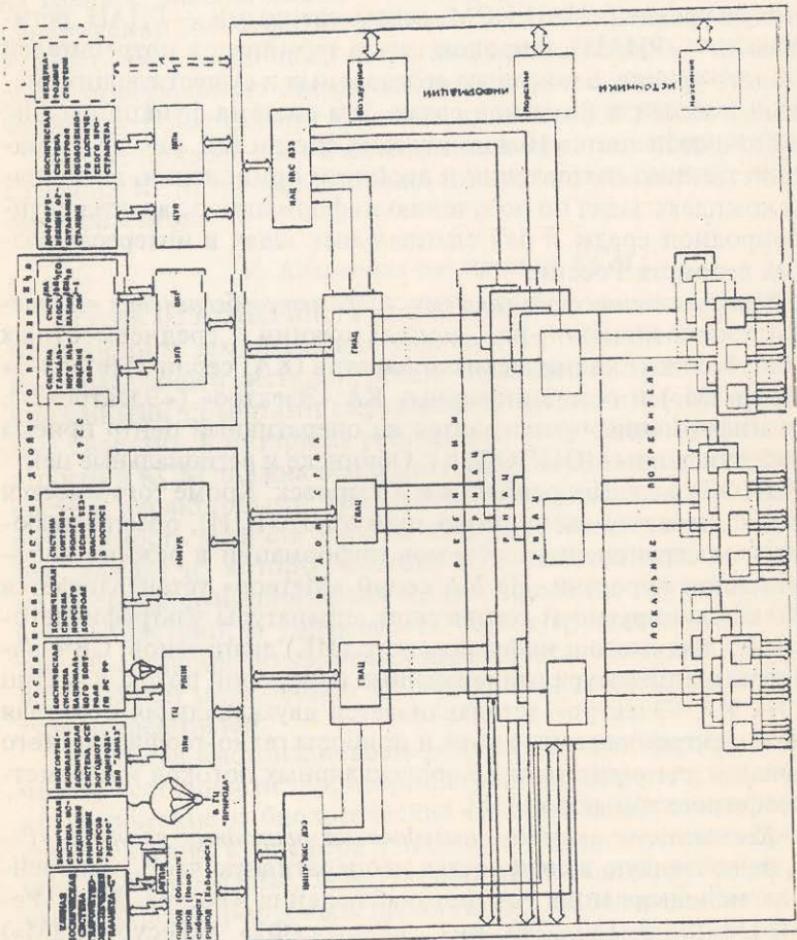


Рис. 7. Обобщенная структурная схема КСМ

вого обзора (РЛС-БО) [18]. В перспективе предполагается использование серий КА детального наблюдения типов «Ресурс-Спектр» с оптическими приборами и радиолокационной аппаратурой. Информация с оперативных природноресурсных КА поступает на ОЦПОД и РЦПОД, а с неоперативных — в Госцентр «Природа».

3. *Многофункциональную космическую систему всепогодного зондирования «Алмаз», основанную на использовании тяжелого КА «Алмаз-1Б» ( $H=600$  км) (в перспективе «Алмаз-2»), оборудованного бортовым радиолокационным комплексом «Экор-1Б» с многочастотными радиолокаторами с синтезированием апертуры (РСА) на длинах волн 3, 10 и 70 см, СВЧ-радиометрами, многозональными сканирующими оптико-электронными системами и лидаром «Балкан-2» [18; 19]. Информация сбрасывается на два специальных наземных пункта приема системы национального контроля и на создаваемый центральный приемный пункт;*

4. *Долговременные орбитальные станции на базе существующей станции «МИР», состоящей из базового блока, научных модулей «Квант», «Квант-2», «Кристалл», дооснащаемой специализированными модулями «Спектр» и «Природа» [18], а также проектируемой перспективной российско-американской орбитальной станции «Альфа». Долговременные пилотируемые орбитальные станции, хотя и не позволяют полностью обеспечить решение задач мониторинга окружающей среды из-за невозможности непрерывного контроля всей территории страны (наклонение орбиты 51°), эпизодичности наблюдений и т. п., однако играют существенную роль при получении информации в интересах фундаментальных наук о Земле за счет использования большого количества научной аппаратуры, возможности адаптации методик проведения экспериментов к изменяющимся условиям, сочетания инструментальных измерений с визуальными исследованиями и т. д. [8; 18].*

5. *Космическую систему национального контроля, обеспечивающую детальное наблюдение Земли в пределах полос 10...50 км с очень высоким пространственным разрешением с низкоорбитальных КА, находящихся на солнечно-синхронных орбитах с наклонением  $i=65\ldots97^\circ$ . На неоперативных КА этой системы устанавливается специальная фотоаппаратура, информация с которой доставляется в спускаемых аппаратах или капсулах. На оперативных КА устанавливаются оптико-электронные приборы с телескопическими оптическими системами, функционирующие в видимом и ИК-диапазонах спектра. Прием и обработка данных осуществляется в Главном центре и двух наземных пунктах системы.*

6. Космические системы контроля акваторий Мирового океана, основанные на использовании существующей конверсируемой системы «Легенда», состоящей из группировки КА (круговая орбита,  $H=300$  км,  $i=65^\circ$ ) с РЛС, обеспечивающей получение изображений участков поверхности, размером  $100 \times 100$  км<sup>2</sup>, или протяженной полосы, шириной 500 км, с разрешением  $300 \times 1500$  м, и группировки КА (круговая орбита,  $H=400$  км,  $i=65^\circ$ ) с радиолокационной аппаратурой. Развитием этой системы является система «Розмарин», содержащая группировки унифицированных КА ( $H=500$  км,  $i=71^\circ$ ) с усовершенствованной РЛС БО (разрешение 30 м — детальный режим, 300 м — обзорный режим) и радиолокационной аппаратурой. На КА этой системы предполагается установить: аппаратуру глобального контроля трехмерной структуры озона в верхней атмосфере Земли («Диагноз»); средства картографирования магнитного поля Земли («Поле») предназначенные для глобальной съемки магнитного поля Земли, с помощью скалярного и векторного магнитометров; аппаратуру контроля и прогнозирования землетрясений («Предвестник»), предназначенную для электромагнитного мониторинга из космоса ионосферы и магнитосферы Земли и сбора данных средств наземной электромагнитной диагностики. В систему входят автоматизированные средства связи, региональные комплексы приема и обработки информации и наземный информационно-управляющий комплекс (НИУК), обеспечивающий формирование и отображение информации об обстановке в Мировом океане.

7. Космическую систему экологической безопасности в космосе «Сириус», предназначенную для: обеспечения экологической чистоты космического пространства; безопасности деятельности государств в космосе по отношению к Земле; радиационной инспекции космических объектов с целью контроля за соблюдением международных договоров и соглашений по космическому пространству.

Существуют две модификации комплекса «Сириус»: «Сириус-И» — для решения задачи космической инспекции; «Сириус-Э» — для решения задачи очистки космического пространства от мусора. Функционирование системы осуществляется следующим образом. Средства контроля космического пространства определяют траекторию полета аварийного (или инспектируемого) космического объекта и передают целеуказания на КП комплекса, который рассчитывает время запуска КА и программу полета, после чего в расчетное время производится запуск соответствующей модификацией КА. КА — инспектор выводится с помощью ракеты-носителя и собственного маневрирования на ор-

биту, близкую к орбите инспектируемого объекта. Процесс инспекции заключается в получении информации об инспектируемом объекте с помощью бортовой аппаратуры (телеизационного и тепловизионного комплексов и аппаратуры контроля радиационной обстановки). Полученная информация передается по радиолинии на существующие НИУК. Космический аппарат-перехватчик выводится с помощью ракеты-носителя и собственного маневрирования на орбиту, компланарную орбите цели и касающуюся ее в предполагаемой точке встречи. Перед точкой встречи перехватчик разворачивает средство захвата типа гибкой сети, которое захватывает и приземляет объекты весом 3—10 т с высоты 300—3000 км. Кроме того, возможен вариант увода объектов на более высокую орбиту захоронения.

8. 9. Космические системы глобального наблюдения «ОКО-1» и «ОКО-2».

Существующие и создаваемые средства систем «Око-1» и «Око-2» обладают при решении своих целевых задач уникальными системотехническими характеристиками [4;18]: непрерывностью работы аппаратуры наблюдения и передачи информации на наземные командные пункты; использование двух типов орбит — геостационарных и полусуточных эллиптических; применение прецизионных систем наведения узкопольной аппаратуры при изменениях положения КА, а также ориентации и стабилизации КА; наличие вычислительных средств высокой производительности и ПАО обработки изображений, в том числе осуществляющих операции классификации при изменяющихся условиях в реальном масштабе времени ( $\sim 3,5$  с). Это позволяет определить направления конверсионного использования данных систем в рамках КСМ:

— контроль гелио-геофизической обстановки с помощью комплекса диагностики космической среды «Рейс», спектрометров горячей и холодной плазмы, дифференциального протонного спектрометра, спектрометра электронов, протонов и альфа-частиц, плазменного зонда для измерения скорости и плотности солнечного ветра, комплекса многочастотного радиопросвещивания атмосферы «Матрица», приемного устройства излучений сверхнизких частот КНЧ/ОНЧ диапазона [20];

— длительный, непрерывный оперативный, глобальный мониторинг озоносферы с помощью широкопольных (угол поля зрения  $21 \times 28^\circ$ ) и узкопольных ( $2 \times 3^\circ$ ) телевизионных камер, функционирующих в 8 участках УФ-диапазона спектра ( $\lambda = 0,28 \dots 0,36$  мкм);

— обнаружение тепловых источников (лесных и газонефтяных пожаров на ранних стадиях) с помощью широкопольной инфракрасной тепlopеленгационной аппаратуры.

Прием и обработка информации в системах «ОКО-1» и «ОКО-2» осуществляется на западном (ЗКП) и восточном (ВКП) наземных пунктах.

10. Создаваемую систему контроля космического пространства на основе: двух КА типа «Прогноз-М2» (высота в апогее первого КА — 20 000 км, второго — 200 000 км), оборудованных двумя ионными и электронными спектрометрами, комплексом «Рейс»; двух КА «Орион-С» ( $H_{\text{афелин}} = 160 \dots 180$  млн. км.,  $H_{\text{периг.}} = 150$  млн. км., период обращения 380...450 суток) для измерения параметров околосземного космического пространства при различных относительно направления на Землю гелиоцентрических углах; одного КА «Орион-СЛ», функционирующего в окрестности точки либрации (1,5 млн. км от Земли). В качестве альтернативного варианта последнему типу КА может использоваться КА «Регата-Э» с пассивной системой ориентации на солнечном парусе [19].

С целью управления и обеспечения оптимального функционирования КСМ для максимального удовлетворения интересов потребителей в состав наземного сегмента вводится оперативное звено — Центральный пункт планирования и управления (ЦППУ), основными задачами которого являются: сбор заявок на съемку от потребителей; регулирование информационных потоков в системе связи с целью минимизации времени доставки данных потребителям; ведение базы данных по протоколам отснятой информации; выдача заданий на съемку в центры управления отдельных космических систем по заявкам потребителей; установление приоритетов по потребительским заявкам на первоочередность съемки.

В состав наземного сегмента КСМ должен входить создаваемый информационно-аналитический центр (ИАЦ КСМ), являющийся аналитическим звеном системы, основными задачами которого являются: перспективное планирование функционирования системы для реализации международных и национальных программ; систематизация, учет и долговременное хранение информации о состоянии окружающей среды и справочно-информационных данных об информации, хранящейся на средствах отдельных подсистем, входящих в состав КСМ; поиск и выдача по запросам потребителей адреса нахождения информации, содержащейся в базах данных ИАЦ всех уровней, а также в базах данных зарубежных систем ДЗЗ; прием и обработка данных, полученных различными средствами, для решения комплексных задач; разработка моделей функционирования КСМ и др.

Для сбора и передачи потребителям информационного продукта предлагается использовать связную систему, объединяющую системы спутниковой связи, магистральные и локальные назем-

ные сети. Создание развитой системы связи в КСМ позволит интегрировать ее в единое телекоммуникационное и информационное пространство России, а также в международные системы охраны окружающей среды. В качестве космического элемента системы связи в КСМ предлагается использовать спутниковую телекоммуникационную систему связи (СТСС), создаваемую на базе конверсируемых средств систем ОКО-1 и ОКО-2. В задачу СТСС входит оперативная ретрансляция первичных и обработанных данных с наземных центров приема и обработки от ведомственных космических систем, воздушных, морских и наземных источников информации в ИАЦ КСМ, ГИАЦ ведомств, РИАЦ, объединяющие региональные службы различного назначения, а также локальным потребителям (рис. 7).

В состав СТСС полного состава входят: три спутника-ретранслятора на геостационарных орбитах в точках стояния с координатами  $86,5^{\circ}$  в. д. (1-й этап),  $55^{\circ}$  в. д. и  $172^{\circ}$  з. д. (2-й этап) для связи с неподвижными абонентскими станциями по принципу «каждый с каждым»; четыре спутника-ретранслятора на высокоэллиптических орbitах ( $H_{an} \sim 40000$  км, период обращения 12 час.), обеспечивающие связь с подвижными абонентскими станциями на воздушных носителях и плавающих платформах; станция «Входные ворота» для выхода в международную систему связи через КА «INTELSAT», координирующие станции; абонентские станции, 2 пункта управления КА-ретрансляторами. Спутники-ретрансляторы обеспечивают прием и передачу информационных потоков по 10 стволам по 200 каналов в каждом со скоростью передачи данных  $2000 \times 64$  кбит/с и по двум стволам (по 50 каналов в каждом) со скоростью передачи телефонных разговоров  $100 \times 9,6$  кбит/с.

Международные системы не являются функциональными элементами КСМ, однако должна быть предусмотрена возможность обмена данными, полученными этими системами и КСМ. Для этого целесообразно использовать СТСС, обеспечивающую ретрансляцию информации от наземных центров систем EOS, SPOT, LANDSAT, NOAA и других на технические средства потребителей КСМ [4; 8; 21].

Создание КСМ может осуществляться поэтапно. 1-й этап 1995—1998 г.; 2-й этап 1999—2004 г.; 3-й этап 2005—2008 г., что позволит уже в ближайшее время использовать информацию, получаемую с ее средств для решения задач охраны окружающей среды.

## *VI. Принципы обработки информации*

Важными компонентами КСМ являются технические средства пользователей на ведомственном (ГИАЦ), региональном (РИАЦ)

и локальном уровнях, в состав которых входят абонентские станции системы связи, вычислительные средства и программно-алгоритмическое обеспечение обработки информации. Учитывая многоуровневую систему потребителей информации можно выделить следующие уровни обработки данных: ведомственный, который использует информацию, необходимую для решения задач данного ведомства; региональный, на котором обрабатывается вся информация, характеризующая состояние природной среды в данном регионе; обработка информации, раздельно по датчикам различных типов: спектрометры, спектрорадиометры, аппаратура формирования моно- и многоспектральных изображений, фотоаппаратура, лидары, РЛС, РСА (см. рис. 8), а также комплексно по всем типам аппаратуры. Вместе с тем, технология обработки данных на каждом уровне должна быть схожей, чтобы можно было применять унифицированные программные и технические средства и реализовать модульный принцип наращивания мощностей ИАЦ различных уровней, обеспечивать единые принципы интерпретации результатов. Кроме того, целесообразно использовать единые форматы информации, обеспечивающие возможность обмена в том числе на международном уровне.

Структура обработки информации в типовом ИАЦ приведена на рис. 8. Данные от датчиков космической подсистемы поступают на средства обработки в виде временных рядов, цифровых или фотографических изображений или в виде распределений параметров по площади наблюдаемой поверхности. В зависимости от типа регистрации информация подвергается первичной обработке с помощью цифровых или оптико-цифровых средств. Алгоритмы и программы первичной обработки специфичны для каждого датчика. Они осуществляют перевод зарегистрированных сигналов в параметры измеряемых характеристик на входе приборов. После этого вида обработки информация поступает в банк данных для индексации, учета и хранения (рис. 8). Тематическая обработка космических данных осуществляется в интересах широкого круга потребителей, которые предъявляют различные требования к содержанию обработки и форме выдачи готовой продукции. Однако, как правило, на первом этапе производится подготовка информации и предварительная обработка: фильтрация; повышение контраста; выделение границ статистически однородных областей; цветовое (псевдоцветное) кодирование; градиентные преобразования; геометрические преобразования, трансформирование в заданную проекцию; поточечные операции над изображениями (сложение, вычитание, функциональные преобразования и т. п.); фрагментирование изображений; их синтез из фраг-

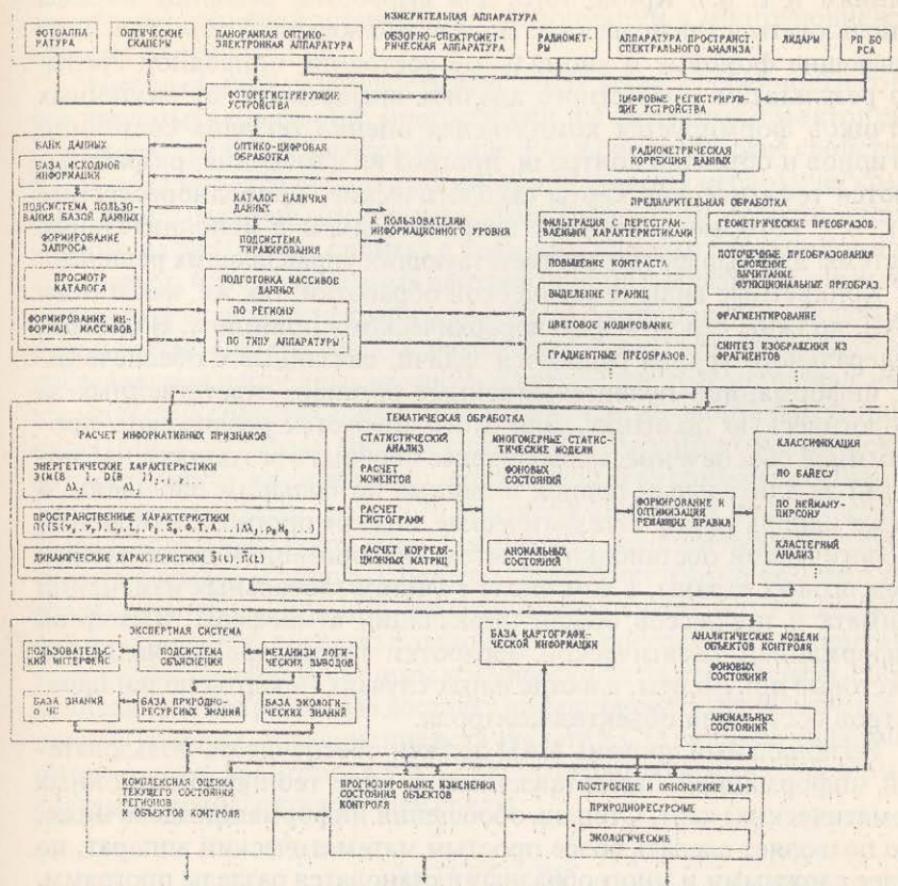


Рис. 8. Обработка информации в КСМ

ментов и т. д. После этого выполняются операции по вычислению информативных признаков объектов контроля (рис. 8): энергетических, характеризующих энергию излучения, поступающего на датчик; пространственных, описывающих их геометрические и топологические особенности; динамических, характеризующих изменение во времени энергетических и пространственных признаков [8], которые используются для составления и обновления тематических карт, классификации полученных результатов по различным критериям. Накапливаемые при обработке признаки после статистического анализа используются для построения статистических и аналитических моделей объектов. Для обеспечения эффективного анализа полученных данных должна использоваться экспертная система, имеющая базы знаний по различным отраслям (экологическим, природоресурсным, чрезвычайным си-

туациям и т. п.). Кроме того, для выработки решений должны использоваться аналитические модели наблюдаемых объектов, описывающие фоновые и аномальные состояния природной среды. По результатам совместного анализа информации от различных датчиков формируется комплексная оценка текущих состояний регионов и объектов контроля, прогноз их изменения, разрабатываются тематические карты (экологические, природноресурсные и т. п.), которые поступают потребителям и в исполнительные системы для выработки соответствующих управляющих решений.

Конкретные виды тематической обработки, так же, как и сами ИАЦ, должны строиться по иерархическому принципу. В центрах федерального уровня решаются задачи, связанные с обеспечением информацией правительственные органов, ответственных за экологическую политику. Для этого требуется реализовать программное обеспечение, позволяющее обобщать результаты наблюдений за длительный период и данные по большим площадям, а также использовать математические модели прогноза изменений экологической обстановки с учетом антропогенной деятельности в масштабах страны, в том числе с учетом глобальных изменений климата и процессов общей циркуляции атмосферы. Выходной информацией тематической обработки такого уровня являются текстовые документы, а в отдельных случаях — карты полей параметров состояния объектов контроля.

Региональный уровень ИАЦ должен обеспечивать пользователей информацией, представленной в виде геоинформационных (тематических) карт. Степень обобщения информации здесь ниже, что позволяет сделать более простым математический аппарат, но более сложными и многообразными становятся разделы программ, обеспечивающие расчет информативных признаков и их статистический анализ.

На локальном уровне состав программ тематической обработки может быть таким же как в региональных ИАЦ, но они должны быть реализованы на менее мощных вычислительных средствах. Это обусловлено существенным снижением требований к объемам обрабатываемых данных, масштабам и охватам исследуемых областей.

## VII. Заключение

Предложена концепция создания космической системы мониторинга (КСМ) территории страны, основанная на использовании теории сложных систем, главными признаками которых являются: разделимость на конечное число подсистем, каждая из которых состоит из взаимосвязанных элементов; подсистемы функционируют во взаимодействии под управлением одного из цент-

ральных элементов; их объединение осуществляется системой связи, обеспечивающей циркуляцию информации в многоуровневой системе потребителей.

Учитывая многоплановость решаемых задач, особенности контролируемых территорий, многообразие наблюдаемых объектов окружающей среды, их физико-химические и биологические свойства, КСМ предлагается строить по многоуровневому иерархическому принципу с различными космическими аппаратами, функционирующими на различных орbitах с широким классом дистанционной аппаратуры и сетью наземных центров приема и обработки данных в интересах различных потребителей. КСМ функционально включает в свой состав: систему гидрометеообеспечения «Планета-С»; систему исследования природных ресурсов «Ресурс»; многофункциональные космические средства «Алмаз»; долговременную орбитальную станцию («Мир», «Альфа»); систему контроля околоземного космического пространства; космические системы двойного применения (национального контроля, морского контроля «Легенда» и «Розмарин», глобального наблюдения «Око-1» и «Око-2», экологической безопасности в космосе «Сириус»); центральный пункт планирования и управления; информационно-аналитические центры различных уровней и технические средства пользователей с программно-алгоритмическим обеспечением; системы космической и наземной связи, обеспечивающие оперативную доставку информации потребителям различных уровней, объединение всех средств КСМ в единое информационное пространство, а также ее интеграцию в международные системы охраны окружающей среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gadd A. J. Scientific statements and the Rio Earth Summit // Weather. 1992. V.57, № 8. p. 294—315.
2. Rio reviews / Centre for Our Common Future, Geneva, 1992. 46 p.
3. Савин А. И. Принципы построения космических систем глобального наблюдения // Исследование Земли из космоса. 1993, № 1, с. 40—47.
4. Бондур В. Г., Савин А. И. Концепция создания систем мониторинга окружающей среды в экологических и природно-ресурсных целях // Исследование Земли из космоса. 1992, № 6, с. 70—78.
5. The International Geosphere — Biosphere Programme: F Study of Global Change (IGBP) A Plane for Action // IGBP Report. 1988, № 4, 200 p.
6. Программа биосферных и экологических исследований Академии наук СССР // Вестник АН СССР. 1988, № 11, с. 1—160.
7. Кондратьев К. Я. Тенденция развития наук об окружающей среде и дистанционное зондирование. Атмосфера и океан. // Исследование Земли из космоса. 1990, № 4, с. 113—123.
8. Савин А. И., Бондур В. Г., Лазарев А. И. Физические основы создания аэрокосмических систем мониторинга окружающей среды. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1994, 324 с.
9. П. Кронберг. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистан-

- ционных исследований в геологии: Перевод с немецкого, М.: Мир, 1988, 343 с.
10. Э. Шанда. Физические основы дистанционного зондирования: Перевод с английского, М.: Недра, 1990, 208 с.
11. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. Москва, Издательство АН СССР 1947, 138 с.
12. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1982, 215 с.
13. Чапурский Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400–2500 нм. МО СССР, 1986, 159 с.
14. Бондур В.Г. Оперативная дистанционная оценка состояния границы раздела атмосфера–океан по пространственным спектрам изображений. В книге «Оптико-метеорологические исследования земной атмосферы», Новосибирск, Наука, 1987, 22 с.
15. Бондур В.Г., Воляк К.И. Оптический пространственный спектральный анализ изображений морской поверхности. Исследования по гидрофизике. Тр. ФИАН СССР, Т. 156, М.: Наука, 1984, с. 63–78.
16. Аржененко Н.И., Бондур В.Г. Классификация облачных форм по пространственным спектрам изображений // Оптика атмосферы, 1988, т. 1, № 11, с. 38–45.
17. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Советское радио, 1973, 395 с.
18. Н.А. Арманд, Ф.В. Бункин, В.В. Витер, А.А. Галеев, Г.С. Голицын, Г.А. Ефремов, В.Е. Зуев, К.Я. Кондратьев, В.С. Эткин и др. Космические исследования Земли как экологической системы и воздействия человека на эту систему (программа «ЭКОС»). // Пр.-1876 ИКИ РАН, 1993 г., 45 с.
19. EOS Reference Handbook / NASA Goddard Space Flight Center. Greenbelt, MD. April 1991, 147 p.
20. Лазарев А.И., Бондур В.Г., Коптев Ю.И., Савин А.И., Севастьянов В.И. Космос открывает тайны Земли. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1993, 240 с.
21. Болотов С.М., Бондур В.Г., Савин А.И. Спутниковая система для мониторинга гелио-геофизической обстановки. Тезисы доклада на Международном конгрессе «Окружающая среда для нас и будущих поколений». Красноярск, 1993, 2 с.
22. Бондур В.Г., Савин А.И. Принципы моделирования полей сигналов на входе дистанционной аппаратуры аэрокосмических систем мониторинга окружающей среды // Исследование Земли из космоса. 1995, № 4, с. 3–11.