

## ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

В России сосредоточена пятая часть лесных ресурсов мира. Значение наших лесов в решении экологических, биосферных и экономических проблем, стоящих как перед страной, так и мировым сообществом, исключительно велико. Но леса в условиях все возрастающего разностороннего антропогенного воздействия на них могут обеспечить выполнение названных выше проблем лишь при условии сохранения их экологического и ресурсного потенциала. Поэтому важнейшей задачей современности является устойчивое управление лесами, обеспечивающее многоцелевое лесопользование, охрану, защиту и воспроизводство лесов.

Для устойчивого эффективного управления лесами органам лесного и лесопаркового хозяйства необходима объективная информация о состоянии и динамике лесных экосистем. Для получения информации ежегодно на обширных территориях проводят лесоустройство, инвентаризацию и картографирование лесов, осуществляют комплекс мероприятий по охране их от пожаров, защите от вредителей и болезней, слежению за многоцелевым лесопользованием и воспроизводством лесов.

При выполнении перечисленных задач широко используются аэрокосмические методы - авиация, материалы аэро- и космических съемок и методы, основанные на их применении. Создаваемая Государственной лесной службой страны комплексная система мониторинга состояния и динамики лесов базируется на аэрокосмических методах.

Аэрометоды в лесном хозяйстве России и других стран начали применяться в 20-х гг., а материалы дистанционного зондирования Земли из космоса - в 70-х гг. прошлого столетия.

1858 – фотография пригорода Парижа, сделанная с воздушного шара Феликсом Турнашоном.

1886 – первые воздушные снимки в России. Несколько снимков Санкт-Петербурга с воздушного шара, сделанные поручиком А.М.Кованько.

1916 – при Генштабе Российской армии создано отделение по аэрофотосъемке, сформированы фотометрические части.

1918 – фотографирование 100 км<sup>2</sup> окрестностей г Тверь.

1928 – в Ленинградской лесотехнической академии появилась дисциплина «Применение аэрокосмических средств и методов в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве».

1940-е – появление спектральной съемки, опыты использования радиолокаторов.

1950-1960 гг. – развитие методов дешифрирования, ландшафтный подход. Появление новых методов аэрофотосъемки – радиолокационной и инфракрасной тепловой.

1961 – летчик-космонавт СССР Г.С.Титов впервые выполнил фотографирование Земли с пилотируемого космического корабля “Восток-2”. Создание сканерных систем.

1972 – запущен автоматический спутник Landsat-1 (США), многозональные снимки земной поверхности.

1982, 1984 – запуск ИСЗ Landsat 4, 5.

1986 – запуск ИСЗ SPOT(Франция).

Конец XX-начало XXI века – коммерческие съемки, спутники высокодетального оптико-электронного наблюдения (Quick Bird, Ikonos (24.09.1999), гиперспектральная съемка (MERIS 15 каналов).

1999-2002 ввод в систему мониторинга съемки MODIS

Внедрение аэрокосмических методов обеспечило решение ряда важнейших задач, стоявших перед лесным и народным хозяйством страны в двадцатом столетии. Это, прежде всего, изучение и картографирование лесов на всей территории страны и периодическое обновление данных изученности.

До начала использования аэрометодов лесной фонд России был изучен лесоустройством менее чем на 10 % его территории. К середине 50-х годов первичное изучение лесов завершено на всей площади СССР, в том числе лесоустройством - на 236,7 млн. га (21 %) и на основе аэровизуального и аэротаксационного обследования - на 894,4 млн. га. В 1956 г. впервые в истории составлены и изданы: Карта лесов СССР (масштаб 1:2 500 000), учет лесного фонда, а позднее (в 1973 г.) и Атлас лесов СССР.

В настоящее время на всю территорию зоны лесоустройства составлены серии детальных тематических карт лесов (масштабы 1:10000 - 1:25000).

Таким образом, благодаря аэрокосмическим методам создано информационное обеспечение, необходимое для организации лесного хозяйства и многоцелевого лесопользования.

Второе важнейшее направление применения аэрокосмических средств и методов - охрана лесов от пожаров и защита их от вредителей, болезней, различных неблагоприятных природных и антропогенных воздействий. В настоящее время авиационная охрана лесов от пожаров осуществляется на площади около 680 млн. га. Для оценки пожарной опасности на территории лесного фонда и слежения за динамикой крупных лесных пожаров используется космическая информация.

На миллионах гектаров проводятся с применением аэрокосмических методов лесопатологическое обследование лесов, освидетельствование мест рубок, авиационная борьба с вредителями и болезнями леса и регулирование состава молодняков. Авиационные средства и методы используются также для решения других задач, таких, как проектирование гидро- и агролесомелиоративных мероприятий, изыскание и проектирование лесовозных дорог, обслуживание лесосплава, учет охотничьей фауны, фенологические наблюдения, учет урожайности древесных пород, транспортировка людей и грузов.

В перспективе применение аэрокосмических методов в лесном и лесопарковом хозяйствах будет возрастать.

Сейчас в ряде стран мира (США, Россия, Франция, Япония, Индия, Китай, Германия и др.) ведутся работы по созданию нового поколения космических систем, которые в ближайшем будущем предоставят потребителям материалы космических съемок земной поверхности повышенной информативности. С расширением рынка данных космических съемок будет уменьшаться и их стоимость.

## **АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

### **Состав и строение атмосферы**

Приземную атмосферу составляют в основном азот (78 %) и кислород (21 %), к которым в небольшом количестве примешаны углекислый газ (0,03 %), озон (0,2\*10<sup>-3</sup> %) и некоторые другие газы. В атмосфере содержатся водяной пар и другие примеси - аэрозоли (мельчайшие твердые и жидкие частицы). Состав воздуха до высоты 90-95 км остается практически постоянным.

Различают пять основных слоев атмосферы: тропосфера - от 0 до 10-18 км, стратосфера - от 10-18 до 50 км, мезосфера - от 50 до 80 км, термосфера - от 80 до 600-800 км и экзосфера - свыше 600-800 км. Границы между основными слоями выражены нерезко. Переходный слой между тропосферой и стратосферой называют стратопазузой, между мезосферой и термосферой - мезопазузой.

Верхний слой атмосферы является частью околоземного космического пространства, нижняя граница которого ограничивается условно высотой, где космический летательный аппарат может совершать по инерции один-два оборота вокруг Земли. Решением Международной авиационной федерации принято считать полеты космическими, если высота их не менее 100 км.

В ряде случаев под понятием «космос» понимают область высот более 200-250 км, где любые теплообмены, кроме лучистых, практически отсутствуют и ими можно пренебречь. Эту высоту в практике при многих расчетах условно считают верхней границей атмосферы.

Основная масса атмосферы (99,9 %) сосредоточена в слое от 0 до 50 км. Он является определяющим на формирование изображения при проведении дистанционного зондирования Земли.

Давление, температура, влажность, аэрозоли, озон и некоторые другие компоненты оказывают влияние на результативность съемочного процесса и качество получаемых изображений, поскольку они могут ослаблять излучение в направлении прохождения оптических лучей.

### **Оптические свойства атмосферы**

На верхнюю границу атмосферы приходится поток солнечного излучения, представляющего собой электромагнитные волны широкого

спектрального диапазона. Длину их обозначают л и выражают в нанометрах (нм), микрометрах (мкм) или миллимикронах (мм), сантиметрах и метрах.



Диапазоны спектра электромагнитных излучений

Спектр начинается с коротковолнового излучения (гамма-лучи  $10^{-4}$ - $10^{-2}$  и рентгеновские лучи  $10^{-2}$ -10 нм).

Участок спектра с длиной волн 10-380 нм относится к ультрафиолетовой области спектра (дальняя УФ область 10-300 нм и ближняя 300-380).

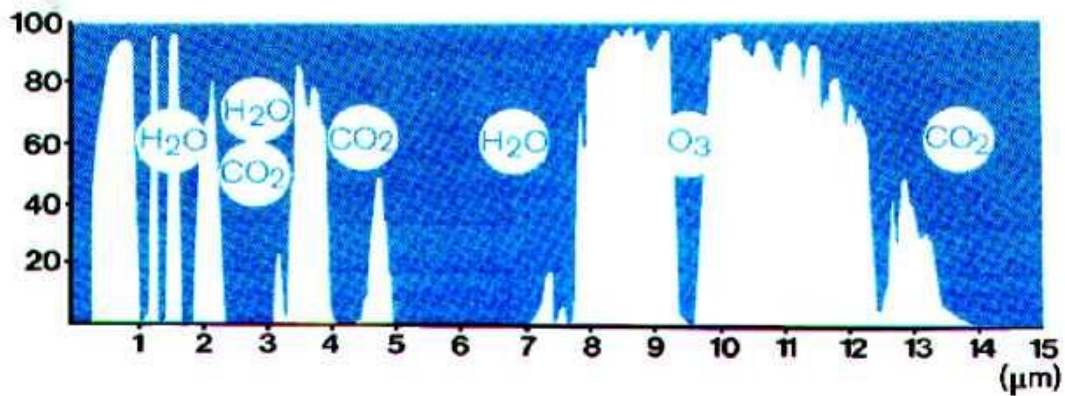
Диапазон 380-760 нм - область видимого излучения, воспринимаемого человеческим глазом, называемого светом (380-450 - фиолетовый диапазон. 450-480 - синий. 480-510 - голубой, 510-550 - зеленый. 550-570 - желто-зеленый. 570-590 - желтый, 590-620 - оранжевый и 620-760 нм - красный).

Область спектра 760 нм (0.76 мкм)-1000 мкм (1 мм) - инфракрасное излучение, которое подразделяется на четыре зоны: ближнюю - 0.76-3 мкм, среднюю - 3-6 мкм, дальнюю - 6-14 мкм и очень далекую (тепловую) - 14-1000 мкм.

Участок спектра, примыкающий к ПК тепловой зоне (с длиной волны более 1 мм), охватывает ультракороткие радиоволны. Его подразделяют на диапазоны миллиметровых, сантиметровых, дециметровых и метровых радиоволн.

Земная атмосфера - оптически неоднородная среда, она вызывает поглощение и рассеяние излучения Солнца, снижающие его энергию и изменяющие спектральный состав.

Гамма-излучение, лучи Рентгена и ультрафиолетовые почти полностью поглощаются кислородом и озоном атмосферы. В длинноволновой (инфракрасной) части спектра имеется ряд полос поглощения, обусловленных присутствием водяного пара и углекислого газа.



### Пропускание радиации в видимой и инфракрасной зонах спектра сквозь атмосферу

При изучении Земли дистанционными методами наблюдения можно проводить только в зонах прозрачности земной атмосферы. Пропускание атмосферы по спектру различно.

В рентгеновской и дальней УФ областях (0.3 мкм) атмосфера абсолютно непрозрачна. В пределах 0.3-0.5 мкм на съемку сильно влияет атмосфера, прозрачность ее от слабой до удовлетворительной.

В видимой части спектра в пределах 0.5-0.76 мкм прозрачность атмосферы высокая, хотя в пределах ее есть отдельные узкие полосы поглощения световой энергии водяными парами, углекислым газом, озоном.

В ИК области имеются следующие окна прозрачности: 0.76-1.2; 3-5 и 8-14 мкм.

Пропускание атмосферы в окнах прозрачности меняется в зависимости от наличия молекул воды, углекислого газа, озона, окиси углерода, метана и пр. Однако общие закономерности соотношений между излученной, поглощенной и отраженной солнечной энергией для земной атмосферы и земной поверхности в целом сохраняются.

Энергия излучения Солнца на 99,9 % заключена в спектральном интервале 0,2-5 мкм, при этом спектральный диапазон 0,4-0,7 мкм совпадает с максимумом спектральной кривой излучения Солнца. На этот диапазон приходится 38 % энергии солнечного излучения.

Накопив солнечную энергию, Земля и атмосфера сами становятся источником теплового излучения в мировое пространство. Около 99,9 % тепловой энергии данной системы заключается в пределах спектра 440 мкм с максимумом излучения в спектре 8-12 мкм. Уходящее в мировое пространство излучение состоит из собственного излучения системы Земля-атмосфера и отраженного земной поверхностью и рассеянного атмосферой солнечного излучения.

Наличие широкого спектрального диапазона в солнечном излучении и отраженном от земной поверхности световом потоке позволяет применять при дистанционном зондировании различные регистрирующие устройства:

- в видимом и ближнем ИК диапазонах (0.38-1.2 мкм) - визуальные наблюдения, фотографирование, сканерные, телевизионные и лазерные съемки, спектрометрирование;
- в средней ИК (3-5 мкм) и дальней ИК (8-14 мкм) областях проводят ИК тепловую съемку;
- в радиодиапазоне - радиолокационную и радио- тепловую (микроволновую) съемки.

### **Оптические характеристики природных образований**

Все объекты земной поверхности при наблюдении и съемке в видимом и ближнем ИК диапазонах воспринимаются отдельно благодаря их яркостным различиям. Яркость объекта зависит от освещенности, отражательной способности, поглощения отражательного излучения промежуточной средой.

К показателям, характеризующим яркость объектов и определяющим дешифровочные возможности материалов дистанционных съемок, относят:

- коэффициент полного отражения, или альбедо,
- коэффициент яркости,
- коэффициент спектральной яркости,
- яркостной контраст,
- интервал яркости

Эти показатели учитывают при расчете условий съемки для получения наиболее информативных съемочных материалов и для их дешифрирования.

*Альбедо* - это отношение светового потока, отраженного данной к полному потоку, поступающему на исследуемую поверхность. Различают спектральное и интегральное альбедо.

*Коэффициент яркости* определяется отношением яркости лучистого потока, отраженного в каком-либо фиксированном направлении, к яркости лучистого потока от идеально рассеивающей поверхности в данном направлении, имеющей коэффициент отражения, равный единице, и находящейся в тех же условиях освещения и наблюдения. За идеально рассеивающую (абсолютно белую) поверхность принимают обычно гипсовую пластинку, покрытую окисью магния, или белую бумагу, покрытую серноокислым барием. Отражательную способность их условно считают равной единице.

Объекты оптически нейтральные (серые) имеют одинаковый коэффициент яркости для всех видимых и ближних ИК лучей спектра. Для объектов с тоновыми или цветовыми различиями коэффициент яркости неодинаков для разных участков спектра; его называют *коэффициентом спектральной яркости*.

Объекты земной поверхности выявляются на снимках в значительной степени благодаря различиям в их яркости, которые оцениваются

**яркостным (пограничным) контрастом.** Он равен отношению разности яркостей (коэффициентов яркостей) смежных объектов к большей из них.

Объекты, у которых  $K=1$ , называют объектами абсолютного контраста. Такой контраст имеет комбинация абсолютно черных и абсолютно белых объектов. Близкий к абсолютному контраст имеют, например, свежевывающий снег на фоне хвойного леса.

Наименьшее значение контраста, начиная с которого объект становится доступным для зрения, называют порогом зрительного восприятия, или **пороговым контрастом.**

При выборе условий съемки определяют **интервал яркости** (относительный фотографический контраст) - отношение наибольшей яркости объектов к наименьшей.

### **Спектральные отражательные свойства лесной растительности и методы их изучения**

Спектральные отражательные характеристики природных образований несут в себе специфический вид информации о поверхности Земли и являются основой дистанционных методов ее исследования.

Поток лучистой энергии, прошедший атмосферу Земли, изменяется по интенсивности и спектральному составу. Он делится на три составные части: поглощенную, рассеянную и прямую.

Поток лучистой энергии, состоящий из прямой и рассеянной солнечной радиации, при падении на объект также делится на три части: пропущенную, поглощенную и отраженную. Часть поглощенной растительностью энергии расходуется на фотосинтез нового органического вещества.

Различные объекты живой и неживой природы имеют неодинаковое соотношение между этими составляющими светового потока. Так, например, верхняя поверхность листа тополя в зеленых лучах поглощает 74 % света, пропускает 16 % и отражает 10 %, в красных лучах - соответственно 92, 3 и 5 %, в инфракрасных лучах - 3, 50 и 47 %.

Практический интерес для съемки имеет отраженная энергия, слагающаяся из энергии излучения, отраженного непосредственно поверхностью объекта, и энергии излучения, рассеянного внутренними структурными частями.

Часть поглощенной энергии лучистого потока, затраченная на нагревание поверхности, возвращается в мировое пространство в виде теплового излучения, которое лежит в ИК области спектра; на этом тепловом излучении базируется инфратепловая съемка. У некоторых природных объектов (растений, органических веществ и др.) поглощенная солнечная радиация вызывает люминесценцию, на которой основана люминесцентная съемка.

Различия в оптических характеристиках растений и их частей (крон, стволов) обуславливаются составом и состоянием пигментов растительных и

покровных тканей, морфологией растений в целом, возрастом, экологическими условиями. Молодые хвоя и листья характеризуются большей отражательной способностью. На оптические характеристики растений влияют географическое и высотное положения, погодные условия.

У всех древесных пород в летний период коэффициент спектральной яркости имеет в видимой части спектра примерно одни и те же величины и закономерности; это характерно также для нелесных и не покрытых лесом земель. Объекты неживой природы такой закономерности не имеют.

Все растительные сообщества летом характеризуются в видимой области спектра максимумом поглощения в синей и оранжево-красной зонах.

Форма кривых СКЯ имеет максимум в зеленой зоне спектра (540-580 нм), минимум - в сине-фиолетовой (400-470 нм) и красной (680-690 нм).

Оптические свойства древесных и кустарниковых пород в видимой области спектра зависят в основном от хлорофилла, поэтому в период вегетации в видимой области спектра кроны разных древесных пород характеризуются близкой яркостью; только в зоне зеленых лучей (540-580 нм) наблюдаются небольшая их дифференциация по породам.

В ближней ИК зоне спектра различия в спектральных яркостях крон основных древесных пород значительные. При этом можно выделить две группы пород: повышенной спектральной яркости (лиственница, осина, береза), и с меньшей величиной (сосна, ель). В связи с этим при съемке в ИК области спектра тоновые различия между древесными породами существенны, они надежно позволяют отделять хвойные породы от лиственных.

В видимой зоне спектра яркость поврежденных вредителями или пожарами деревьев существенно не отличается от здоровых. В ИК зоне различия между ними значительные.

Спектральные коэффициенты яркостей здоровых и сухостойных деревьев имеют значительные различия как в видимой, так и в ИК зонах спектра.

Отражательная способность деревьев и насаждений зависит от фенологического их состояния. Весной молодая листва (хвоя) всех древесных пород значительно ярче: ее светло-зеленый цвет в поздневесеннее время сменяется зеленым. Увеличение интенсивности зеленой окраски и снижение яркости листвы происходит постепенно, в процессе развития листа.

Существенные различия в яркости приводят к тому, что изображения на снимках хвойных и лиственных древостоев в весенний период значительно контрастны. Осенью, когда завершается вегетация лиственных пород, их цвет и оптические свойства резко изменяются. В этот период наблюдаются наибольшие цветовые и тональные контрасты между лиственными и хвойными древесными породами.

## **Метеорологические условия съемки**



Съемку земной поверхности осуществляют через толщу атмосферы, характеристики которой непостоянны. Состояние атмосферы определяет условия и результаты съемки. Физическое состояние атмосферы характеризуют ее прозрачность и рефракции лучей в ней, температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, облачность, перемещение воздушных масс. Наибольшее влияние на результативность съемки в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра оказывают степень прозрачности атмосферы, освещенность и облачность.

В атмосфере всегда в той или иной степени содержатся взвешенные частицы и водяной пар, которые рассеивают свет и обуславливают дополнительную яркость самого воздуха, чем снижают контрастность деталей земной поверхности. Свечение или мутность атмосферы за счет рассеяния света от взвешенных в воздухе частиц называют *дымкой*. Атмосферная дымка уменьшает яркость объектов. Иногда, даже в совершенно безоблачные дни, дымка влияет так сильно, что исчезает различимость объектов земной поверхности, и съемка становится невозможной.

В прямой зависимости от контрастности находится разрешающая способность съемочных материалов. При съемке атмосфера может снизить разрешение на местности в 2 раза и более, особенно при плохой прозрачности, низкой высоте Солнца и большой перспективе.

Аэро- и космические съемки обычно выполняют в яркие, солнечные, безоблачные дни. Перистые и перисто-слоистые облака им не препятствуют.

Аэрофотосъемка возможна и при высокой сплошной облачности, расположенной выше летательного аппарата, выполняющего съемку. Высокая сплошная облачность позволяет получать бестеневые аэрофотоснимки, в результате чего полог насаждений просматривается глубже, лучше видны его затененные части.

На открытых местах (прогалины, вырубки и др.) изображение отдельных деревьев или подроста лучше заметно в солнечную погоду из-за наличия падающих теней.

Для целей лесного дешифрирования важное значение имеет влияние высоты Солнца в момент проведения съемки: чем оно выше, тем контрастнее выделяется соотношение между освещенными и затененными сторонами крон в пологе насаждений.

При съемке с авиационных и космических носителей минимально допустимой высотой стояния Солнца считают  $15-20^\circ$ , так как при меньшей высоте ухудшается освещенность местности и резко возрастает дымка.

Обычно съемку начинают не ранее чем через 2 часа после восхода Солнца и заканчивают за 3 часа до захода. В большинстве случаев аэрофотосъемочное время дня ограничивается тремя-четырьмя часами, поскольку после 9-10 ч, особенно в лесных районах, появляется кучевая облачность. Съемку земной поверхности в ИК тепловом диапазоне

можно осуществлять в любое время суток, а в радиодиапазоне - в любую погоду.

Кучевые облака изображаются белыми пятнами, а тени от них - темными пятнами. Части снимков, закрытые облаками и тенями от них, непригодны для дешифрирования.

В любой фиксированный момент времени в среднем 65 % поверхности Земли покрыто облачностью, а территория России - сплошной и значительной облачностью на 75 %. Необходим надежный прогноз распределения облачности по территории Земли на трассе полета космического летательного аппарата (КЛА).

### **Оптимальные сроки проведения аэрокосмических съемок**

При изучении лесов съемку выполняют в определенные сроки, связанные с их фенологическим состоянием. Обычно съемку проводят после полного распускания листьев и до начала массового листопада. В среднем в европейской части России продолжительность развития листьев березы составляет 20-35 дней, осины - 15-30.

Снимки лучшего дешифровочного качества получаются при съемках древесных пород в тот период года и в той зоне спектра, в которых отражаются наибольшие различия в их яркости. Летом отражательная способность хвойных и лиственных пород в пределах видимой области спектра почти одинакова. Лучшими дешифровочными свойствами обладают цветные спектральнозональные и многозональные снимки видимой и ближней ИК зонах спектра.

Весной и осенью у древесных пород наблюдается большое различие в отражательной способности: весной - в желто-зеленых и красных лучах спектра, осенью - в оранжево-красных. Проведение съемок в этих зонах спектра, позволяет получить наиболее высокую дифференциацию по тону между хвойными и лиственными насаждениями.

Съемку в осенний период проводят после начала массового пожелтения листьев березы и заканчивают до того времени, когда у лиственных пород опадает половина листвы. В весеннее время съемку начинают через 2 недели после начала облиствения и заканчивают ее через 15-20 дней.

Таким образом, для целей лесного дешифрирования предпочтение должно быть отдано материалам цветных спектральнозональных аэрофотосъемок, а также многозональным фотографическим, сканерным и телевизионным изображениям лесов, позволяющим получать снимки высокого дешифровочного качества при съемке в течение почти всего съемочного периода (лето и ранняя осень).

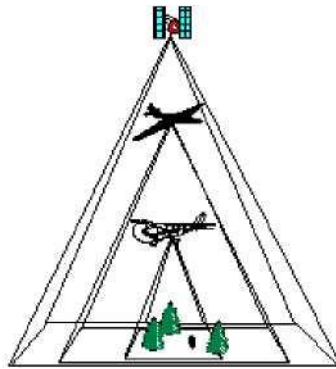
### **ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

## Летательные аппараты, используемые для проведения аэрокосмических съемок

Аэрокосмические съемки земной поверхности проводят с различных летательных аппаратов, которые подразделяются на две группы:

а) осуществляющие полет в воздушной среде - самолеты, вертолеты и БПЛА

б) осуществляющие полет в безвоздушном, космическом пространстве - космические летательные аппараты (искусственные спутники Земли, пилотируемые орбитальные станции, пилотируемые космические корабли).



### Самолеты и вертолеты

**Требования и характеристики.** Используемые для аэросъемки самолеты и вертолеты должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать устойчивый горизонтальный полет и разворот с одного курса на другой, иметь достаточный диапазон скоростей и необходимую дальность полета, обеспечивающую беспосадочное время работы не менее 6-7 ч;
- обладать хорошей продольной, поперечной и путевой устойчивостью; в режиме установившегося горизонтального полета углы крена, тангажа и рысканья не должны превышать +1°;
- быть оснащенными высокоточным навигационным оборудованием, позволяющим выполнять автоматизированный полет по заданному маршруту с высокой точностью в разных геомагнитных и широтных условиях;

В настоящее время в лесном хозяйстве России для аэросъемки и выполнения других работ применяют в основном самолеты ТУ-134, АН-30, иногда АН-2, и вертолеты К-26, МИ-8 и др.

### Навигационные средства для аэрофотосъемочного самолетовождения.

На самолетах и вертолетах, предназначенных для проведения аэрофотосъемки, помимо автоматизированных навигационных систем, применяются визиры разных типов. При прохождении самолета (вертолета) по маршруту съемки эти навигационные системы позволяют:

- контролировать точность прокладки курса следования по заданному маршруту;

- контролировать точность прокладки поперечного базиса съемки;
- намечать ориентиры на оси очередного съемочного маршрута;
- намечать начало и окончание маршрута;
- определять боковое уклонение от линии заданного пути (оси маршрута);
- измерять горизонтальные и вертикальные углы относительно продольной оси самолета;
- измерять углы сноса и интервал фотографирования

### **Космические летательные аппараты**

Космической съемкой называют съемку поверхности Земли с космических летательных аппаратов (КЛА). Нижняя граница околоземного космического пространства, где КЛА может совершать устойчивые обороты вокруг Земли, 140-150 км. Максимальная высота съемки ограничивается целесообразным минимальным масштабом изображения поверхности Земли. Для съемки земной поверхности из космоса в целях изучения природных ресурсов используются различные космические аппараты (КА). В основном это искусственные спутники Земли (ИСЗ). Иногда выборочные съемки отдельных территорий или объектов выполняют с пилотируемых космических кораблей (ПКК) или пилотируемых долговременных орбитальных станций (ДОС).

К особенностям космического зондирования Земли относятся перемещение КЛА по орбитам по законам небесной механики и аэродинамики, быстрое изменение по трассе полета условий освещенности, влияние всей толщи атмосферы на качество изображения.

### **Искусственные спутники Земли.**

Для съемки земной поверхности в целях исследования природных ресурсов Земли используются (или использовались) различные ИСЗ гражданского назначения, запускаемые разными странами на околоземные орбиты. Это российские ИСЗ серии «Ресурс-Ф», «Ресурс-01», «Океан», «Метеор». В 70-80-х гг. съемку земной поверхности производили с ИСЗ серии «Космос», «Метеор-Природа», «Алмаз» и др.

Зарубежные космические системы включают американские ИСЗ «Landsat», NOAA, EOS (Terra), IKONOS, французский SPOT, индийский IRS, японский JERS, канадский RADARSAT, спутник Европейского космического агентства ERS и др.

### **Технические средства дистанционных съемок**

Для регистрации отраженной солнечной радиации наведенного, а также собственного излучения земной поверхности на воздушных и

космических носителях устанавливают аэрофотоаппараты, оптикоэлектронные системы, радиометры, радиолокаторы и другие устройства, позволяющие использовать как естественные, так и искусственные источники излучения.

### **Аэрофотоаппараты, применяемые при аэро- и космических съемках**

В применяемых для аэро- и космических съемок аэрофотоаппаратах реализованы три основные схемы фотографирования: кадровое, целевое и панорамное. Наибольшее применение имеют кадровые топографические АФА. Современные аэрофотоаппараты могут быть использованы для съемки с любых летательных аппаратов, как из воздушной среды, так и из космоса.

Также используют сканеры (матрицы), телевизионную съемку, лазерное сканирование (лидары) и радиолокацию.

Космический летательный аппарат, тип съемочной системы	Диапазон съемки, мкм	Число зон	Разрешение на местности,
«Ресурс-Ф» - фотокамеры: - КФА-1000	0,5-09	1-3	5-10
«Ресурс-О1»-№4-сканеры: - МСУ-Э	0,5-0,9	3	30-40
*«Ресурс-ДК1»-сканеры	0,58-0,80 0,5-0,8	1 3	1 2,3
«Монитор-Э (ГКНПЦ им. М.В. Хруничева)-сканеры	0,58-0,85 0,54- 0,90	1 3(6)	8 (3) 20/40(6)
«Landsat-7»	0,52-0,90	1	15
«SPOT»1,2,4- сканер	0,50-0,89	3	20
«SPOT» 5	Панхром	1	2,5/5
«Океан-О»	0,8-1,1	2	370
Terra-Modis	0,4 -14,4	36	250
IKONOS	Панхром	1	0,8-1,2
QUICKBIRD	Панхром	1	0,6

## **ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

### **Ландшафты и их структура**

На аэрокосмических снимках изображается ландшафтная оболочка Земли. Согласно современным представлениям, она представляет собой сложную систему с закономерной внутренней организацией.

В пространственном отношении она неоднородна и распадается на взаимосвязанные подсистемы, получившие название природно-

территориальных комплексов (ПТК). ПТК обособляются в результате длительного исторического процесса, вызванного взаимодействием тектоники, климата и геологического строения территории. В России выделены природные зоны - арктические пустыни, тундры, лесотундры, леса, лесостепи, степи, пустыни, субтропики, а также секторы - ВосточноЕвропейский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский и Тихоокеанский. Основные ПТК более мелкого ранга - географические ландшафты.

Ландшафт - генетически однородный ПТК с одинаковыми геологическим фундаментом и климатом, одним типом рельефа. В морфологическом отношении ландшафт складывается из местностей, урочищ, подурочищ, фаций, которые повторяются в его пределах в виде обособленных частей.

Самой простой, неоднократно повторяющейся территориальной единицей ландшафта является фация, для которой характерно сохранение на всем протяжении одинаковых литологии поверхностных пород, характера рельефа и увлажнения, микроклимата, почвенной разности и биоценоза. Фация может быть отождествлена с типом леса.

Фации, имеющие относительно небольшую величину, могут быть выделены лишь по изображениям крупных и средних масштабов при разрешении на местности 1-2 м. В случае дешифрирования снимков мелких масштабов выделяют обычно сочетания фаций - урочища. Урочищам присуща генетическая однородность, основанная на приуроченности к отдельным элементам мезоформ рельефа с амплитудами высот до нескольких десятков метров. Они надежно выделяются при разрешении съемочных материалов не хуже 5-20 м.

Более крупный элемент структуры ландшафта - местность. Каждая из них имеет определенный набор основных и второстепенных урочищ. Для надежного выделения местностей разрешающая способность материалов дистанционных съемок должна быть не хуже 20-100 м.

Ландшафт - основная исходная единица в системе ПТК, занимающего сотни, иногда тысячи квадратных километров. Для ландшафта характерны индивидуальные признаки и свойства, которые выражаются его внешней структурой-набором имеющихся в нем урочищ. Изучение и территориальное отграничение ландшафтов необходимы, прежде всего, для определения зоны экстраполяции признаков дешифрирования. Для выделения ландшафтов могут быть применены материалы космических съемок с разрешением в сотни метров.

У ПТК разных рангов есть свой комплекс индикаторов, отражающихся в рисунке изображения. Основные свойства ландшафта - сопряженность составляющих его компонентов, таких, как рельеф, литогенная основа, почвенный покров, гидрологический режим, растительность. Поэтому комплекс компонентов в том или ином сочетании может выступать в качестве индикатора ПТК.

Индикаторная роль растительности заключается в ее приспособлении к определенным экологическим условиям. Некоторые древесные породы характеризуются довольно узкой экологической амплитудой, произрастая лишь в определенных условиях. Это ель, пихта, кедр, ольха, осина и др. Но многие древесные породы могут приспосабливаться к разным условиям, обладая экологической пластичностью (сосна, береза, дуб и др.). Однако в разных местообитаниях, как правило, различная производительность и состав насаждений. В одном ландшафте производительность насаждений, например, сосняков, может колебаться в пределах четырех - пяти классов бонитета.

Задача ландшафтного дешифрирования - выявление объективно существующих границ пространственно обособленных ПТК. Наблюдаемые на аэрокосмических снимках границы подразделяют на две крупные категории: природные границы, обусловленные рельефом, литологией, гидрологическими и другими особенностями; случайные временные границы, связанные с действием разовых антропогенных или природных факторов (рубка леса, пожары, ветровалы, повреждение леса вредителями и пр.).

Временные границы по мере восстановления лесов могут исчезнуть или стать малозаметными, но могут сделаться и постоянными. Для природных границ характерны плавность и криволинейность, согласующиеся с элементами рельефа, гидрографической сетью, участками с разным гидрологическим режимом и др., а также отсутствие резких границ, поскольку лесная растительность, способная произрастать в условиях разного рельефа, маскирует их. Временным границам во многих случаях присуща четкость различий, как в натуре, так и на аэрокосмических снимках. Это относится, прежде всего, к вырубкам, гарям, прогалинам, поселкам, землям сельскохозяйственного пользования в пределах лесных массивов.

ПТК характеризуются совмещенностью границ литогенной основы, почв и лесного фитоценоза. Это позволяет на основе ландшафтного дешифрирования картографировать почвы, типы леса и условий местопроизрастания, устанавливать характеристику лесов по составу и пр. При этом растительность используют как индикатор для дешифрирования почв и типов леса, а рельеф и подстилающие породы - для дешифрирования состава и производительности леса.

### **Изобразительные свойства аэрокосмических снимков**

Изображение снимка состоит из разных плотностей или цветов, расположение которых соответствует структуре объекта съемки. Плотность или цвет изображения, в свою очередь, являются функцией отражательной способности снимаемого объекта в той части спектра, в которой производится съемка, и светочувствительности приемников.

При дешифрировании объекты опознают по комплексу прямых и косвенных дешифровочных признаков. К прямым относят такие, которые

изображаются на снимках и непосредственно воспринимаются дешифровщиками - тон (цвет), форма, размер, размещение, тени, рисунок.

Тон (цвет) однородных объектов изменяется в значительных пределах и, тем не менее, является важным, а иногда и главным признаком при дешифрировании лесов. Например, по тону на черно-белых снимках в пологе насаждений выявляют кроны отдельных деревьев, темнохвойные леса, не покрытые лесом, и нелесные земли и др. По цвету на цветных спектрзональных снимках надежно различаются хвойные и лиственные леса, погибшие и поврежденные болезнями, вредителями и стихийными бедствиями леса, возобновившиеся вырубки, заросшие кустарниками сенокосы и др.

Особенно велико значение тона (цвета) при дешифрировании мелкомасштабных аэро- и космических снимков, так как другие дешифровочные признаки изображаются на них не всегда. Глаз человека способен визуальнo различить до 25 ступеней серого тона, но обычно при визуальном дешифрировании ограничиваются семибалльной шкалой.

Балл	Тон	Принцип выделения тона	Предел оптической плотности
1	Белый	Крайний визуальнo различимый тон шкалы	<0,1
2	Почти белый	Плотность вуали	0,2-0,3
3	Светло-серый	Минимальная плотность	0,4-0,6
4	Средне-серый	Средняя плотность изображения	0,7-1,1
5	Темно-серый	Максимальная плотность	1,2-1,6
6	Почти черный	Тон, превышающий максимальную плотность	1,7-2,1
7	Черный	Крайний визуальнo различимый тон шкалы	>2,2

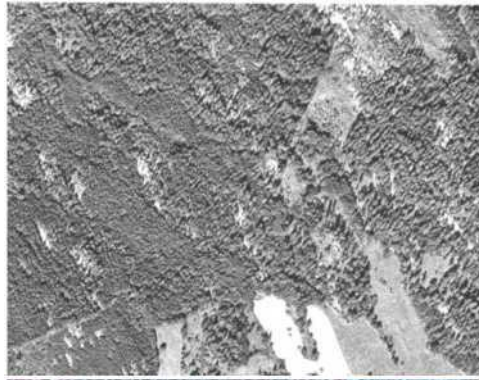
Автоматическое дешифрирование основывается на количественной оценке тона изображения. Современные технические средства преобразуют непрерывное полутоновое изображение в дискретное, или ступенчатое, выделяя до 256 ступеней плотности. Цветовых различий в изображении объектов местности на цветных и спектрзональных аэрокосмических снимках значительно больше, чем различий серых тонов.

Цвет на цветных снимках оценивают по специальным цветовым шкалам, в которых основная характеристика дана по цветовому тону, а дополнительная - по насыщенности цветов.

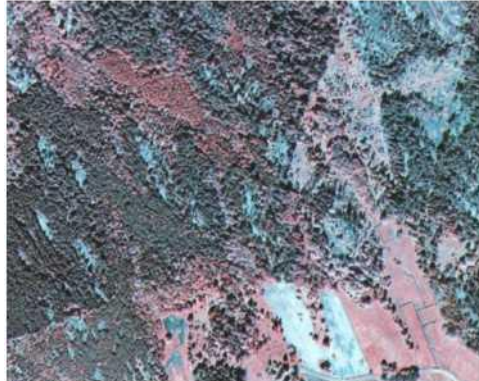
Однако цвета, как и тона, на аэрокосмических снимках не всегда стабильны, они зависят от освещенности объекта. На тон (цвет) изображения влияет также направление рассеяния. Вследствие этого тон воды на черно-белых снимках может изменяться от черного до белого в зависимости от глубины, наличия волн на поверхности воды, отражающих прямой свет.

Тоновые различия при изображении объектов наиболее наглядно проявляются при многозональной съемке.

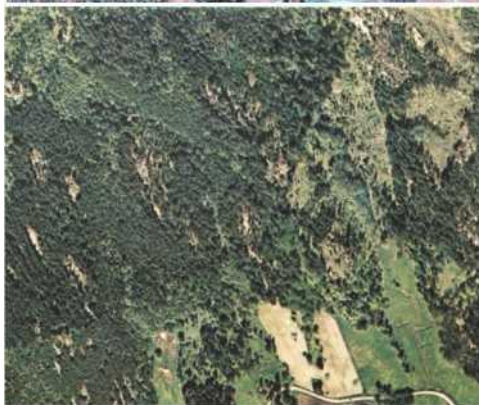




В практике лесного дешифрирования широко применяются цветные спектрозональные фотоснимки, на которых получается изображение в условных цветах, что позволяет выявить ряд характерных особенностей и деталей, которые неразличимы на обычных фотоснимках.



Форма объектов на снимках может быть точечной, линейной, площадной. Точечные объекты опознают на изображениях, но из-за малой (в масштабе изображения) величины их нельзя измерить с помощью приборов и аппаратуры.



Линейные объекты различают по тону (цвету), ширине, длине, извилистости. Дороги, трассы, каналы, противопожарные разрывы имеют более правильную геометрическую форму, чем естественные объекты - реки, границы таксационных выделов.

Площадные объекты характеризуются тоном (цветом), геометрической формой и

размерами. Форма их может быть геометрически определенной (постройки, мосты, вырубки) и служить в этом случае надежным дешифровочным признаком или неопределенной (болота, сенокосы, прогалины, массивы леса). В последнем случае форма часто не может быть надежным дешифровочным признаком.

На аэрокосмических снимках в связи со спецификой съемки форма объекта искажается в горизонтальной и вертикальной плоскостях, особенно в краевой части снимков.

**Размер** - признак менее определенный, чем форма. Однако при дешифрировании лесов по снимкам по размеру крон и высоте леса можно отличить спелый лес от молодняка, по размерам промежутков в пологе насаждений определить сомкнутость и т.п. Размеры объектов могут быть измерены по аэрокосмическим снимкам.

**Размещение объектов** может дать ряд важных характеристик об изучаемой местности. Так, размещение в пологе насаждений крон разных

деревьев, а также промежутков в нем может свидетельствовать о характере состава насаждений, структуре полога, размещении не покрытых лесом и нелесных земель - о степени лесистости, вырубок - о степени интенсивности лесоэксплуатации.

**Тени собственные и падающие.** Собственными называются тени, образовавшиеся на самих объектах от их отдельных частей и расположенные на сторонах, противоположных направлению солнечных лучей. Падающие тени всегда отброшены на земную поверхность или на низкие предметы в сторону, противоположную Солнцу.

Тени облегчают выявление формы объектов. Падающие тени наглядно передают, в частности, формы крон деревьев. Собственные тени крон деревьев способствуют созданию впечатления их выпуклости.

Падающие тени от объектов нередко существенно облегчают дешифрирование рельефа и растительности, опознавание древесных пород. По тени можно измерить и определить высоту объекта. Вместе с тем она маскирует часть территории, чем затрудняет процесс дешифрирования.

**Рисунок изображения** зависит от строения, конфигурации, размеров, взаимного расположения объектов, их тональных (цветовых) различий. Он характеризуется **структурой** (набор форм, размеров, тонов или цветов и цветовых оттенков, участвующих в формировании рисунка) и **текстурой** (пространственное расположение структур, их взаимное сочетание).

Выделяют **тональную** (цветовую) и **геометрическую** структуры. Сочетание тонов (цветов) собственно и формирует изображение; смена их происходит за счет чередования объектов разной яркости. Геометрическая структура определяется конфигурацией, формой границ, разделяющих элементы тональной (цветовой) структуры.

Можно сказать, что структура характеризует содержательное разнообразие природного комплекса, а текстура - геометрическое разнообразие его изображения. Рисунок изображений обычно сложен и включает иерархию структур и текстур.

При характеристике и описании структуры изображения в основу берут размеры и форму элементов, частоту и последовательность сменяемости их в пространстве, степень контрастности и др. В качестве примера приводится характеристика девяти типов структуры изображения, которые были выделены В.М. Жириным на космических фотоснимках высокого разрешения.

**Аморфная** (гладкая, слитная) структура - характерна для изображений озер, болот, лугов, пашен и других открытых участков земной поверхности.

**Точечная** (равномерная, неравномерная) структура - присуща для изображений редин, вырубок с оставленными семенными деревьями или подростом. Размещение точек может быть равномерным или неравномерным.

**Мелкозернистая структура** - образуется совокупностью зерен размером до 0,3 мм, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не превышающее удвоенную

величину диаметра зерен. Этот тип структуры обычно характерен для изображений чистых сомкнутых молодняков.

**Зернистая структура** - совокупность зерен размером до 0,6 мм, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не превышающее удвоенную величину диаметра зерен. Этот тип структуры характерен для изображений чистых по составу или равномерно смешанных средневозрастных сомкнутых насаждений.

**Крупнозернистая структура** - совокупность зерен размером до 1 мм, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не превышающее удвоенную величину диаметра зерен. Этот тип структуры обычно характерен для изображений чистых по составу или равномерно смешанных спелых сомкнутых насаждений.

**Мелкопятнистая структура** - совокупность пятен размером от 1 до 2 мм, равномерно размещенных по полю изображения. Этот тип структуры характерен для изображений спелых средних по сомкнутости насаждений.

**Пятнистая структура** - совокупность пятен размером от 2 до 4 мм, равномерно размещенных по полю изображения. Этот тип структуры характерен для изображений неравномерно смешанных низко сомкнутых насаждений.

**Крупнопятнистая структура.** Образует совокупность пятен размером более 4 мм, неравномерно размещенную по полю изображения. Этот тип структуры характерен для изображений куртинных низко сомкнутых насаждений.

Описательные характеристики и классификации недостаточно полно раскрывают структуру и текстуру. Поэтому в практике словесные описания структур и текстур дополняют снимками-эталоном, которые позволяют на основе сравнений выбрать тип структуры или текстуры, наиболее отвечающий рассматриваемому.

На рисунок изображения одних и тех же объектов влияют сезонный аспект, спектральный диапазон, направление и масштаб съемки. Многие природные объекты в разные сезонные периоды меняют свой облик, цветовую гамму. Специфические особенности леса в зимний, весенний, летний и осенний периоды сказываются на структуре изображения.

Характер изображения может зависеть и от фона. Например, обезлиственный лес на фоне опавших листьев и лес на фоне выпавшего снега имеют свои особенности. В то же время для большинства объектов местности характерно наличие относительно стабильных элементов рисунка изображения, не зависящих от сезона и атмосферно-оптических условий съемки.

Рисунок изображения создается комплексом всех формирующих признаков. Он зависит от характера местности, масштаба изображения, разрешающей способности снимков, типов фотоматериалов и условий съемки.

На сверхкрупномасштабных снимках лесов (1:2000 и крупнее) рисунок создается кронами деревьев, их тенями (если съемка выполнена при Солнце)

и фоном. На снимках заметны даже отдельные ветви. Какого-либо существенного влияния на рисунок изображения ландшафтные особенности местности, в том числе тип условий местопроизрастания, не оказывают, поскольку даже фация (минимальная единица ПТК), как правило, значительно больше площади на снимке.

На крупномасштабных снимках (1:2000-1:10000) рисунок изображения также создается кронами деревьев, но кроны изображаются в более генерализованном виде, рисунок в большей степени определяется структурой полога.

На средне- и особенно мелкомасштабных снимках изображаются не отдельные кроны деревьев, а их совокупности, группы, но общая структура полога читается отчетливо.

На космических снимках низкого разрешения изображение массивов леса воспринимается как единое целое, имеющее свой специфический рисунок в зависимости от видового состава насаждений, рельефа, гидрографической сети, геологического строения территории, степени освоенности территории и пр.

На рисунок изображения наряду с ПТК существенно влияет хозяйственная деятельность человека как на территории, занятой лесом, так и на безлесных площадях. Сплошная и выборочная рубки леса, гидролесомелиоративные мероприятия и т. д. вносят специфические изменения в характер облика изображения, в его рисунок.

При переходе от масштаба к масштабу претерпевают изменения все элементы рисунка (тон, цвет, размеры и форма), вызывая тем самым изменение всего изображения. При уменьшении масштаба изображение обобщается. Исчезают черно-белые полутона, причем тем быстрее, чем меньше контуры и контраст их изображения. На цветных снимках обобщенным цветом изображаются объекты, которые включают элементы разных цветовых оттенков.

Если на крупномасштабных изображениях видны кроны или группы крон деревьев разного цвета, то на мелкомасштабных, особенно космических снимках низкого разрешения, изображения имеют обобщенный вид.

При уменьшении масштаба линейные контуры обобщаются, выпрямляются и упрощаются в результате исчезновения мелких извилин. Размытые границы становятся контрастными и более узкими, приближаясь к линейным.

Таким образом, по мере уменьшения масштаба все в большей степени на рисунок изображения влияет характер структуры ПТК разных рангов - фаций, урочищ, местностей, ландшафтов. Изображение одной территории на аэрокосмических снимках разных масштабов может иметь разную структуру, поэтому при изучении дешифровочных признаков следует учитывать масштаб снимка.

**Косвенными дешифровочными признаками** являются взаимосвязи объектов и их характеристик в пространстве и во времени, опирающиеся на результаты логической интерпретации, основанной на знаниях о закономерностях и взаимосвязях между объектами, их характеристиками и природной средой.

К числу важнейших косвенных признаков следует отнести взаимосвязи между таксационными показателями древостоев и полога насаждений. Например, взаимосвязи между размером кроны дерева, видимой на снимке, и диаметром на высоте груди или возрастом дерева, которые на снимке не отображены.

Исключительно важными, особенно при дешифрировании мелкомасштабных космических снимков, косвенными признаками являются ландшафтные (природные) признаки, характеризующие природную структуру местности (рельеф, его формы, гидрография, типы почв). Для природно-территориальных комплексов характерен специфический тип рисунка, позволяющий при дешифрировании выделять различные категории земель, определять их местоположение в структуре рельефа и устанавливать характеристики лесов.

Так, в горных условиях наблюдается тесная взаимосвязь между высотой над уровнем моря, экспозицией и крутизной склона с составом произрастающих насаждений и их производительностью. По составу растительности можно с определенной степенью достоверности судить о типах почв, условиях местопроизрастания, продуктивности насаждений.

Важными косвенными признаками являются **антропогенные**, созданные человеком. При этом используются связи между объектами, их положением, организацией территории. Например, при дешифрировании на космических снимках вырубок дополнительным признаком является сеть лесовозных дорог, примыкающих к ним.

Выделяют также **природно-антропогенные** косвенные признаки, к которым относят зависимость хозяйственной деятельности человека от определенных природных условий. Например, по размещению некоторых видов сельскохозяйственных культур можно судить о свойствах почвы, её увлажненности. Наличие осушительных канав на территории лесного фонда свидетельствует об изменении водного режима территории и потенциальной продуктивности насаждений.

Объекты, используемые при опознавании и определении характеристик недешифрирующихся непосредственно объектов, называют индикаторами, а дешифрирование индикационным.

### **Информационные свойства снимков**

Цель дешифрирования снимков - извлечение из них информации. Различают полную, оперативную и извлеченную информацию. Полная информация - та, которую в каждом конкретном случае принципиально

возможно извлечь при условии выбора аэрокосмических снимков с наиболее благоприятными характеристиками и свойствами.

В практике приходится использовать снимки, отличающиеся от оптимальных меньшим объемом информации. Информация, которую в принципе можно получить дешифрированием данных снимков, называется оперативной. Извлеченная информация почти всегда меньше оперативной из-за ошибок дешифрирования, несовершенства технических средств и пр.

Одни сведения, содержащиеся в снимках, являются информацией, другие - более или менее ясно выраженной помехой («шумом»). Извлеченная информация может быть представлена в виде описаний, числовых характеристик, графиков, карт или выражена в единицах информации - битах.

Дешифрируемость снимков  $D$ , определяющая объем информации, который может быть получен при решении конкретной задачи, характеризуется отношением оперативной информации к полной.

Результаты дешифрирования зависят от информационной емкости съемочных материалов, которая находится в прямой зависимости от разрешающей способности и контрастности. Информация передается скоплением отдельно различимых точек - ее носителей. Объем информации зависит от размера точек (пикселей), слагающих фотографию, и числа различимых тонов (цветов).

Информационная емкость снимков увеличивается в большей степени с повышением разрешающей способности и значительно медленнее возрастает с увеличением числа различимых тонов. Однако смысловое значение информации значительно больше зависит от степени возрастания ее объема с увеличением числа тонов.

### **Фотометрический анализ изображений**

Изображение местности, полученное с помощью фотографических и других систем - это сочетание разных плотностей, расположение которых соответствует структуре изображенных объектов, поэтому плотности, соответствующие объекту или его частям, можно измерить и выразить количественно.

Наиболее простой способ измерения плотностей изображения негатива или позитива - визуальная оценка. Визуально относительно надежно (точность  $\pm 10\%$ ) оценивают семь тонов черно-белой эталонной шкалы. Инструментально с помощью микрофотометрических приборов выделяют до 256 градаций плотности с точностью  $\pm 0,01\%$ . При этом инструментальное дешифрирование объективно и не зависит от индивидуальных качеств дешифровщика.

При фотометрировании измеряют плотности на негативе или позитиве, соответствующие определенным объектам (например, кронам ели, сосны, березы) и промежуткам между ними. Выполнив серию измерений однотипных объектов, вычисляют среднюю оптическую плотность:

Если среднее значение оптической плотности характеризует тон изображения, то дисперсия служит мерой разброса оптических плотностей вокруг среднего значения и характеризует контраст изображения. По величине средних оптических плотностей или их отношениям и дисперсиям можно расклассифицировать объекты по однородным классам, например, определить представленность в пологе насаждения крон некоторых древесных пород.

Достоверность результатов повышается при сравнении оптических плотностей не в одной, а в нескольких зонах спектра по снимкам, полученным при многозональной съемке.

## **Преобразование информации**

С помощью дистанционных средств съемочная информация может быть получена в виде фотографического изображения (негативов), аналоговых сигналов, записанных на магнитном носителе или преобразованных в цифровую форму и записанных на магнитном носителе. Обычно съемочная информация предварительно проходит стадию обработки и преобразования с целью подготовки ее к визуальному или машинному дешифрированию. Выделяют три вида обработки и преобразования информации: фотографическую обработку; преобразование записанных на магнитную ленту сигналов из аналоговой в цифровую форму и получение записи, пригодной для обработки на ЭВМ.

## **ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРО - И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

### **Объекты и методы лесного дешифрирования**

Объектами лесного дешифрирования по материалам аэро- или космических съемок являются: а) лесной фонд и составляющие его или находящиеся на его территории объекты, а также происходящие в нем различные события и явления; б) количественные и качественные характеристики этих объектов, явлений и событий.

Объектами дешифрирования могут быть: участок лесного фонда (лесной массив), таксационный выдел, представленный насаждением, различными категориями не покрытых лесом и нелесных земель (вырубки, гари, прогалины, болота, сенокосы, пашни, дороги, гидрография и пр.), группа деревьев, дерево или его часть, различные строения и сооружения, очаги горения в лесу, пожарища, разливы нефтепродуктов, горные разработки и т. д., а также таксационные показатели и другие количественные и качественные характеристики дешифрируемых объектов.

Дешифрирование может быть визуальным (глазомерным, аналитическим), измерительным, автоматическим (машинным), а также производным от них: аналитико-измерительным и автоматизированным (интерактивным).

**Визуальное дешифрирование** основано на глазомерном анализе изображения изучаемого объекта на аэро- или космическом снимке (на бумажном носителе или экране дисплея) не вооруженным глазом или с помощью увеличительных или стереоскопических приборов, информация с изображения считывается зрительным аппаратом дешифровщика и анализируется его логическим аппаратом. Поэтому его часто называют **аналитическим**.

**Измерительное дешифрирование** предусматривает измерение на снимках ряда параметров и характеристик дешифрируемых объектов с помощью механических, оптико-механических, оптико-электронных и других измерительных инструментов, приборов, устройств и систем.

**Аналитико-измерительное дешифрирование** сочетает визуально-логический анализ изображения с измерением различных параметров дешифрируемых объектов.

**Автоматическое дешифрирование** основывается на использовании вычислительных машин и соответствующих программных продуктов для распознавания по спектральным (структурным, текстурным) характеристикам дешифрируемых объектов и их количественных и качественных показателей.

**Автоматизированное (интерактивное) дешифрирование** сочетает в себе элементы аналитико-измерительного дешифрирования, выполняемого дешифровщиком с автоматическим дешифрированием. Таким образом, при нем анализируется и обрабатывается съемочная информация при активном параллельном участии оператора-дешифровщика.

Визуальные и машинные методы имеют свою специфическую методическую основу. При визуальном дешифрировании использование дешифровочных признаков носит качественный, а результаты, соответственно, имеют субъективный характер.

При машинном дешифрировании дешифровочные признаки в большинстве случаев преобразуются в цифровую форму, а решения принимаются по количественным критериям. Но это не значит, что достоверность визуального дешифрирования всегда ниже, чем машинного. В целом ряде случаев возможности визуального дешифрирования несравнимо больше, чем машинного. Человек может, располагая ограниченной информацией, используя свой логический аппарат и накопленные знания и опыт, преобразовывать дешифровочные признаки применительно к конкретным условиям, привлекать косвенные признаки, исключать некоторые «шумы» и пр. Поэтому, например, при лесотаксационном дешифрировании крупно- и среднемасштабных снимков применяют преимущественно визуальное (аналитико-измерительное) дешифрирование.

В зависимости от места проведения дешифрирования оно может быть **камеральным, полевым** (выполняемым непосредственно на местности), **аэровизуальным и комбинированным**.

**Полевое дешифрирование** производят непосредственно на местности путем сопоставления аэро- или космоснимка с натурой. Метод полевого



дешифрирования является наиболее простым и объективным, но требует больших затрат времени и труда. Оно широко применяется при выполнении полевых съемочно-геодезических и лесотаксационных работ, а также при проведении различных видов обследований. Полевое дешифрирование бывает, как правило, визуальным. При нем могут применяться простейшие приборы (лупы, портативные стереоскопы и др.) для анализа изображения.

**Камеральное дешифрирование** проводят в лабораторных условиях. Преимущество этого метода заключается в ускорении работ и значительном снижении их стоимости. Камеральное дешифрирование аэро- (космических) изображений проводят в лабораторных условиях, обеспечивающих более тщательный и детальный анализ их и позволяющих применять более сложные инструменты и стационарные приборы, в том числе современную оптико-электронную технику.

Камеральное дешифрирование всегда выполняют с привлечением дополнительных картографических, литературно-справочных и других материалов. Во многих случаях оно не может обеспечить получение полной и достаточно точной информации о всех дешифрируемых объектах, поэтому применяется в сочетании с определенным объемом полевых работ.

**Аэровизуальное дешифрирование** производят путем сопоставления изображений распознаваемых объектов на аэро- или космических снимках с местностью при полетах на самолетах или вертолетах, как правило, легкомоторных. Основным достоинством аэровизуального дешифрирования является его быстрота, основным недостатком - крайне ограниченное время для опознавания объекта на местности и его характеристик из-за большой скорости полета.

Поскольку ни один из рассмотренных выше методов дешифрирования лесов не может полностью удовлетворить практику, применяют обычно сочетание методов: полевого и камерального, или полевого, камерального и аэровизуального, называемых **комбинированными методами**.

### **Исходные положения лесного дешифрирования**

Для успешного дешифрирования лесов по аэрокосмическим снимкам дешифровщик должен иметь хорошую профессиональную подготовку в области лесоводственных наук и обладать комплексом знаний по аэро- и космической съемке, дешифрированию, компьютерной технике.

Количественные и качественные характеристики объектов, изображенных на снимках, устанавливаются их дешифрированием на основе анализа присущих им дешифровочных признаков, а также по существующим взаимосвязям и взаимозависимостям между дешифровочными признаками и показателями, которые необходимо определить при дешифрировании.

Для этого нужно знать дешифрируемые объекты, взаимосвязи лесных объектов с элементами ландшафта, закономерности строения древостоев, а также спектральные, структурные и текстурные особенности изображений тех или иных объектов.

Дешифровщик должен уметь также работать с комплексом соответствующих технических и программных средств, позволяющих анализировать аэрокосмические изображения с помощью средств космической техники с использованием ГИС-технологий.

### **Последовательность дешифрирования аэрокосмических снимков**

Процесс дешифрирования снимков включает в себя ряд этапов: привязка снимков, обнаружение и опознавание объектов, их интерпретация и экстраполяция.

**Привязка снимков** - первый этап работ. Заключается в определении пространственного (географического) положения территории, изображенной на снимке. Она осуществляется при помощи географических, топографических или тематических лесных карт масштаба, соответствующего масштабу снимка или мельче его, а также инструментов навигации.

Ориентирами для привязки служат гидрографическая сеть (реки, озера, береговая линия водоемов), дороги, трассы, населенные пункты и пр. отображенные на снимке и картах объекты. Если организация, обеспечивающая прием информации из космоса и последующее ее распространение, предоставляет вместе со снимками их географические координаты или схемы (картограммы) пространственного расположения снимков, то данный этап работ значительно упрощается или исключается совсем.

**Обнаружение объектов** - выделение различных рисунков изображения, характерно преимущественно для снимков низкого пространственного разрешения и сопровождается, как правило, опознаванием дешифрируемых объектов или их групп. При самостоятельной привязке изображений этот этап сливается с предыдущим.

**Опознавание объектов** - или их идентификация включает анализ всего комплекса прямых признаков дешифрирования: тона (цвета), формы, рисунка (структуры, текстуры), размеров изображения, а также косвенных признаков, указывающих на сопряженность распознаваемых объектов с другими объектами или природными и антропогенными особенностями.

**Интерпретация** - заключается в распознавании и выделении опознанных дешифрируемых объектов и определении их характеристик по прямым и косвенным признакам по определенному принципу в зависимости от тематической направленности дешифрирования.

При картографировании и инвентаризации лесов распознаются и картографируются категории земель лесного фонда, а покрытые лесом площади подразделяются на таксационные выделы в соответствии с принятой классификацией (преобладающие породы или их группы, группы возраста, полноты, условий местопроизрастания и др.).

**Экстраполяция** - включает идентификацию аналогичных объектов по всей территории, изображенной на снимке или нескольких снимках на

изучаемый район, полученных в одних и тех же атмосферно-оптических условиях.

### **Стереоскопический эффект**

Бинокулярное и стереоскопическое зрение. Человек может рассматривать объекты местности и снимки непосредственно невооруженными глазами или с помощью оптических устройств. Зрение может быть монокулярное - одним глазом и бинокулярное - двумя глазами. Частным случаем бинокулярного зрения является стереоскопическое, при котором наблюдатель воспринимает пространственно расположение разноудаленных объектов и их формы.

Стереоскопическая съемка и стереоэффект. Объемное пространственное представление о предметах можно получить, если рассматривать не сами предметы, а два их изображения, снятые из двух точек, расстояние между которыми представляет базис съемки.

Наблюдатель воспринимает в этом случае пару плоских изображений пространственно. Такое восприятие называют прямым стереоэффектом, которая будет наблюдаться только в пределах перекрытия снимков.

Два смежных частично перекрывающихся снимка, полученных с концов некоторого базиса, называют стереопарой. Отсюда требование обеспечения 60 % продольного перекрытия снимков при съемке равнинной местности.

Способы стереоскопических наблюдений фотоснимков. Главное условие получения стереоэффекта по фотоснимкам - раздельное их наблюдение, при котором каждый глаз видит один из двух снимков. Для облегчения стереоскопического наблюдения снимков используют оптические бинокулярные системы - стереочки, стереоскопы и более сложные приборы.

Стереоскопы применяют при наблюдении снимков на твердой основе, а также раздельно визуализированных на экране монитора изображений. При компьютерной стереофотограмметрической обработке снимков используют способы анаглифический и поляроидов.

### **Стереоскопические измерения по аэрофотоснимкам**

Зависимость между высотой и разностью продольных параллаксов. При лесном дешифрировании аэрофотоснимков часто возникает необходимость в определении высоты объекта. Для этого применяют способы, основанные на измерении разности продольных параллаксов.

Техника измерения продольных параллаксов. Для измерения продольных параллаксов применяют приборы со специальными приспособлениями в виде визирных марок.

На этом принципе основаны конструкции всех стереофотограмметрических приборов, предназначенных для определения по

аэрофотоснимкам высотных отметок местности, в том числе высоты деревьев и древостоев.

### **Технические средства, применяемые при дешифрировании аэрокосмических изображений**

При лесном визуальном и аналитико-измерительном дешифрировании материалов аэрокосмических съемок применяют различные инструменты, приспособления, приборы, компьютеры. Традиционные приборы и инструменты условно можно разделить на увеличительные, измерительные, стереоскопические и стереофотограмметрические.

**Увеличительные приборы.** Предназначены для увеличения размеров изображения объектов на аэрокосмических снимках. Это различные монокулярные и бинокулярные лупы, в том числе со шкалами для измерения линейных размеров дешифрируемых объектов и подсветкой.

**Измерительные приборы и инструменты.** Это циркуль-измеритель, масштабная и измерительная линейки, пропорциональный циркуль, измерительная лупа, измерительные пластины, клинья, палетки, различные шкалы тонов и цветов и пр.

**Стереоскопические приборы.** К ним относятся стереоскопы разных конструкций: линзовые, линзово-зеркальные, сканирующие стереоскопы, стереофотограмметрические приборы.

### **Средства компьютерной техники.**

Новые возможности для визуального и аналитико-измерительного дешифрирования появляются при использовании современных персональных компьютеров. В практике лесного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок, как сканерных, так и фотографических, все большее место занимают цифровые методы, базирующиеся на современных компьютерных технологиях.

Использование компьютеров вместе со специальным программным обеспечением позволяет обрабатывать в интерактивном или автоматическом режиме, объединять и совместно анализировать разнородную информацию - изображения, карты, табличные, текстовые и другие данные. Компьютерная техника позволяет получать на экране компьютера различные варианты синтезированного многозонального изображения. Увеличивать многократно изображение дешифрируемого объекта, осуществлять визуальное контурное и лесотаксационное дешифрирование, проводить в автоматизированном режиме различные измерения и определения, такие, как сомкнутость полога, диаметры и площади крон деревьев, число видимых на снимке деревьев, в том числе по породам или их группам.

Средства компьютерной техники позволяют осуществлять дешифрирование аэро- или космических изображений в интерактивном и автоматическом режимах. Эти методы дешифрирования в последние 10-20

лет получили мощное развитие в связи с появлением персональных компьютеров нового поколения и развитием на базе их геоинформационных технологий.

В основе этих методов разбиение (классификация) изображенной на снимке территории на однородные по спектральным и текстурным характеристикам классы.

Основные требования к средствам компьютерной техники для дешифрирования данных дистанционного зондирования следующие:

- наличие магнитных носителей большой ёмкости;
- высокая производительность компьютерной системы;
- система визуализации изображений (видеокарта - монитор) должна обеспечивать высокое разрешение, контрастность, хорошую цветопередачу, обзорность и соответствовать требованиям международного стандарта, определяющего предельные значения электромагнитного излучения;
- система вывода должна обеспечивать качественную печать документов на бумажные носители нужного формата с полным соответствием цветов на экране и на бумаге;