**«СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ СКАНИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ»**

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение

1. Принципиальная схема дистанционного зондирования

2. Аппаратура для аэрокосмических исследований

Литература

**ВВЕДЕНИЕ**

Материалы дистанционного зондирования (ДЗ) являются частью большой системы сбора, переработки, регистрации и использования данных. Правильно организованная система дистанционных исследований должна быть ориентирована на решение конкретных геологических задач, обусловливающих выбор орбит космических носителей, набор датчиков, характер сбора, переработки и передачи на наземные комплексы первичных данных и тип представляемых пользователю материалов.

**1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНИРОВАНИЯ**

На рис. 1 изображена упрощенная структурная схема системы ДЗ. Система состоит из нескольких взаимосвязанных элементов, или блоков.

Рис. 1. Структурная схема системы дистанционного зондирования

*Сцена* - это то, что находится перед датчиком; построение геологической модели сцены является в самом общем виде той целью, ради которой создается система. Изучение сцены на расстоянии возможно благодаря тому, что она обнаруживает себя в физических полях, которые могут быть измерены. Наиболее часто используются излученные или отраженные электромагнитные волны, в последнем случае необходим *источник освещения*, пассивный (например. Солнце) или активный (лазеры, радиолокаторы и др.). Физические поля измеряются *датчиками*, входящими в состав *высотного комплекса*, который кроме измерений служит для первичной обработки и передачи данных на Землю. Данные, закодированные в электромагнитном сигнале или записанные на твердотельные носители (фотопленки, магнитные ленты и пр.), доставляются в *наземный комплекс*, в котором происходит их прием, обработка, регистрация и хранение. После обработки данные обычно переписываются в кадровую форму и выдаются в качестве *материалов дистанционного зондирования*, которые по традиции называются космическими снимками. *Пользователь*, опираясь на внешнюю базу знаний, а также собственный опыт, интуицию, проводит анализ и интерпретацию материалов ДЗ и создает *геологическую модель* сцены, которая и является формой регистрации решения поставленной проблемы. Достоверность модели проверяется сопоставлением, или *идентификацией* модели и сцены; идентификация замыкает систему и делает ее пригодной для прикладного пользования.

Системы ДЗ разрабатываются в двух вариантах - ориентированныe на изображение и ориентированные на число. Первый вариант рассчитан на визуальное дешифрирование материалов ДЗ, которые в свзи с этим предоставляются пользователю в виде КС. Второй учитывает возможность автоматического (компьютерного) распознавания геологических и других образов. Образные и числовые варианты дистанционного зондирования дополняют друг друга. Несмотря на то, что технология автоматического распознавания образов появилась позже и связана с прогрессивным и дорогим техническим обеспечением, визуальный анализ и геологическая (экологическая) интерпретация КС сохраняют свое лидирующее положение. Чтобы понять причины этой ситуации, необходимо рассмотреть основные способы получения материалов дистанционного зондирования и сопоставить принципы, лежащие в основе автоматического и визуального дешифрирования МДЗ.

### Техника получения материалов дистанционного зондирования

#### При съемке земной поверхности существенную роль играет выбор орбиты полета ИСЗ. Для фотографирования Земли предпочтительными являются круговые орбиты, благодаря чему достигается одинаковыми масштаб снимков по всей трассе полета ИСЗ. Большое значение имеет наклонение орбиты - величина угла, образованного плоскостью экватора и плоскостью орбиты. В зависимости от наклонения орбиты бывают экваториальными (наклонение 0°), полярными (наклонение 90°) и наклонными. При запуске ИСЗ на полярные (или квазиполярные) орбиты бортовая аппаратура используется для исследования всей земной поверхности. При углах наклона орбит до 50-60° приполярные области не попадают в поле зрения бортовой аппаратуры.

#### Типы орбит датчиков дистанционного зондирования


#### Рис. 2. Зависимость зоны обзора дистанционного датчика от типа орбиты

Наклонение орбиты ИСЗ является важным параметром, так как определяет широтный пояс поверхности Земли, который подлежит фотографированию. Трасса полета ИСЗ не может выйти за пределы этого широтного пояса, поэтому от наклонения и высотыорбиты зависит ширина фотографической полосы. Здесь устанавливается прямая зависимость: чем больше угол наклона орбиты и чем больше ее высота, тем шире снимаемая полоса земной поверхности (рис.2). Помимо круговых орбит, по которым обычно летают метеорологические спутники, ПКК и орбитальные станции, для постоянного наблюдения за глобальными процессами на Земле используются эллиптические орбиты с большой разницей высот в апогее и перигее. По отношению к Солнцу или Земле выделяют два вида орбит - геосинхронную и гелиосинхронную.

Геосинхронные (геостационарные) орбиты предназначены для движения спутника вокруг Земли с угловой скоростью, равной скорости вращения Земли, что обусловливает зависание спутника над определенным участком земной поверхности и постоянное наблюдение за ним.

Гелиосинхронные орбиты предназначены для повторных съемок одних и тех же участков земной поверхности при одинаковых условиях освещения через равные промежутки времени. Примером может служить американский спутник "Лэндсат", летающий по гелиосинхронной орбите и возвращающийся в исходную точку съемки через 18 суток. Съемка с гелиосинхронных орбит может широко использоваться для изучения динамики современных геологических процессов.

#### Фотосъемки

Фотографическую съемку поверхности Земли с высот более 150 - 200км принято называть космической. Отличительной чертой КС является высокая степень обзорности, охват одним снимком больших площадей поверхности. В зависимости от типа применяемой аппаратуры и фотопленок, фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне электромагнитного спектра, в отдельных его зонах, а также в ближнем ИК (инфракрасном) диапазоне. Масштабы съемки зависят от двух важнейших параметров: высоты съемки и фокусного расстояния объектива. Космические фотоаппараты в зависимости от наклона оптической оси позволяют получать плановые и перспективные снимки земной поверхности.

В настоящее время используется фотоаппаратура с высоким разрешением, позволяющая получать КС с перекрытием 60% и более. Спектральный диапазон фотографирования охватывает видимую часть ближней инфракрасной зоны (до 0,86 мкм). Для съемки земной поверхности с ПКК используются фотографирующие системы следующих марок: КАТЭ-140, МКФ-6, ФМС и ДР. Фотографическая камера МКФ-6М имеет шесть спектральных каналов, работающих в следующих зонах спектра (мкм): 0,45- 0,50; 0,52-0,56; 0,58-0,62; 0,64-0,68; 0,70-0,74; 0,78-0,86. Изображение отличается высоким разрешением и может быть увеличено в несколько раз без потери информативности. Масштаб снимков, снятых с высоты 265 км, немногим мельче 1:2 000 000. Зональные снимки 1-4 каналов выдерживают увеличение до 60 раз и в таком увеличенном виде вполне пригодны для целей геологического дешифрирования. Снимки, полученные по пятому и шестому каналам, выдерживают увеличение только 10Х. Отметим, что фотографическая съемка - в настоящее время самый информативный вид съемки из космического пространства. Оптимальный размер отпечатка 18Х18 см, который, как показывает опыт, согласуется с физиологией человеческого зрения, позволяя видеть все изображение одновременно. Для удобства пользования из отдельных КС, имеющих перекрытия, монтируются фотосхемы (фотомозаики) или фотокарты с топографической привязкой опорных точек с точностью 0,1 мм и точнее. Для монтажа фотосхем используются только плановые КС. Для приведения разномасштабного, обычно перспективного КС к плановому используется специальный процесс, называемый трансформированием. Трансформированные КС с успехом используются для составления космофотосхем и космофотокарт и обычно легко привязываются к географической сетке координат.

#### Сканерные съемки

В настоящее время для съемок из космоса наиболее часто используются многоспектральные оптико-механические системы - сканеры, установленные на ИСЗ различного, назначения. При помощи сканеров формируются изображения, состоящие из множества отдельных, последовательно получаемых элементов. Термин "сканирование" обозначает развертку изображения при помощи сканирующего элемента (качающегося или вращающегося зеркала), поэлементно просматривающего местность поперек движения носителя и посылающего лучистый поток в объектив и далее на точечный датчик, преобразующий световой сигнал в электрический. Этот электрический сигнал поступает на приемные станции по каналам связи (рис.). Изображение местности получают непрерывно на ленте, составленной из полос - сканов, сложенных отдельными элементами - пикселами. Сканерные изображения можно получить во всех спектральных диапазонах, но особенно эффективным является видимый и ИК-диапазоны. При съемке земной поверхности с помощью сканирующих систем формируется изображение, каждому элементу которого соответствует яркость излучения участка, находящегося в пределах мгновенного поля зрения. Сканерное изображение - упорядоченный пакет яркостных данных, переданных по радиоканалам на Землю, которые фиксируются на магнитную ленту (в цифровом виде) и затем могут быть преобразованы в кадровую форму. В геологии используются материалы сканерных съемок с ИСЗ серии "Метеор". На этих спутниках установлены сканирующие устройства различной конструкции: с малым разрешением - МСУ-М, со средним разрешением - МСУ-С, с конической разверткой - МСУ-СК, с электронной разверткой - МСУ-Э (табл. 3).

Таблица

|  |  |
| --- | --- |
|  : | Технические характеристики сканирующих устройств |
| Параметры | МСУ-М | МСУ-С | МСУ-СК | МСУ-Э |
| Полоса обзора, км | 1930 | 1380 | 600 | 28 |
| Угол сканирования, град | 106 | 90 | 66,5 | 2,5 |
| Число элементов в активной части строки | 1880 | 5700 | 3614 | 1000 |
| Число спектральных каналов | 4 | 2 | 4 | 3 |
| Разрешение на местности по строке, км | 1 | 0,24 | 0,175 | 0,028 |
| Масса, кг | 4,5 | 5,5 | 47 | 17 |

Важнейшей характеристикой сканера являются угол сканирования (обзора) и мгновенный угол зрения, от величины которого зависят ширина снимаемой полосы и разрешение. В зависимости от величины этих углов сканеры делят на точные и обзорные. У точных сканеров угол сканирования уменьшают до ±5°, а у обзорных увеличивают до ±50°. Величина разрешения при этом обратно пропорциональна ширине снимаемой полосы.

Хорошо зарекомендовал себя сканер нового поколения, названный "тематическим картографом", которым были оснащены американские ИСЗ "Лэндсат-4 и -5". Сканер типа "тематический картограф" работает в семи диапазонах с разрешением 30 м в видимом диапазоне спектра и 120 м в ИК-диапазрне. Этот сканер дает большой поток информации, обработка которой требует большего времени; в связи с чем замедляется скорость передачи изображения. число пикселов на снимках достигает более 36 млн. на каждом из каналов. Сканирующие устройства могут быть использованы не только для получения изображений Земли, но и для измерения радиации - сканирующие радиометры - и излучения - сканирующие спектрометры.

#### Радарные съемки

Радиолокационная (РЛ) или радарная съемка - важнейший вид дистанционных исследований. Используется в условиях, когда непосредственное наблюдение поверхности планет затруднено различными природными условиями: плотной облачностью, туманом и т. п. Она может проводиться в темное время суток, поскольку является активной. Для радарной съемки обычно используются радиолокаторы бокового обзора (ЛБО), установленные на самолетах и ИСЗ.

С помощью ЛБО радиолокационная съемка осуществляется в радиодиапазоне электромагнитного спектра. Сущность съемки заключается в посылке радиосигнала, отражающегося по нормали от изучаемого объекта и фиксируемого на приемнике, установленном на борту носителя. Радиосигнал вырабатывается специальным генератором. Время возвращения его в приемник зависит от расстояния до изучаемого объекта. Этот принцип работы радиолокатора, фиксирующего различное время прохождения зондирующего импульса до объекта и обратно, используется для получения РЛ-снимков. Изображение формируется бегущим по строке световым пятном. Чем дальше объект, тем больше времени надо на прохождение отражаемого сигнала до его фиксации электронно-лучевой трубкой, совмещенной со специальной кинокамерой.

При дешифрировании радарных снимков следует учитывать тон изображения и его текстуру. Тоновые неоднородности РЛ-снимка зависят от литологических особенностей пород, размера их зернистости, устойчивости процессам выветривания. Тоновые неоднородности: могут варьировать от черного до светлого цвета. Опыт работы с РЛ-снимками показал, что черный тон соответствует гладким поверхностям, где, как правило, происходит почти полное отражение посланного радиосигнала. Крупные реки всегда имеют черный тон. Текстурные неоднородности РЛ-изображения зависят от степени расчлененности рельефа и могут быть тонкосетчатыми, полосчатыми, массивными и др. Полосчатая текстура РЛ-изображения, например, характерна для горных районов, сложенных часто чередующимися слоями осадочных или метаморфических пород, массивная - для районов развития интрузивных образований. Особенно хорошо получается на РЛ-снимках гидросеть. Она дешифрируется лучше, чем на фотоснимках. Высокое разрешение РЛ-съемки в районах, покрытых густой растительностью, открывает широкие перспективы ее использования. Во многих частях Земли, в частности в затаеженных районах Сибири, Я долине Амазонки и т. п.

Радарные системы бокового обзора с конца 70-х годов стали устанавливать на ИСЗ. Так, например, первый радиолокатор был установлен на американском спутнике "Сисат", предназначенном для изучения динамики океанических процессов. Позднее был сконструирован радар, испытанный во время полетов космического корабля "Шатл". Информация, полученная с помощью этого радара, представляется в виде черно-белых и ложноцветных синтезированных фото-, телеизображений или записей на магнитную ленту. Разрешающая способность 40 м. Информация поддается числовой и аналоговой обработке, такой же, что и сканерные снимки системы "Лэндсат". Это в значительной мере способствует получению высоких результатов дешифрирования. Во многих случаях РЛ-снимки оказываются геологически более информативными, чем снимки "Лэндсат". Наилучший результат достигается и при комплексном дешифрировании материалов того и другого видов. РЛ-снимки успешно используются для изучения трудно- или недоступных территорий Земли - пустынь и областей, расположенных в высоких широтах, а также поверхность других планет.

Классичесими уже стали результаты картирования поверхности Венеры - планеты, покрытой мощным облачным слоем. Совершенствование РЛ-аппаратуры должно повлечь за собой дальнейшее повышение роли радиолокации в дистанционных исследованиях Земли, особенно при изучении ее геологического строения.

#### Тепловые съемки

Инфракрасная (ИК), или тепловая, съемка основана на выявлении тепловых аномалий путем фиксации теплового излучения объектов Земли, обусловленного эндогенным теплом или солнечным излучением. 0на. широко применяется в геологии. Температурные неоднородности поверхности Земли возникают в результате неодинакового нагрева различных ее участков. Инфракрасный диапазон спектра электромагнитных колебаний условно делится на три части (в мкм):

* ближний (0,74-1,35),
* средний (1,35-3,50)
* дальний (3,50-1000).

Солнечное (внешнее) и эндогенное (внутреннее) тепло нагревает геологические объекты по-разному в зависимости от литологических свойств пород, тепловой инерции, влажности, альбедо и многих других причин. ИК-излучение, проходя через атмосферу, избирательно поглощается, в связи с чем тепловую съемку можно вести только в зоне расположения так называемых "окон прозрачности" - местах пропускания ИК-лучей. Опытным путем выделено четыре основных окна прозрачности (в мкм): 0,74-2,40; 3,40-4,20; 8,0-13,0; 30,0-80,0. Некоторые исследователи выделяют большее число окон прозрачности. в первом окне (до 0,84 мкм) используется отраженное солнечное излучение. Здесь можно применять специальные фотопленки и работать с красным фильтром. Съемка в этом диапазоне называется ИК-фотосъемкой.

В других окнах прозрачности работают измерительные приборы - тепловизоры, преобразующие невидимое ИК-излучение в видимое с помощью электроннолучевых трубок, фиксируя тепловые аномалии. На ИК-изображениях светлыми тонами фиксируются участки с низкими температурами, темными - с относительно более высокими. Яркость тона прямо пропорциональна интенсивности тепловой аномалии. ИК-съемку можно проводить в ночное время. На ИК-снимках, полученных с ИСЗ, четко вырисовывается береговая линия, гидрографическая сеть, ледовая обстановка, тепловые неоднородности водной среды, вулканическая деятельность и т. п. ИК-снимки используются для составления тепловых карт Земли. Линейно-полосовые тепловые аномалии, выявляемые при ИК-съемке, интерпретируются как зоны разломов, а площадные и концентрические - как тектонические или орографические структуры. Например, наложенные впадины Средней Азии, выполненные рыхлыми кайнозойскими отложениями, на ИК-снимках дешифрируются как площадные аномалии повышенной интенсивности. Особенно ценна информация, полученная в районах активной вулканической деятельности. В настоящее время накоплен опыт использования ИК-съемки для изучения дна шельфа. Этим методом по разнице температурных аномалий поверхности воды получены данные о строении рельефа дна. При этом использован принцип, согласно которому при одинаковом облучении поверхности воды на более глубоких участках водных масс энергии на нагревание расходуется больше, чем на более мелких. В результате температура поверхности воды над более глубокими участками будет ниже, чем над мелкими. Этот принцип позволяет на ИК-изображениях выделять положительные и отрицательные формы рельефа, подводные долины, банки, гряды и т. п. ИК-съемка в настоящее время применяется для решения специальных задач, особенно при экологических исследованиях, поисках подземных вод и в инженерной геологии.

#### Спектрометрическая съемка

Спектрометрическая (СМ) съемка проводится с целью измерения отражательной способности горных пород. Знание значений коэффициента спектральной яркости горных пород расширяет возможности реологического дешифрирования, придает ему большую достоверность. Горные породы имеют различную отражательную способность, поэтому отличаются величиной коэффициента спектральной яркости. СМ-съемка делится на три вида:

1. микроволновая (0,3 см-1,0 м), являющаяся универсальной, Лак. как исключает влияние атмосферы;
2. ИК или тепловая (0,30-1000 мкм), выявляющая температур-иые неоднородности по энергетической яркости изучаемых объектов;
3. спектрометрия видимого и близкого ИК-спектра излучения ;(0,30-1,40 мкм), фиксирующая спектральное распределение отражательного радиационного излучения.

Геологические объекты отражаются на КС с разной степенью контраста, зависящего от их спектральных особенностей. Работа по составлению банка данных о спектральных характеристиках горных пород чрезвычайно трудоемка. Для того чтобы ее выполнить, необходимо произвести спектрометрические измерения горных пород, а также иных ландшафтных объектов, на разных расстояниях, в различные времена года, на участках с различной степенью обнаженности. Эти данные, однако, являются совершенно необходимыми для систем автоматического поиска и распознавания объектов, в том числе и экологического содержания. В настоящее время увеличение пограничных контрастов достигается использованием многозональных снимков, полученных в относительно узких зонах спектра.

#### Лидарные съемки

Лидарная съемка является активной и основана на непрерывном получении отклика от отражающей поверхности, подсвечиваемой лазерным монохроматическим излучением с фиксированной длиной волны. Частота излучателя настраивается на резонансные частоты поглощения сканируемого компонента (например приповерхностного метана), так что в случае его заметных концентраций соотношение откликов в точках концентрирования и в вне их будут резко повышенными. Фактически - лидарная спектрометрия это геохимическая съемка приповерхностных слоев атмосферы, ориентированная на обнаружение микроэлементов или их соединений, концентрирующихся над современно активными геоэкологическими объектами. Устройства лидарной съемки оборудуются на низковысотных носителях. [1-9]

**Газовый состав атмосферы**

Предпринятые ранее измерения общего содержания водяного пара в марсианской атмосфере обнаружили, что водяной пар появляется в середине лета соответствующего полушария и его содержание становится максимальным примерно через два месяца, достигая 50 мкм при характерных горизонтальных масштабах порядка 103 км (наибольшее влагосодержание атмосферы наблюдается в умеренных широтах). Рассматриваемые наблюдения охватывают южное (сухое) полушарие и северные широты до 20° при наличии нескольких изолированных серий измерений в полосе 40—50° с. ш. Прибор, предназначенный для определения общего влагосодержания (датчик водяного пара на Марсе — ДВПМ), представляет собой спектрометр с дифракционной решеткой, функционирующей в 7200 см-1 (1,4 мкм) полосе поглощения водяного пара при спектральном разрешении 1,2 см-1, что позволяет обеспечить измерения влагосодержаний меньше 1 мкм атм. ДВПМ обычно работает как пятиканальный радиометр, три канала которого расположены вблизи центра полосы (7223, 13; 7232, 20; 7242,74 см-1), а два — в окнах прозрачности. Приемниками излучения для всех каналов служат радиационно охлаждаемые сернисто-свинцовые фотосопротивления. Иногда осуществлялось сканирование по частоте с целью измерений спектрального распределения излучения в диапазоне 7215—7251 см-1. Поле зрения ДВПМ составляет 2x16 мрад, что соответствует «пятну» на местности 3X24 км при высоте периапсиса 1500 км. За счет ступенчатого сканирования на 15 шагов вдоль короткой стороны поля зрения достигается охват площади около 20X45 км (в периапсисе) за период сканирования 4,48 с.

Наличие данных пятиканальных измерений позволяет определить не только общее влагосодержание, но также температуру и атмосферное давление вблизи уровня «центра тяжести» слоя водяного пара. Данные наблюдений свидетельствуют об очень малом влагосодержаний (0—30 мкм) марсианской атмосферы в южном полушарии и постепенном увеличении влагосодержания при перемещении в северное полушарие. Максимальные значения достигали 20—30 мкм, причем наибольшее значение (30 мкм) зарегистрировано в районе *Elysium Amazonis* при измерениях перед выводом АМС на орбиту вокруг Марса. Большой интерес представляют наблюдения дневного хода влагосодержания, отражающие особенности фазовых превращений воды в течение суточного цикла. Условия наблюдений позволили осуществить слежение за вариациями влагосодержания с рассвета до полудня в трех точках: 10,83° с. ш., 15,69° ю. ш. и 17,77° ю. ш. Для первой из этих точек обнаружена регулярная воспроизводимость дневного хода с максимумом влагосодержания в местный полдень. Наблюдаются различия в дневном ходе для разных точек планеты. Водяной пар располагается близко к поверхности планеты и, по-видимому, находится в насыщающем равновесии по отношению к приповерхностной дымке или туману в течение большей части дня. По меньшей мере 80% водяного пара должно переходить в твердую фазу в период между полуднем и последующими утренними сумерками.

Общее содержание водяного пара оказалось максимальным в полосе 70—80° с. ш., а его абсолютные значения выше когда-либо наблюдавшихся ранее. Широтный профиль общего содержания водяного пара на 180° з. д. характеризуется возрастанием от нулевых значений в южном полушарии до 70—80 мкм в полосе 70—80° с. ш. и несколько убывает (до 55 мкм) вблизи Северного полюса (точность отдельных измерений составляет 10—15%, а средних значений ±4%). Аналогичные результаты дало построение меридиональных профилей для других долгот.

Столь значительное влагосодержание атмосферы предполагает наличие у поверхности планеты таких высоких температур (>204 К), которые не допускают сохранение полярной шапки из твердой углекислоты (в этом случае температура должна быть равна 150 К). Отсюда вытекает, что доминирующим компонентом летней остаточной северной полярной шапки является лед. Грубая оценка толщины периферийной части ледового покрова полярной шапки приводит к значениям порядка 1—2 км. Толщина льда в центральной (сплошной) части полярной шапки должна быть такой же или большей.

Поскольку содержание водяного пара в атмосфере Марса очень мало, весьма вероятно, что мощным резервуаром водяного льда является планетарный реголит. Важной целью дальнейших исследований должно стать выяснение вопроса о том, является ли этот полярный резервуар в настоящее время суммарным источником или стоком атмосферного водяного пара на протяжении промежутков времени больше марсианского года.

В работе [86] рассмотрены результаты измерений состава и структурных параметров марсианской атмосферы, осуществленных при входе СА «Викинг-1» в атмосферу планеты 20 июля 1976 г. Состав атмосферы на высотах более 100 км измерялся при помощи масс-спектрометра для нейтральных газовых компонентов в диапазоне масс 1—50. Для измерений параметров ионосферы служил анализатор с замедляющим потенциалом (АЗП), позволяющий измерять температуру, состав и концентрацию ионов, а также энергетический спектр электронов (главной целью было в данном случае изучение взаимодействия солнечного ветра с верхней атмосферой). Датчики давления, температуры и ускорения предназначались для измерений на высотах ниже 100 км. Эта аппаратура вместе с гироскопом и радарным альтиметром орбитального отсека дала возможность получить вертикальные профили плотности, давления, температуры и ветра в широком диапазоне высот.

Анализ данных масс-спектрометра для высоты 135 км выявляет наличие отчетливых пиков при массах 40 и 20, свидетельствующих о наличии аргона. Оценка его отношения смеси (относительно СО2) дала значение около 0,015 по объему, которое сильно расходится с данными АМС «Марс-6», приведшими к отношению смеси 0,35±0,10 [5, 12]. По-видимому, отношение смеси 40Ar в нижних слоях марсианской атмосферы не может быть столь высоким и не превышает 0,01—0,02.

Хотя следует, естественно, отдать предпочтение данным прямых измерений, необходимо упомянуть, что, на основе анализа имеющихся данных спектроскопических и радиорефракционных измерений, результаты прямых измерений на СА «Марс-6» не противоречат этим данным. Если исходить из радиорефракционных данных, наличие 25% аргона вызывает возрастание давления у поверхности на 0,5 мбар. Присутствие значительного количества аргона в марсианской атмосфере является одним из аргументов в пользу гипотезы о возможности существенно иного климата в геологическом прошлом Марса при атмосферном давлении 0,1 — 1 атм, более высокой температуре и наличии водных бассейнов.

Полученный по данным СА «Викинг-1» пик при массе 28 отображает вклад СО2+, образующегося в результате ионизации СО2 и СО, в дополнение к N2+ который является продуктом ионизации N2. Отношение смеси молекулярного азота (относительно СО2) составляет около 0,06. Предварительная экстраполяция этих данных на более низкие высоты приводит к отношениям смеси порядка 0,02—0,03. На больших высотах отношение смеси молекулярного азота возрастает, вследствие влияния диффузионного разделения.

Оценка отношения смеси О2 по пику массы 32 дает значение около 0,003 на высоте 135 км. Пик при массе 16 указывает на присутствие измеримых количеств атомарного кислорода. Соотношения концентраций изотопов 18О/16О и 13С/12С близки к их земным значениям. Анализ вертикальных профилей концентрации СО2, Аr, N2 и О2 в слое 140—190 км приводит к оценке средней температуры 180±20 К. Заметное проявление диффузионного разделения газов на высотах более 140 км свидетельствует о том, что существенное влияние перемешивания в атмосфере ограничивается этим уровнем.

Данные АЗП для высоты 130 км указывают на то, что главным компонентом марсианской ионосферы является О2+ (этот важный результат является новым), а концентрация СО2+ оказывается примерно в 9 раз меньшей. Ионная температура составляет около 160 К, что согласуется с результатами масс-спектрометрических измерений. Полученные данные свидетельствуют о ведущем значении для ионосферы реакции: СО2++O → + О2+.

Измерения в нижних слоях атмосферы привели к давлению у поверхности планеты в точке посадки СА, равному 7,3 мбар (точка посадки на 2,9 км выше среднего уровня марсианской поверхности, которому соответствует давление 6,1 мбар) и температуре 241К при вертикальном градиенте температуры в приповерхностном слое, составляющем 3,7 К/км. Плотность воздуха, оцененная по скорости парашютирования, равна 0,0136 кг/м3 на высоте 2,7 км, что указывает на преимущественно углекислотный состав атмосферы. В слое 25—90 км температура варьирует в пределах 120—165К при наличии пиков на высотах 30 и 64 км, а выше 140 км плавно переходит в зону температур, полученную по данным масс-спектрометра.

Осуществленный в работах предварительный анализ изотопного состава марсианской атмосферы по данным измерений при помощи масс-спектрометра для нейтральных частиц на высотах 100—200 км во время спуска СА «Викинга-1» привел к выводу, что в атмосфере преобладает СО2 при наличии следов N2, Ar, О2, СО и О. Относительное содержание изотопов кислорода и углерода оказалось примерно таким же, как в земной атмосфере.

Рассматриваемый анализ привел к значениям 180/160 = 0,0020 + 0,0001 или 0,0021 + 0,0002. Так как для земной атмосферы соответствующее среднее значение составляет 0,00204, то марсианская атмосфера не может быть в сколько-нибудь существенной степени обогащена 18О по сравнению с земной атмосферой (вероятнее всего, что подобное обогащение не превосходит 3%). Аналогичная ситуация имеет место в отношении 13С. Однако отношение концентраций 15N/14N = 0,0064 ± 0,001 тогда как в условиях земной атмосферы это отношение равно 0,00368.

Отсюда вытекает, что марсианская атмосфера обогащена изотопом 15N по сравнению с земной примерно на 75%. По-видимому, это обогащение обусловлено повышенной диссипацией атомов 14N из верхней атмосферы Марса. Оценка коэффициента диффузии с учетом такого предположения дала значение 108 см2/с, согласующееся с полученными ранее результатами. Следует считать вероятным, что содержание молекулярного азота в марсианской атмосфере в геологическом прошлом было значительно более высоким, обеспечивая парциальное давление не менее 2 мбар.

Аналогичный анализ, относящийся к изотопам кислорода, привел к выводу о необходимости существования очень мощного источника кислорода. Обогащение изотопом 18О, составляющее менее 3%, требует обмена углекислым газом или водяным паром между подповерхностным резервуаром и атмосферой, который предполагает содержание этих газовых компонентов, эквивалентное давлению не менее 2 бар.

При помощи масс-спектрометра, установленного на СА «Викинг-1» и предназначавшегося (в сочетании с газовым хроматографом) прежде всего для определения состава органических компонентов почвы, Оуэн и Биманн [90] выполнили анализ химического состава атмосферы. В течение четвертых и пятых суток после посадки сделано шесть серий измерений через интервалы времени около 6 часов. Первые четыре серии выполнены после удаления СО и СО2 (СО2+ как продукт этих компонентов затрудняет анализ на молекулярный азот), а остальные две серии — с непосредственными пробами воздуха. В табл. 7 представлены осредненные по пяти сериям результаты измерений (третья серия оказалась неудачной).

Таблица

**Предварительные данные о составе атмосферы у поверхности Марса**

|  |  |
| --- | --- |
| Компонент | Содержание, % |
| Углекислый газ Кислород Азот Аргон Отношение 36Аг/40Аг | 95 0,1-0,4 2-3 1-2 1:2752 ±500 |

Отсюда видно, что измеренное содержание азота согласуется с полученной ранее оценкой и данными измерений во время спуска СА. Концентрация аргона значительно превышает обнаруженную по данным АМС «Марс-6», не согласуется с результатами измерений во время спуска. Содержание 36Аr оказалось примерно в 10 раз меньшим, чем в земных условиях. Окись углерода не была обнаружена, ввиду ее малой концентрации, находящейся за пределом чувствительности масс-спектрометра. По данным для пиков масс при 44, 45 и 46 обнаружены концентрации 13С и 18О, оказавшиеся близкими к земным значениям.

Установленный на спускаемом аппарате АМС «Викинг-1» рентгеновский флуоресцентный спектрометр, который был предназначен для элементного анализа марсианского грунта, использовался также с целью измерений содержания некоторых газовых компонентов атмосферы[14]. Особое внимание привлекала задача определения концентрации аргона. Измерения привели к выводу, что парциальное давление аргона не превосходит 0,15 мбар (доверительный уровень составляет 95%). Если учесть, что атмосферное давление в точке посадки составляло 7,7 мбар, это приводит к относительной объемной концентрации аргона, составляющей 2%, что хорошо согласуется с данными масс-спектрометрических измерений на СА. По-видимому, аргон имеет преимущественно радиогенное происхождение, являясь продуктом распада 40К. В связи с этим важное значение имеет определение содержания калия в марсианском грунте.

В течение августа 1976 г. при помощи масс-спектрометра, установленного на СА «Викинг-1», продолжались измерения относительного содержания изотопов аргона, углерода, кислорода и азота, а также предприняты поиски других малых компонентов, особенно благородных газов. Производились анализы как непосредственно взятых, так и обогащенных (путем удаления СО и СО2) проб атмосферы, что позволяло повысить относительную концентрацию малых компонентов в 8,5 раза.

Таблица

**Изотопные отношения в марсианской и земной атмосферах**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Компонент | Марс | Земля |
| 15N/14N 13C/12C 18O/16O 36А/38А | 0,0064-0,0050 0,0118±0,0012 0,00189±0,0002 4-7 | 0,00363 0,0112 0,00204 5,3 |

В табл. 8 представлены результаты измерений изотопных отношений в сопоставлении с данными для земной атмосферы, свидетельствующие о более высокой концентрации 15N в марсианской атмосфере по сравнению с земной (эти результаты могут быть, однако, недостаточно точны, ввиду возможного влияния десорбции 13СО в приборе). Недостаточно надежны и данные по аргону, которые следует рассматривать лишь как обнаружившие изотопное отношение, близкое к земному. Попытка обнаружения метана, неона, криптона и ксенона не дала положительного результата.

Измерения на СА «Викинг-2» с обогащением образцов воздуха в 10 раз позволили определить содержание криптона и ксенона, выявив, что криптон присутствует в бóльших количествах, чем ксенон. Относительное содержание различных изотопов криптона близко соответствует земным значениям, но отношение концентрации ксенона-129 и ксенона-132 оказалось более высоким, чем в земной атмосфере.

Полученные результаты позволяют считать мало вероятным, что Марс мог иметь в прошлом массивную первоначальную атмосферу, которая была затем постепенно «сдута» солнечным ветром, так как в противном случае отношение концентраций 36Аr и криптона должно быть гораздо меньшим, чем в земной атмосфере, поскольку «сдувание» аргона более эффективно, чем криптона. Обнаруженная в атмосфере Марса низкая концентрация аргона свидетельствует об одной из следующих возможностей: 1) на Марсе в период его формирования имело место пониженное содержание летучих компонентов (это, однако, мало вероятно, ввиду близости планеты к Солнцу); 2) значительная часть первоначальной атмосферы планеты подвергалась «сдуванию» солнечным ветром, в процессе которого происходило изменение состава атмосферы; 3) на Марсе не было такой интенсивной дегазации твердой оболочки планеты, как на Земле. Последняя возможность является наиболее вероятной.

Важное значение имеет факт преобладания криптона над ксеноном в марсианской атмосфере (аналогичная ситуация наблюдается в земной атмосфере), тогда как обратное справедливо для состава протопланетной газовой компоненты обычных или карбонатных хондритов. В связи с этим можно предположить, что на Марсе происходил подобный земному процесс преимущественной адсорбции ксенона, выделившегося при дегазации осадочными породами. Возможно, что подобный процесс имел место на Марсе в периоды флювиальной эрозии. Альтернативное (или дополнительное) предположение состоит в том, что ксенон был поглощен реголитом.

Низкая концентрация аргона свидетельствует о необходимости внести поправки в оценки концентрации других летучих компонентов, основанные на предположении о высоком содержании аргона. Однако малое по сравнению с земным отношение концентрации изотопов аргона указывает, по-видимому, на большую сложность процессов дегазации на Марсе, чем это предполагается по аналогии с Землей.

Можно считать, что Марс и Земля имеют, в целом, сходный состав и поэтому продукция газов осуществляется в одинаковых пропорциях, но дегазация и выветривание были на Марсе гораздо менее полными. Значительная часть летучих компонентов могла быть захвачена слоями вечной мерзлоты (Н2О), полярными шапками (Н2О, СО2), химически связана в грунте (нитраты, окислы, карбонаты) или диссипировала. Если принять такую гипотезу, то из нее вытекает, что масса марсианской атмосферы в прошлом не могла превышать современную более, чем в 10 раз, т. е. давление у поверхности не превосходило 100 мбар. Существование огромных количеств «погребенных» СО2 и Н2О допускает, однако, возможность циклических или эпизодических вариаций климата, которые могли обусловить появление флювиальных структур рельефа.[1, 14-17]

**Структурные параметры**

Измерения на участке входа СА в марсианскую атмосферу позволили получить сведения о вертикальных профилях структурных параметров. Вход СА «Викинг-2» (САВ-2) в атмосферу Марса произошел 3 сентября 1976 г. около 15 ч 49 м по тихоокеанскому дневному времени, что соответствует местному утру. Структура марсианской атмосферы утром на высотах до 100 км, определенная по данным акселерометрических (на высотах более 25 км) и прямых (парашютный спуск) измерений во время входа СА в атмосферу, характеризуется наличием почти изотермического слоя 1,5—4 км вблизи поверхности планеты с вертикальным градиентом температуры не более 1,3 К/км на высотах, превосходящих 2,5 км. Вертикальный градиент температуры в слое 5—19 км ниже адиабатического и равен 1,8 К/км, а в вышележащей толще атмосферы наблюдается волнообразный ход температуры.

Различие по сравнению с данными САВ-1, согласно которым вертикальный градиент температуры составляет 3,7 К/км, обусловлено влиянием суточного хода (данные САВ-1 относятся к послеполуденному времени). Атмосферное давление у поверхности оказалось примерно на 10% выше (7,75 мбар) зарегистрированного в тот же момент времени в точке посадки СА «Викинг-1» (6,98 мбар). Это определяется тем фактом, что САВ-2 совершил посадку в точке, находящейся на уровне, который на 2,7 км ниже отсчетного уровня марсианского эллипсоида (уровня 6,1 мбар поверхности) и примерно на 0,96—1,20 км ниже уровня САВ-1. Плотность воздуха у поверхности равна 0,0180 кг/м3. Полученный вертикальный профиль температуры на высотах до 100 км согласуется (по крайней мере, качественно) с данными, найденными ранее на основе использования модели тепловых приливов.

Для изменения температуры с высотой характерен волнообразный характер при амплитуде волны, возрастающей примерно до 25 К на высоте 90 км. Вертикальные длины волн (расстояния между экстремумами) варьируют в пределах 17—23 км (теоретические расчеты приводят к значениям, равным 22—24 км). По-видимому, подобные волны являются следствием слоистой структуры вертикальных осцилляции и связаны с нагреванием и охлаждением, обусловленными сжатием и расширением (требуемый коэффициент сжатия на высотах меньше 80 км должен варьировать в пределах 0,80—1,26). Последние определяются влиянием суточного хода температуры поверхности планеты.

Как это необходимо для распространения гравитационных волн, атмосфера устойчива к конвекции, за исключением, возможно, некоторых участков планеты. В обеих точках посадки СА температура атмосферы везде существенно выше уровня конденсации углекислого газа, что исключает возможность формирования дымки из сухого льда летом в северном полушарии по крайней мере до 50° с. ш. Следует, таким образом, считать, что наблюдаемый на этих широтах приповерхностный туман состоит из конденсата водяного пара.

По данным масс-спектрометрических измерений плотности углекислого газа во время снижения СА «Викинг-1, -2» (САВ-1 и САВ-2) рассчитаны вертикальные профили температуры на высотах 120—200 км. Расчеты сделаны на основе барометрической формулы с применением итерационной схемы, предусматривающей послойное определение температуры, начиная с уровня верхней границы, где атмосфера первоначально предполагается изотермической в пределах интервала высот, охватываемого первыми двумя точками измерений. Вертикальные профили температуры восстановлены независимо по ионным пикам, соответствующим массовым числам 44, 22 и 12, что позволяет оценить точность определения температуры.

В обоих случаях (САВ-1 и САВ-2) вертикальные профили температуры имеют волнообразную структуру на высотах более 30 км (для сравнения использованы данные, относящиеся к высотам 0—100 км), причем амплитуда волны возрастает с высотой в слое 50—120 км. В нескольких интервалах высот вертикальный градиент температуры близок к адиабатическому. В случае данных САВ-1 волновая структура профиля температуры может быть обусловлена влиянием суточного прилива. Амплитуда волны меньше в районе снижения САВ-2, что, вероятно, связано с более высокой широтой этого района.

Полученные значения температуры термосферы Марса значительно ниже (<200 К), чем найденные ранее по данным измерений УФ свечения атмосферы с АМС «Маринер-6, -7, -9». Это можно объяснить как влиянием расстояния до Солнца (измерения на CAB сделаны в период, когда Марс был близок к апогею при расстоянии около 1,64 а. е., тогда как АМС «Маринер» функционировали при положении планеты, близком к перигелию при расстоянии около 1,43 а. е.), так и различиями потока энергии, переносимого приливами из нижней атмосферы в верхнюю.

Данные САВ-2 обнаруживают неожиданное возрастание температуры выше 170 км, достоверность которого требует тщательной проверки. Сравнение вычисленных по барометрической формуле вертикальных профилей концентрации аргона и азота с измеренными позволило оценить коэффициент турбулентного перемешивания на различных высотах, варьирующий от 2,1—5,0Х 107 см2/с на уровне 100 км до 1,2—4,2— 109 см2/с на высоте 170 км. Модельные расчеты вертикальных профилей концентрации СО, NO и О2 обнаружили хорошее согласие с результатами измерений.

Построена модель марсианской ионосферы, соответствующая данным САВ-2. Анализ рассматриваемых данных привел к выводу, что отношения смеси азота, аргона и кислорода в основной толще атмосферы равны 2,4 · 10-2; 1,5 · 10-2 и 1,6 · 10-3, соответственно. Верхняя атмосфера обогащена окисью углерода и азота по сравнению с нижней, где отношения смеси этих компонент составляют около 8·10-4 и 10-8—10-9.

**2**. **АППАРАТУРА ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### Научная аппаратура модуля 77КСИ "Природа" "Алиса"

Научная аппаратура (НА) "Алиса" является лидаром (лазерным локатором атмосферных образований), установленным в модуле "Природа" и предназначенным для геофизических исследований из космоса:

* определения верхней границы облачного слоя;
* измерения вертикального распределения атмосферного аэрозоля;
* возможного измерения аэрозолей спорадического происхождения.

НА работает в комплексе с радиометром "Исток" и наземными станциями.

НА расположена в ПГО-3 модуля "Природа" и работает через иллюминатор №2. НА состоит из собственно лидара и системы охлаждения СВТ.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Вертикальное разрешение, м | 150 |
| Горизонтальное разрешение, м | 200 |
| Длина волны излучателя, нм | 532 |
| Частота импульсов, Гц | 50 |
| Срок службы, час | 20-100 |
| Напряжение питания, В | 27 |
| Рабочий ток, А | 100 |
| Мощность СВТ, Вт | 105 |
| Масса СВТ, кг | 42,7 |
| Ресурс СВТ, лет | 3 |

**ДК-33**

Прибор ДК-33 предназначен для измерения быстропеременных и стационарных полей яркости в спектральном диапазоне от 120 до 1100 нм и исследования их влияния на служебную и научную оптическую аппаратуру. В УФ-диапазоне такие измерения проводятся впервые.

Блеск отдельных частиц определяется по приведенной к полю зрения эквивалентной яркости фона. Целевым назначением прибора ДК-33 является фотометрический контроль состояния окружающей среды в зоне служебной и научной оптической аппаратуры и полезного груза на всех этапах НИ изделия.

Прибор четырехканальный; характеристики применяемых каналов приведены в таблице:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № канала | Спектральный диапазон, нм | Диапазон яркостей, Вт/м\*стр. |
| 1 | 120-180 | 10-7-10-2 |
| 2 | 180-350 | 10-7-10-2 |
| 3 | 350-600 | 7,5\*10-7-7,5\*10-2 |
| 4 | 400-1100 | 7,5\*10-7-7,5\*10-1 |

Прибор состоит из двух блоков:

* приемного устройства (устанавливается снаружи);
* блока электроники (внутри ГО).

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Напряжение питания, В | 27 |
| Время готовности к работе, мин | 1 |
| Масса, кг | 17 |
| Ресурс работы, час | 1000 |
| Время непрерывной работы, час | 36 |
| Потребляемая мощность, Вт | 20 |
| Диапазон рабочих температур, 0С | 0-40 |

**"Икар-Дельта"**

Радиометрический комплекс "Икар-Дельта" предназначен для измерения амплитудного и пространственного распределения собственного радиотеплового излучения земной поверхности в микроволновом диапазоне с целью определения следующих характеристик атмосферы, океана и суши:

* положения и изменчивости основных фронтальных зон Северной Атлантики: зоны течения системы Гольфстрим, Северо-Атлантического течения, струйных течений тропической зоны Атлантического океана;
* положения, интенсивности и направления перемещений крупномасштабных температурных аномалий, локализованных в верхних слоях океана;
* параметров снежного и ледового покрова;
* водозапасов облаков и интегральных параметров атмосферы;
* границ зон осадков;
* приводной скорости ветра;
* распределения температуры воздуха.

Состав комплекса.

* радиометр "Дельта-2П" 1шт.
* радиометр "Икар-ИП" 1 шт.
* радиометр поляризационный РП-225 3 шт.
* сканирующая двухполяризационная радиометрическая система Р-400 1 шт.
* радиометр РП-600 6 шт.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование | Значение |
| Рабочие длины волн, см | 0,3/0,8/1,35/2,25/4/6 |
| Напряжение питания, В | 27 |
| Мощность, ВА | 600 |
| Время установления рабочего режима, мин | 30 |
| Время непрерывной работы, час | 7 |
| Ресурс, час | 1500 |
| Масса, кг | 400 |

**"Индикатор"**

Аппаратура "Индикатор" предназначена для контроля параметров собственной внешней атмосферы ОС. Аппаратура применяется для измерения плотности (общего давления) СВА, потока заряженных частиц и интенсивности набегающего потока.

Аппаратура "Индикатор" состоит из:

* блока входного преобразователя с собственным датчиком, установленным на внешней поверхности изделия;
* блока управления, установленного в ГО.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Общие габариты БВП, мм | 270х130х160 |
| Масса БВП, кг | 35 |
| Общие габариты БУ, мм | 204х200х140 |
| Масса БУ, кг | 2 |
| Потребляемая мощность, Вт | 20 |
| Время непрерывной работы, час | 24 |
| Перерыв, час | 2 |
| Ресурс, лет | 10 |

**Ионозонд** (Институт прикладной геофизики).

Ионозонд представляет собой комплекс бортовых и наземных средств для обеспечения глобального мониторинга околоземного космического пространства методом радиозондирования атмосферы Земли с низкоорбитальных пилотируемых объектов.

Состав аппаратуры:

* аппаратура Ионозонда на модуле "Природа";
* система телекоммуникационного контроля и управления "Сигма";
* наземные ионосферные станции в городах Ростов-на-Дону и Нарофоминск.

Назначение аппаратуры Ионозонда.

Предназначена для импульсного зондирования внешней атмосферы с целью получения оперативной информации о ее состоянии.

Управление аппаратурой Ионозонда и съем контрольной телеметрической информации осуществляется через ПЭВМ-КСИ и ПАО-КСИ из состава СТКУ "Сигма".

Состав аппаратуры Ионозонда:

1. аппаратура АИ 804:

- АИ 011 – приемопередатчик, предназначенный для формирования зондирующих сигналов и приема отраженного от ионосферы сигнала;

- АИ 502 – блок цифровой обработки, предназначенный для кодирования и преобразования информации с последующей передачей в СТКУ:

1. аналоговый передатчик СОРС-Д, работающий на частоте 137 МГц и предназначенный для передачи на Землю комплексного видеосигнала в аналоговом виде в зоне радиовидимости наземных ионостанций:
2. антенна Ионозонда.

Ограничения:

* время непрерывной работы не более 60 мин;
* перерыв в работе не менее 25 мин.

**"Исток-1"**

ИК спектрометрическая система "Исток-1" предназначена для измерения спектров собственного теплового излучения атмосферы и подстилающей поверхности при различных углах наблюдения, ИК спектров пропускания атмосферы и углов рефракции видимого излучения в режиме слежения за Солнцем для определения в составе атмосферы содержания озона, углекислого газа, паров воды, закиси азота, метана и азотной кислоты.

Состав КНА "Исток-1".

* инфракрасный спектрорадиометр (ИКСР)
* электронное визирующее устройство (ЭВУ)
* бортовое вычислительное устройство (БВУ)
* автоматически стабилизируемая платформа (АСП)
* калибровочный источник спектрорадиометра (КИС)
* контрольный источник ЭВУ

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Масса системы | 180 кг |
| Потребляемая мощность: |   |
| ИКСР | 140 Вт |
| ЭВУ | 13 Вт |
| АСП | 180 Вт |
| БВУ | 25 Вт |
| Ресурс системы | 700 ч |
| Время непрерывной работы | 1,5 ч |

**"МОЗ-Обзор"**

Аппаратура "МОЗ-Обзор" предназначена для регистрации отраженного от поверхности Земли и атмосферы излучения Солнца в видимой и ближней ИК областях спектра с последующей передачей этой информации в виде цифровых массивов в ТМ систему.

Аппаратура может работать в ручном и автоматическом режимах.

Аппаратура "МОЗ-Обзор" состоит из следующих приборов:

* МОЗ - модульный оптико-электронный сканер, включающий в себя оптико-электронный блок, устанавливаемый на иллюминатор, зеркало, блок процессора и блок питания;
* БВУ "Обзор" - бортовое вычислительное устройство, предназначенное для взаимодействия с СУБК;
* ПУ "Обзор" - пульт ручного управления;
* К-1…К-16 - межблочные кабели.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Напряжение питания, В | 27 |
| Мощность, Вт | 170 |
| Информативность, Кбит/с | 256 |
| Ресурс, час | 5000 |
| Спектральный диапазон, нм |   |
| МОЗ-А | 756-767 |
| МОЗ-Б | 408-1010 |

**МОМС-2П**

Целью космического эксперимента МОМС-2П является решение следующих задач:

* съемка поверхности Земли;
* съемка облачного покрова;
* съемка внутренних водоемов и поверхности океана в районе шельфа.

Виды съемок:

* во всех спектральных диапазонах видимого спектра с обычным разрешением;
* в видимом диапазоне спектра с повышенным разрешением;
* стереосъемка в видимом диапазоне спектра с обычным разрешением.

Съемка полигонов обеспечивается за счет орбитального движения изделия и поперечного сканирования поверхности Земли ПЗС-приемников.

В состав аппаратуры МОМС-2П входят:

* оптический модуль массой 181 кг (устанавливается снаружи модуля 77КСИ);
* антенны МОМС НАВ (3 шт. системы GPS);
* блок питания;
* магнитофон DCRSi-107 с кассетами.

Тип прибора – модульный оптический многоспектральный стереосканер, позволяющий снимать поверхность Земли в 4 спектральных диапазонах (каналы: 1,2,3,4-спектральные, 6,7-стерео, 5А, 5В-высокого разрешения).

***Характеристики каналов:***

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Канал | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Длина волны, нм | 440-505 | 530-575 | 645-680 | 770-810 | 520-760 | 520-760 | 520-760 |
| Поле зрения, град | 15 | 15 | 15 | 15 | 7,2 | 13,9 | 13,9 |
| Разрешение с высоты 350 км, м | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 5,3 | 15,9 | 15,9 |

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Масса, кг | 250 |
| Мощность максимальная, Вт | 540 |
| Мощность в режиме сброса информации, Вт | 440 |
| Информативность БИСУП, Мбайт/с | 7,64 |
| Время непрерывной работы, мин | 20 |
| Ресурс, лет | 1,5 |

**МСУ-СК**

Прибор предназначен для получения и передачи на Землю изображения подстилающей поверхности в однострочном режиме в видимом, ближнем и дальнем ИК диапазонах.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование | Значение |
| Температура корпуса, С | -27…+37 |
| Рабочее давление, Па | 105 |
| Число спектральных каналов | 5 |
| Угловое разрешение для всех каналов, мрад | 0,186 |
| Энергопотребление, Вт | 295 |
| Время непрерывной работы, мин | 20 |
| Перерыв между включениями, мин | 70 |
| Масса, кг | 56 |
| Ресурс, час | 1500 |

**МСУ-Э** **(многофункциональное сканирующее устройство с электронной разверткой)**

Аппаратура состоит из двух приборов МСУ-Э. Прибор предназначен для получения изображения подстилающей поверхности Земли.

При проведении эксперимента ось +Z модуля 77КСИ должна быть направлена по местной вертикали с погрешностью +1 угл. град. Ось Х должна быть направлена по направлению полета, угол С-О-З должен быть больше 115 угл. град. Съемка проводится при минимальной облачности.

Приборы имеют негерметичные корпуса.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование | Значение |
| Температура корпуса, С | 20+/-5 |
| Рабочее давление, Па | от 1,013\*10-5 до 133,3 |
| Число спектральных каналов | 3 |
| Угловое разрешение для всех каналов, угл. сек: |   |
| по строке | 7,04 |
| по кадру | 10,8 |
| Энергопотребление, Вт: |   |
| без подогрева | 100 |
| при максимальном подогреве | 38 |
| Время непрерывной работы, мин | 20 |
| Перерыв между включениями, мин | 60 |
| Информативность, Мбит/с | 3,84 |

**"Озон - Мир"**

Целью научного эксперимента является измерение с борта ОС спектральных характеристик прямого солнечного излучения, проходящего через атмосферу Земли, при заходах Солнца относительно станции с целью последующей обработки измеренных коэффициентов спектральной прозрачности атмосферы и восстановления вертикальных профилей концентрации кислорода, озона, паров воды и других малых газовых составляющих и аэрозолей.

Аппаратура работает в автоматическом режиме и выполнена в виде 3-х независимых блоков:

* блока спектрометров;
* блока электроники;
* блока питания.

Аппаратура имеет 4 спектральных канала для измерения спектральной прозрачности атмосферы в диапазоне 257-1155 нм.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Скорость обмена информацией с РПИ, Кбайт/с | 50 |
| Время подготовки к работе, мин | 8 |
| Время непрерывной работы, мин | 30 |
| Ресурс, час | 500 |
| Максимальная мощность, Вт | 280 |

**Канопус**

Канопус предназначен для исследования космического пространства как среды обитания биологических и технических объектов.

Дозиметр ДК-1 предназначен для измерения основных дозовых характеристик поля ионизирующих излучений. На модуле 77КСИ "Природа" установлены два блока детектирования (БД-03 и БД-06) и регистратор (БР).

Спектрометр СПЭ-1 предназначен для измерения спектральных и угловых характеристик электронов и протонов низких энергий.

Анализатор С-11 предназначен для измерения динамики энергетического распределения протонов и спектров линейных потерь космических лучей.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Блоки | Масса, кг | Габариты, мм | Мощность, Вт | Размещение |
| БР | 1,9 | 136х182х118 | 3,7 | ГО |
| БД-03 | 0,1 | 112х80х24 | 0,001 | снаружи |
| БД-06 | 1,4 | 160 (сфера) | 0,001 | снаружи |
| СПЭ-1 | 4,5 | 215х257х200 | 4 | снаружи |
| С-11 (детектор) | 2,4 | 250х105х100 | 3 | снаружи |
| С-11 (анализатор) | 3,0 | 250х110х200 | 3 | ГО |
| Суммарно | 13,3 |   | 13,7 |   |

**"Траверс-1П"**

Система "Траверс-1П" - это двухчастотный радиолокатор бокового обзора с синтезированной апертурой. Он предназначен для получения радиолокационных изображений (карт) земной поверхности.

Использование научных данных "Траверс-1П" для исследования поверхности суши позволяет проводить оценку состояния и типа растительности и влажности почв, картографирования рельефа льда и волнения поверхности мирового океана.

***Технические характеристики:***

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Длина волны зондирующего сигнала, см |   |
| С-диапазон | 9 |
| D-диапазон | 23 |
| Угол наблюдения, угл. град. | 35 |
| Разрешающая способность, м | 100 |
| Размер антенны, м | 2,8х6,0 |
| Вид информации | цифровой |
| Скорость передачи информации, Мбит/с | 15 |
| Энергопотребление, Вт |   |
| С-диапазон | 500 |
| D-диапазон | 700 |
| Ресурс, ч | 500 |

Картирующий спектрометр видимого и инфракрасного диапазона

спектрометрическая съемка поверхности и атмосферы марса

Основные научные задачи:

 картирование состава поверхности Марса - вулканических и осадочных пород, измороси и льдов;

 картирование основных газообразных и твердых атмосферных компонент.

Прибор имеет три канала:

 IR - 1 диапазон 2,7 - 5,2 мкм;

 IR - 2 диапазон 1,05 - 2,7 мкм;

 VNIR диапазон 0,35 - 1,05

Основные характеристики:

 спектральное разрешение 50 - 100

 угловое разрешение 4 угл.мин

пространственное разрешение 0,4 - 4 км

 многофункциональную стереоскопическую ТВ-камеру высокого разрешения HRSC, диапазон длин волн 0,4-1,0 мкм;

 ширина полосы обзора 8,8°

 масса 23,7 кг


## Пассивное аэрокосмическое зондирование атмосферы и земной поверхности в геоинформационных технологиях исследования и мониторинга окружающей среды

При решении задач ресурсно-экологического мониторинга подстилающей поверхности Земли (ППЗ) с использованием аэрокосмической информации в условиях влияния аэрозольных компонент атмосферы возникает задача предварительной обработки изображений, заключающаяся в фильтрации (подавлении шума) и восстановлении, реставрации изображений (путем "обращения" влияния искажающих факторов). Корректное решение задачи предобработки позволяет повысить точность решения задач тематической обработки данных, в частности, решать задачи обнаружения аномалий ППЗ по серии снимков одного и того же участка поверхности Земли на фоне сезонных вариаций радиояркостей.

В связи с этим прелагается рассмотреть новые подходы к тематической обработки изображений подстилающей поверхности Земли, наблюдаемой со спутников в условиях искажающего влияния атмосферы. В качестве объекта исследования рассматривается поле аэрозольной компоненты атмосферы и тепловые аномалии на земной поверхности.

Для изучения региональных свойств атмосферного аэрозоля применяются различные средства дистанционного мониторинга и в том числе результаты спутниковых измерений. В работе дается оценка принципиальных возможностей использования системы AVHRR/NOAA для проведения в Томском регионе регулярного космомониторинга атмосферного аэрозоля и в том числе дымов от лесных пожаров. С этой целью выполнен сравнительный анализ данных AVHRR/NOAA и наземных измерений ряда характеристик атмосферного аэрозоля (аэрозольная оптическая толщина, коэффициент рассеяния λ=0.52 μm, массовое содержание сажи, счетная концентрация аэрозольных частиц), полученных для условий Томска в летние месяцы 1998-99 г.г.

Предварительная обработка спутниковой информации включает следующие основные этапы:

1. калибровка, географическая привязка, визуализация и отбраковка облачных снимков;

b) статистический анализ пространственно-временной изменчивости данных в окрестности Томска с целью поиска "темных" участков подстилающей поверхности, характеризующихся малыми значениями альбедо и пространственной квазиоднородностью;

c) атмосферная (молекулярная) коррекция измерений спутниковых измерений с учетом реального состояния атмосферы на момент проведения космомониторинга.

В результате сравнительного анализа спутниковых данных и наземных измерений аэрозольных характеристик получен следующий предварительный вывод. Установлена статистически значимая положительная корреляционная связь между данными первого и второго каналов AVHRR и наземными измерениями. Этот факт говорит о перспективности использования спутниковой информации AVHRR/NOAA для мониторинга в атмосферного аэрозоля и дымов лесных пожаров с использованием адаптированных к условиям наблюдений спутниковых методов и локальных наземных измерений.

Не менее важной задачей космомониторинга является обнаружение очагов пожаров еще на ранней стадии их развития. Это требует эффективного решения задачи автоматического распознавания на спутниковых снимках высокотемпературных аномалий, размеры которых на один-два порядка меньше пространственного разрешения радиометра. Для достижения максимальной точности решения такой задачи очевидна необходимость проведения атмосферной коррекции спутниковых данных, основанной на оперативном учёте оптико-геометрических условий наблюдений. Анализ литературных данных говорит о том, что в силу сложности этой задачи в большинстве спутниковых алгоритмов обнаружения очагов пожаров атмосферная коррекция на практике как правило не осуществляется. Вместе с тем, даже в условиях прозрачной атмосферы коэффициент атмосферного ослабления восходящего теплового излучения очага составляет для углов сканирования радиометра AVHRR/NOAA ( =0-55 ) величину порядка 0,8-0,5. При наличии же аэрозоля этот коэффициент дополнительно уменьшается (до 1,5-2 раз) с ростом аэрозольной оптической толщины (АОТ).

Создание эффективных процедур раннего обнаружения малоразмерных очагов требует учета в 3-ем канале AVHRR (3,75 мкм) такого мешающего фактора, как отраженное поверхностью и рассеянное атмосферой солнечное излучение (солнечная дымка). Как правило, для этого выбирается фиксированное пороговое значение (не учитывающее даже геометрические параметры положения Солнца) или величина, связанная фактически только с зенитным углом Солнца.

Как показывают предварительные оценки в отраженном от атмосферы излучении формируется максимум (в диапазоне высот Солнца 5-15 ), амплитуда которого связана с оптическими характеристиками приземного аэрозоля и направлением вектора вдоль оптической оси прибора. При этом азимутальные различия вклада могут быть достаточно существенны.

**Аэрокосмические средства для исследования концентраций озона в атмосфере**

Предлагается проект зондов для измерения высотных профилей метеопараметров и концентраций озона в любом районе земного шара. Зонды доставляются в исследуемый регион аэрокосмическим планирующим аппаратом типа “Бор-2”, выводимым на суборбитальную траекторию с последующим планированием ракета-носителями типа “Штиль”. Возможен сброс зондов с высотных самолетов “М-50”, выполнявших замеры концентраций над Антарктидой, поэтому радиозонды выполняются в двух модификациях: для сброса с самолета и с аэрокосмического аппарата.

Информация передается по спутниковым телекоммуникационным каналам. Для входа в атмосферу с суборбитальной траектории зонды помещены в специальную отделяемую защитную спускаемую капсулу, доставляющую приборно-измерительно-передающий контейнер в слой атмосферы на высоте 30-35 км, с которой осуществляется с помощью парашютно-зонтичного устройства снижение до контакта с поверхностью Земли.

Рассмотрены компоновочные схемы двух различных вариантов спускаемой капсулы и для варианта с паразонтичным раскрываемым устройством разработана конструктивная схема разделяемой капсулы и паразонта.

Сделано технико-экономическое обоснование затрат и времени на создание зондов, средств их доставки, а также бортовых и наземных средств информационно-измерительного комплекса. [17]

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Материалы дистанционного зондирования получают в результате неконтактной съемки с летательных воздушных и космических аппаратов, судов и подводных лодок, наземных станций. Получаемые документы очень разнообразны по масштабу, разрешению, геометрическим, спектральным и иным свойствам. Все зависит от вида и высоты съемки, применяемой аппаратуры, а также от природных особенностей местности, атмосферных условий и т.п. Главные качества дистанционных изображений, особенно полезные для составления карт,

- это их высокая детальность, одновременный охват обширных пространств, возможность получения повторных снимков и изучения труднодоступных территорий. Благодаря этому данные дистанционного зондирования нашли в картографии разнообразное применение: их используют для составления и оперативного обновления топографических и тематических карт, картографирования малоизученных и труднодоступных районов (например, высокогорий). Наконец, аэро- и космические снимки служат источниками для создания общегеографических и тематических фотокарт. Съемки ведут в видимой, ближней инфракрасной, тепловой инфракрасной, радиоволновой и ультрафиолетовой зонах спектра. При этом снимки могут быть черно-белыми зональными и панхроматическими, цветными, цветными спектрозональными и даже

- для лучшей различимости некоторых объектов - ложноцветными, т.е. выполненными в условных цветах. Следует отметить особые достоинства съемки в радиодиапазоне. Радиоволны, почти не поглощаясь, свободно проходят через облачность и туман. Ночная темнота тоже не помеха для съемки, она ведется при любой погоде и в любое время суток.
Главные достоинства аэроснимков, космических снимков и цифровых данных, получаемых в ходе дистанционного зондирования, - их большая обзорность и одномоментностъ. Они покрывают обширные, в том числе труднодоступные, территории в один момент времени и в одинаковых физических условиях. Снимки дают интегрированное и вместе с тем генерализованное изображение всех элементов земной поверхности, что позволяет видеть их структуру и связи.

Очень важное достоинство - повторность съемок, т.е. фиксация состояния объектов в разные моменты времени и возможность прослеживания их динамики.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Аксенов С.И. и др. Марс как среда обитания.— Проблемы космической биологии, М., «Наука», 1976, т. 32, 232 с.
2. Вдовин В.В. Расчет тепловой динамики поверхности Марса.— «Космич. исслед.», 1977, т. 15, вып. 2, с. 238-247.
3. Изаков М.Н. Структура и динамика верхних атмосфер Венеры и Марса. — «Успехи физ. наук», 1976, т. 119, № 2, с. 295-342.
4. Изаков М.Н., Морозов С. К. Структура и динамика экваториальной термосферы Марса. — «Космич. исслед.», 1976 т. 14, вып. 3, с. 476-478.
5. Истомин В.Г. и др. Эксперимент по измерению состава атмосферы на спускаемом аппарате космической станции «Марс-6». — «Космич. исслед.», 1975, т. 13, № 1, с. 16-20.
6. Козырев Н.А. Спектральные признаки существования снега и льда в атмосфере Марса.— «Изв. Гл. астрон. обе», 1964, т. 23, вып. 5, № 175, с. 72-74.
7. Кондратьев К.Я., Бунакова А.М. Метеорология Марса.— Л. Гидрометеоиздат, 1973. 62 с.
8. Кондратьев К.Я. Сравнительная метеорология планет.— Л. Гидрометеоиздат, 1975. 48 с.
9. Кондратьев К.Я. Метеорология планет. Л., Изд. ЛГУ, 1977. 236 с.
10. Кондратьев К.Я., Москаленко Н. И. Тепловое излучение планет. Л., Гидрометеоиздат. 1977. 263 с.
11. Краснопольский В.А., Крысько А. А., Рогачев В. Н. Ультрафиолетовая фотометрия Марса на спутнике «Марс-5».— «Космич. исслед.», 1977, т. 15, вып. 2, с. 255-260.
12. Сурков Ю.А., Федосеев Г.А. Аргон-40 в атмосфере Марса. — «Космич. исслед.», 1976, т. 14, вып. 4, с. 592-597.
13. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Пшенин Е.С. Концепция регионального геоинформационного мониторинга. //Исслед. Земли из космоса. 2000. №6. С. 3-10.
14. Ю.А. Кравцов, Е.Б. Кудашев, М.Д. Раев, Д.А. Бондарев, В.В. Голомолзин. Использование космического мониторинга для оценки опасности жизнедеятельности в больших городах. //Физическая экология (физические проблемы экологии), № 4, С. 144-151. Изд. Физического факультета МГУ. Москва. 1999.
15. В.П. Мясников, Н.А. Арманд, Ю.А. Кравцов, Е.Б. Кудашев, М.Д. Раев, В.П. Саворский, М.Т. Смирнов, О.В. Сюнтюренко, Ю.Г. Тищенко. Информационные технологии и информационные ресурсы космического экологического мониторинга. // Вестник РФФИ, 2000 г., С. 30-37, №2, (июнь).
16. Кадлип В., Кравцов Ю.А., Кудашев Е.Б., Раев М.Д., Сюнтюренко О.В., Арманд Н.А., Саворский В.П., Смирнов М.Т., Тищенко Ю.Г, Мясников В.П. Российско-Британский спутниковый экологический мониторинг на основе Web- и Интернет-технологий. // Информационное Общество, 2000 г , №2, С. 59-64.