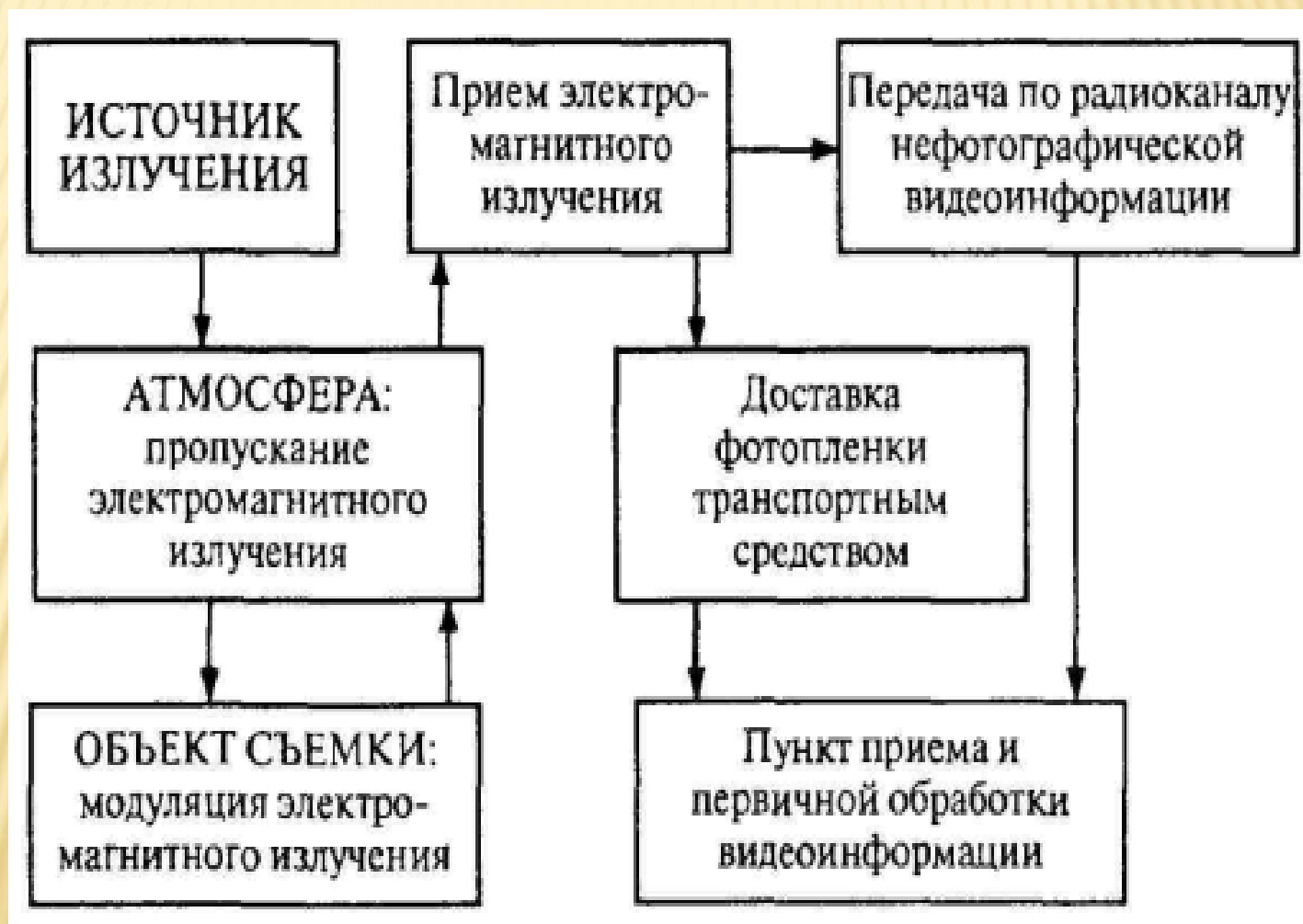


«АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ»

Определение АКС

- ✘ Аэро- и космические съёмки (АКС) - первые технические этапы дистанционного зондирования. На данных этапах выполняют измерение (регистрацию) отражённого или собственного электромагнитного излучения.
- ✘ Результаты регистрации электромагнитного излучения, представленные в виде изображения изучаемого объекта(участка земной поверхности)в аналоговой или цифровой форме записи называют видеоинформацией
- ✘ При дистанционном зондировании Земли в настоящее время наиболее широко применяются пассивные съёмочные системы (фотографические и оптико-электронные), а из активных - радиолокационные системы бокового обзора (РЛС БО) и лазерные системы.
- ✘

Схема получения первичных данных АКС



Электромагнитное излучение, используемое при аэро- и космических съёмках земной поверхности



Роль атмосферы при проведении аэро- и космических съёмок

Атмосфера представляет собой фильтр с достаточно нестабильными пропускными характеристиками.

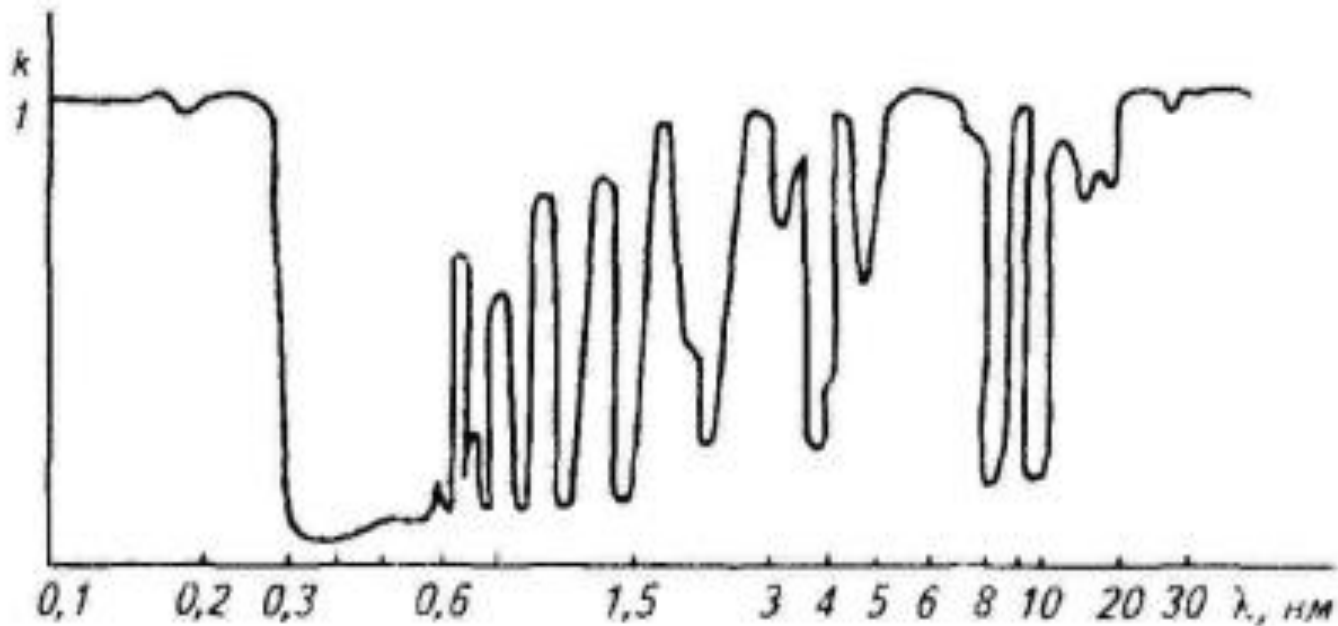
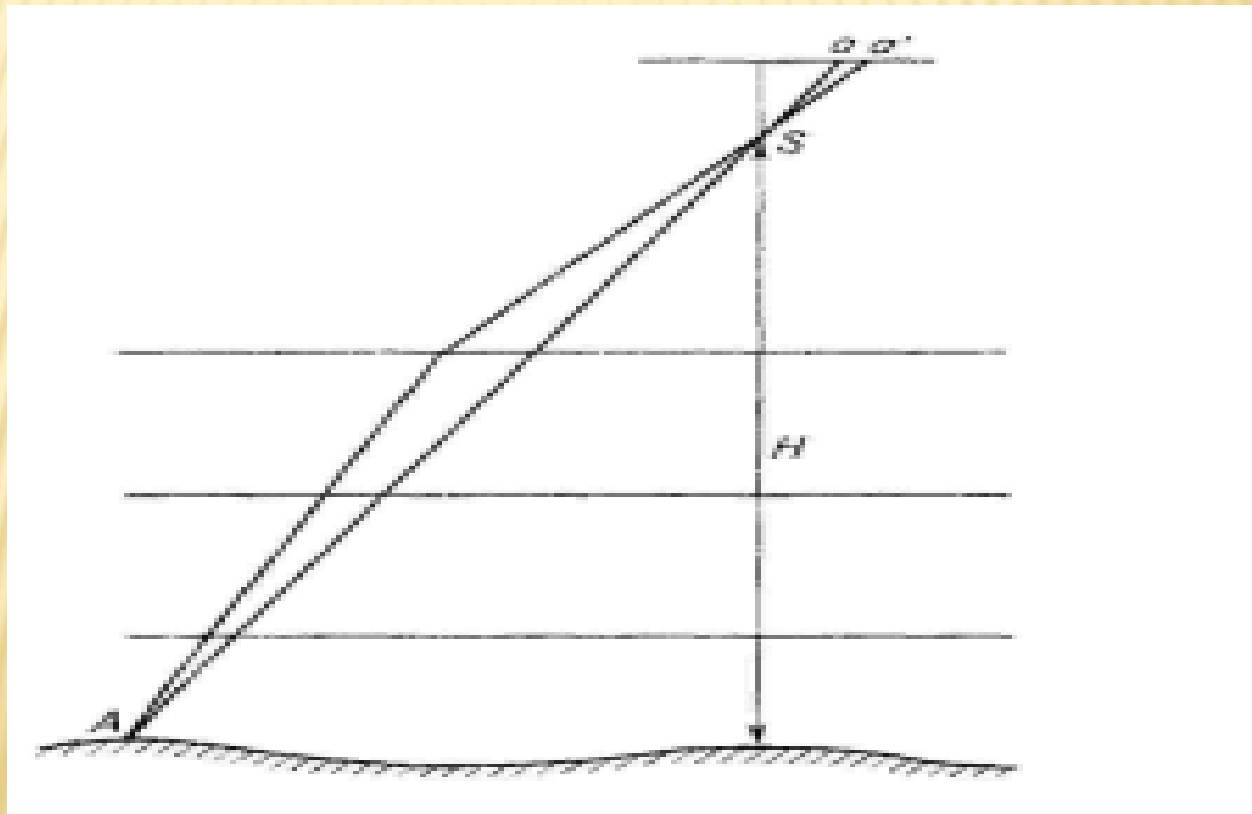


График пропускной способности атмосферы

Влияние вертикальной (фотограмметрической) рефракции атмосферы на деформацию изображения

Атмосферная рефракция - это искривление светового луча, направленного к объективу съёмочной системы. Объясняется это тем, что в атмосфере происходит уменьшение плотности воздуха с увеличением высоты относительно земной поверхности. При прохождении светового луча из области с большей плотностью в область с меньшей плотностью происходит его отклонение.



Объекты земной поверхности как отражатели и излучатели энергии

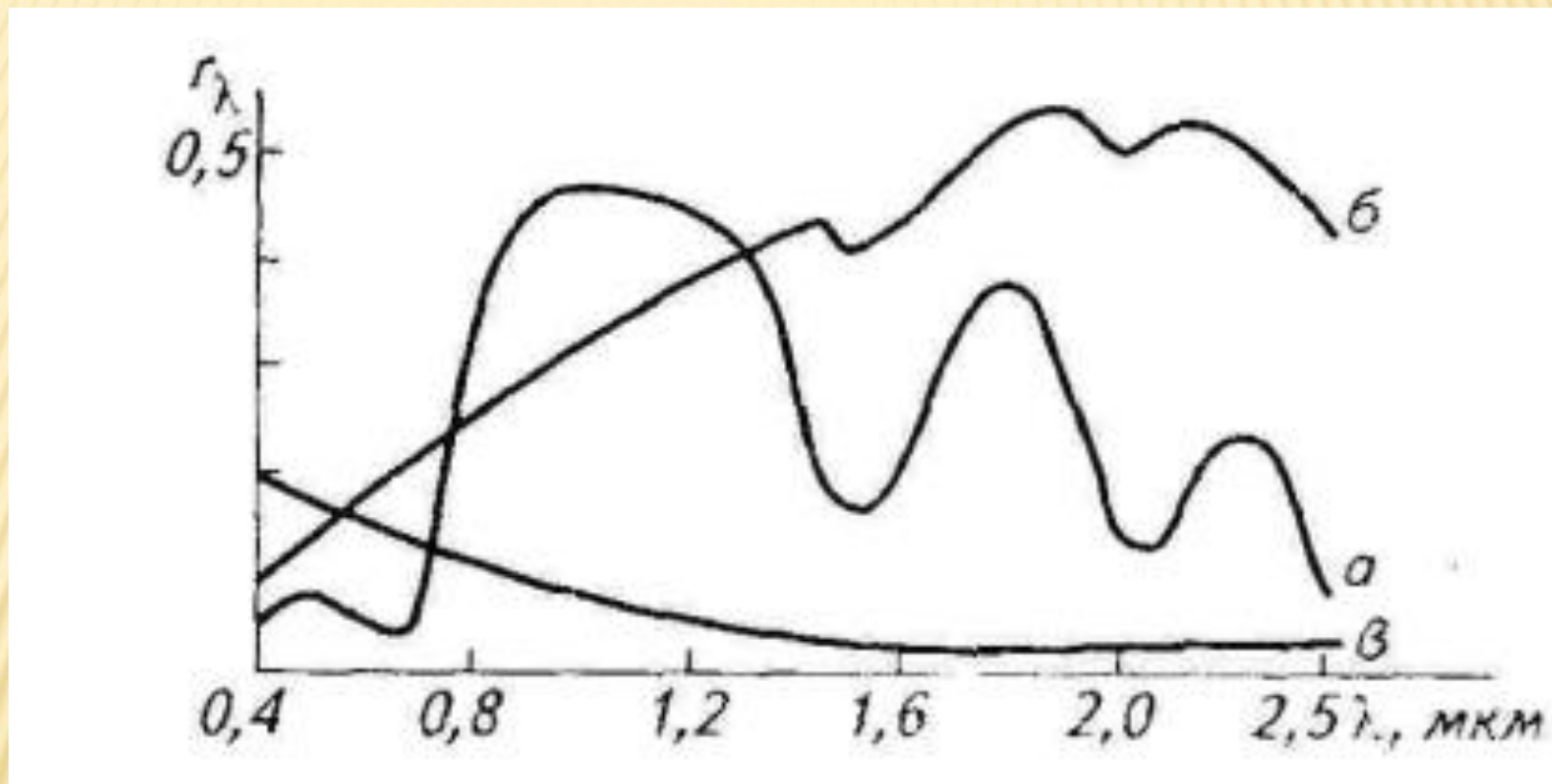
Полнота и достоверность информации, получаемой при съёмке земной поверхности, зависит в значительной мере от правильного учёта свойств энергетического поля, создаваемого объектом съёмки.

Если яркости измеряли в узких спектральных зонах, то их называют монохроматическими яркостями. Отношение монохроматических яркостей объекта (B_λ) и идеально отражающей поверхности ($B_{0\lambda}$), измеряемых при одинаковых условиях освещения и наблюдения, называют коэффициентом спектральной яркости r_λ (КСЯ).

Коэффициенты интегральной и спектральной яркости зависят (общий случай) от многих факторов: $r_\lambda = f(\lambda, h_0, A_0, D/Q, A, \varphi, \dots)$

где λ - длина волны, на которой определяется КСЯ, A_0 - азимут Солнца относительно структуры поверхности объекта, D - поток рассеянной радиации, падающей на поверхность объекта, Q - поток суммарной радиации, падающей на поверхность объекта, A -азимут направления наблюдения относительно плоскости главного вертикала, h_0 - высота Солнца, φ - угол отклонения направления наблюдения от отвесного положения.

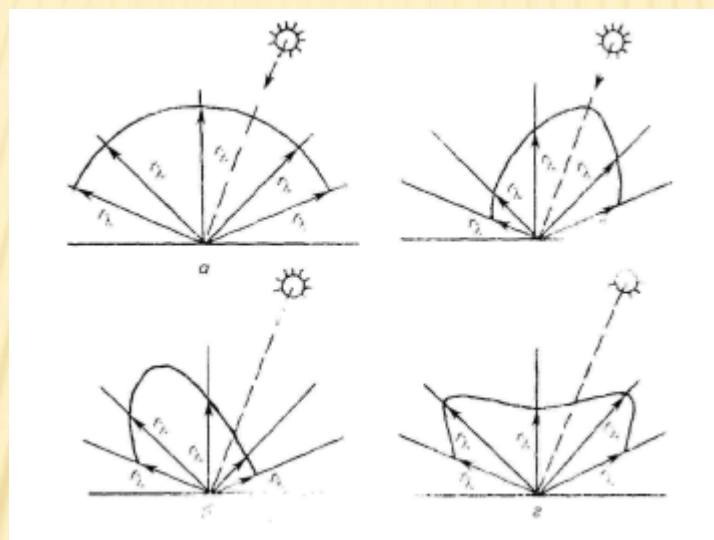
Графики КСЯ основных классов природных образований



а-растительность, б-почвы и горные породы, в-водные поверхности.

Пространственное распределение отражённой световой энергии

Для описания используют понятие «индикатриса рассеяния»
Сечение индикатрис рассеяния основных типов поверхностей
(направление сечений совпадает с плоскостью падения лучей)



а-отражающие равномерно, б-отражение в сторону источника, в- зеркальное отражение, г- смешанное отражение

Классификация съёмочных систем

по типу летательного аппарата, на котором установлена съёмочная аппаратура;

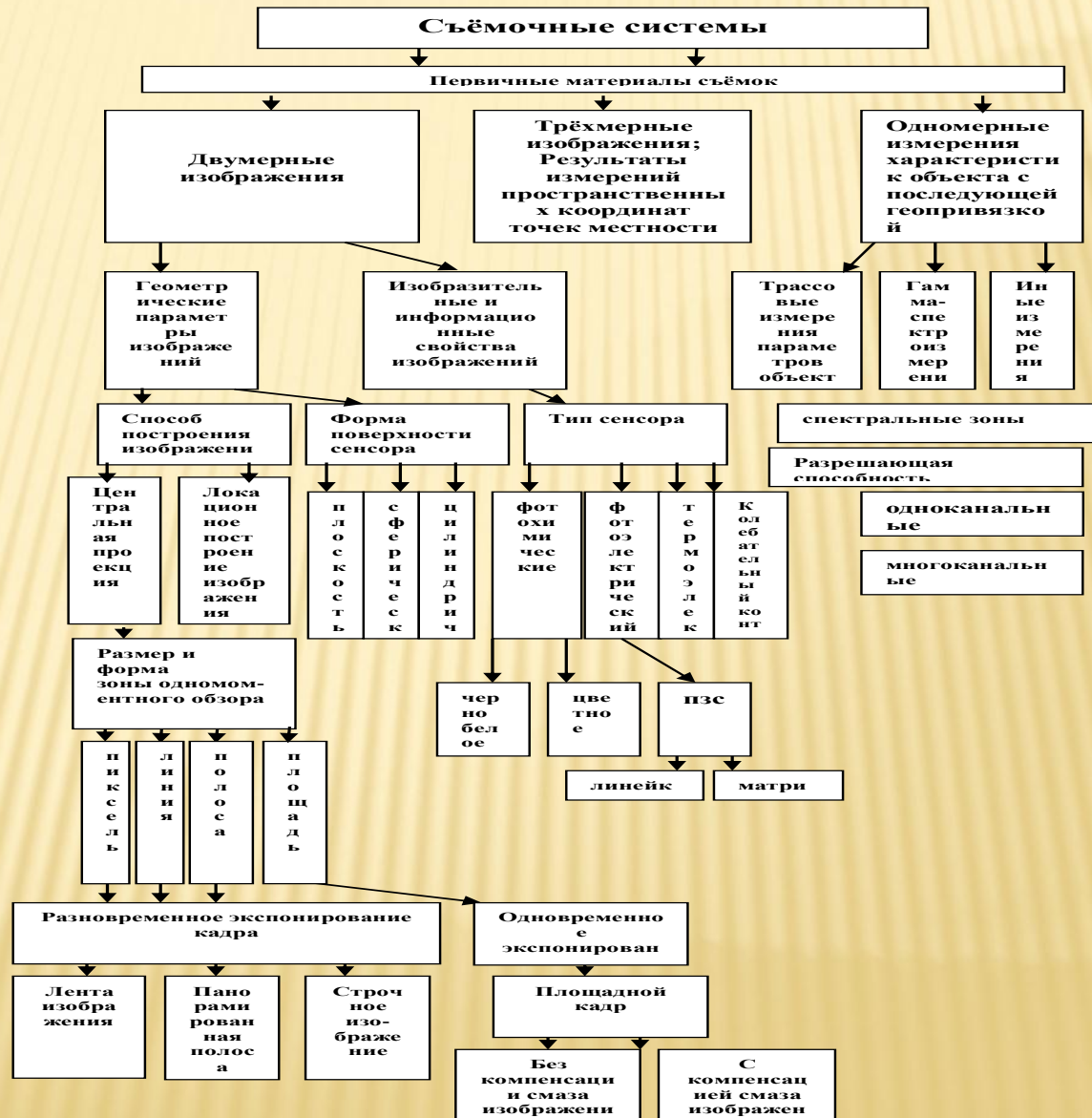
-пассивные системы, регистрирующие отраженное солнечное или собственное излучение, и активные, фиксирующие отраженное объектом излучение, после его облучения радаром или лазером;

-регистрирующие излучение в оптическом или радиодиапазоне; однозональные и многозональные.

-фотографические и нефотографические съёмочные системы. В фотографических системах в качестве приёмника излучения (сенсора) используют фотографические чёрно-белые или цветные плёнки. Цвет изображения может быть натуральным или -псевдоцветным (не натуральным - при спектрональном фотографировании). В нефотографических системах используют различные типы сенсоров: фотодиоды, термодатчики, приборы зарядовой связи (ПЗС-матрицы и ПЗС - линейки) и т.п. Результаты съёмки, полученные нефотографическими системами, представлены в цифровом формате;

-использующие различные законы построения изображения: центральную проекцию (кадровые - фотографические и телевизионные системы), строчно-кадровую развёртку (сканеры) и иные законы.

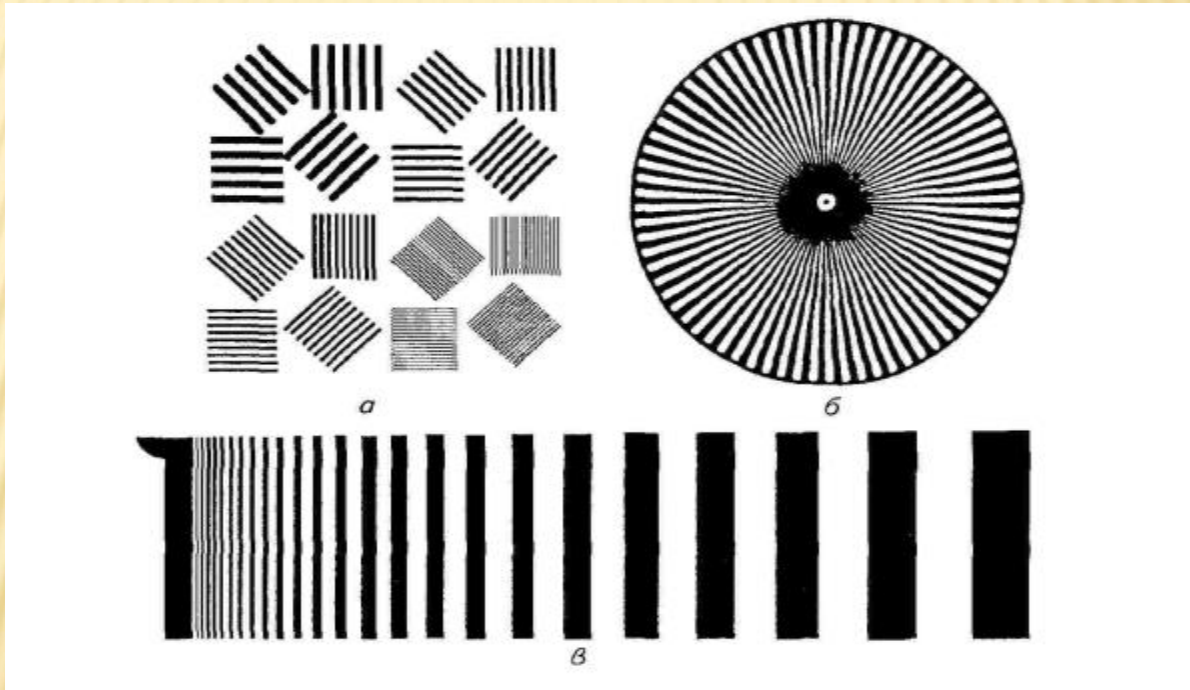
Классификация съёмочных систем



Основные критерии съёмочных систем (СС)

линейная разрешающая способность, спектральная разрешающая способность, фотограмметрическая точность, фотометрическая точность

-Линейной разрешающей способностью съёмочной системы называют её возможность отдельно воспроизводить на снимке мелкие детали снимаемого объекта.



Типы тест-объектов (мир) для определения разрешающей способности СС:

а- штриховые, б- радиальные, в- П-образная мира с изменением частоты штрихов

Разрешающая способность съёмочных систем, в которых приёмниками излучения служат ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы (сканеры и цифровые кадровые системы), выражается количеством элементов или линий в одном дюйме изображения - dpi(dots per inch - точек на дюйм) или lpi(line per inch- линий на дюйм)

-Под термином спектральная разрешающая способность съёмочной системы понимают минимальную ширину спектральной зоны, в которой производится съёмка.

-Фотограмметрическая точность съёмочных систем - критерий геометрического искажения получаемого снимка. Степень геометрического искажения определяется позиционной точностью построения оптического изображения и последующей деформацией данного оптического изображения приёмником излучения

-Съёмочные системы, обеспечивающие регистрацию пропорций яркостей элементов снимаемой местности по полю изображения, относят к фотометрическим. Причинами, снижающими фотометрическую точность, могут быть оптический тракт съёмочной системы, нестабильность работы её электронной цепи, непропорциональность регистрации сигналов сенсором и др

Фотографические съёмочные системы

Достоинства фотографического способа хранения информации заключаются в том, что:

изображение представляет собой аналоговую модель снимаемого объекта в виде двумерного распределения функций его яркости (оптической плотности или цвета);

достаточно строгая пропорциональности оптической плотности (цвета) на снимке яркостям объектов;

высокая изученность фотографического процесса и возможность управления им;

высокая разрешающая способность получаемых изображений.

Существенными недостатками фотографического способа регистрации электромагнитного излучения можно считать:

ограничение спектральной зоны съёмки в пределах $0,3 \dots 1,1 \mu\text{м}$;

необходимость проведения фотохимической обработки;

неоперативность доставки получаемой информации;

зависимость от погодных условий;

необходимость проведения специальной процедуры преобразования аналогового изображения в цифровое для дальнейшей компьютерной обработке снимков.

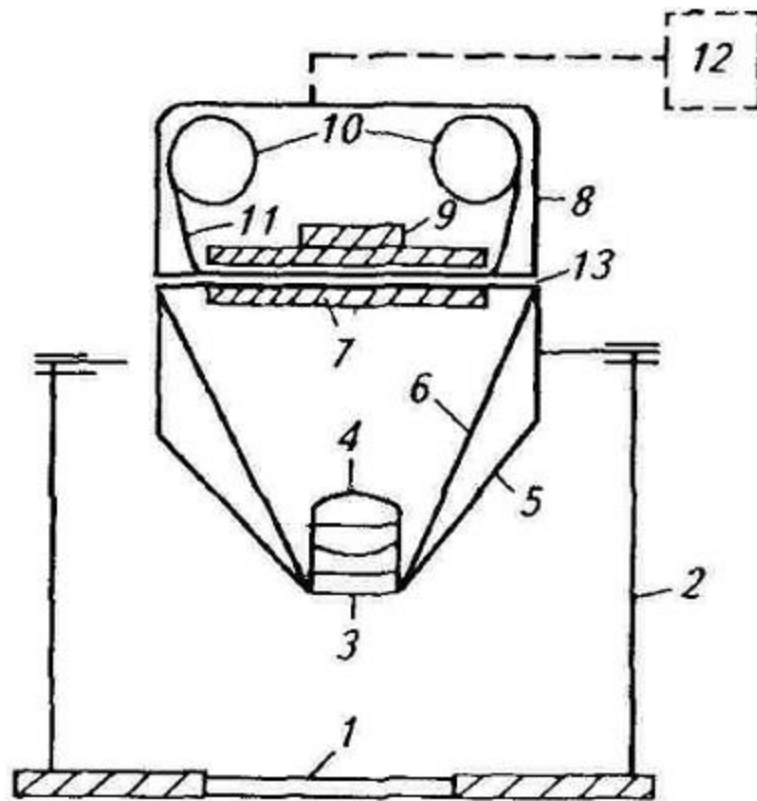


Схема устройства аэрофотоаппарата: 1-стекло люка самолёта; 2-аэрофотоустановка; 3-светофильтр объектива; 4-объектив; 5-корпус аэрофотокамеры; 6-оптический блок АФА; 7-выравнивающее стекло; 8-приёмная и передающая фотокассеты; 9-прижимной стол; 10-приёмная и передающая катушки с аэрофотоплёнкой; 11-аэрофотоплёнка; 12-пульт управления; 13-прикладная рамка



Комплект топографического аэрофотоаппарата ТАФА-20



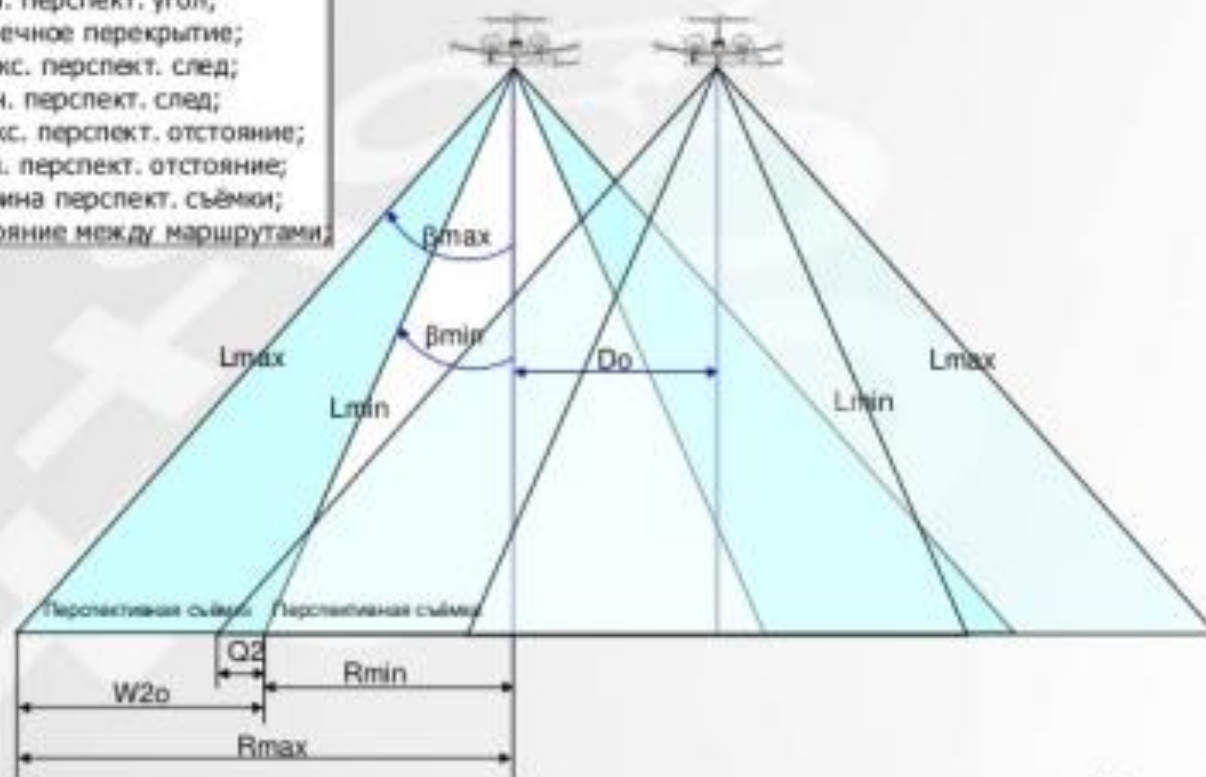
Внешний вид АФА RC-30



**Общий вид
панорамной аэрокамеры A3 EDGE**

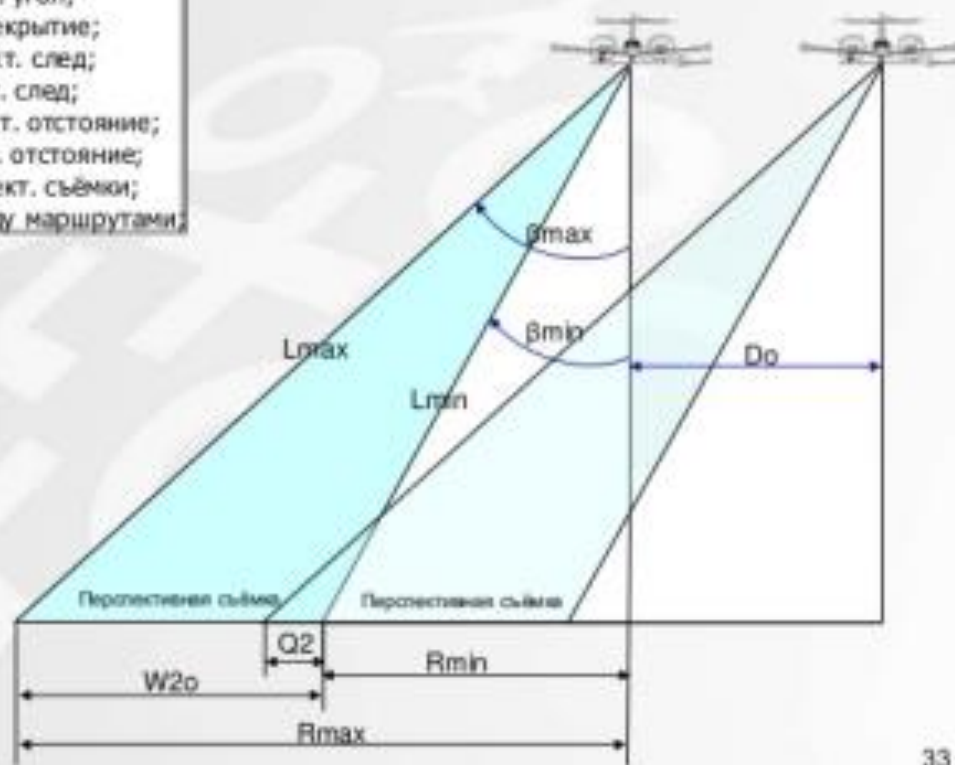
Двусторонняя перспективная аэросъёмка

β_{max} – макс. перспект. угол;
 β_{min} – мин. перспект. угол;
 $Q2$ – поперечное перекрытие;
 R_{max} – макс. перспект. след;
 R_{min} – мин. перспект. след;
 L_{max} – макс. перспект. отстояние;
 L_{min} – мин. перспект. отстояние;
 $W2o$ – ширина перспект. съёмки;
 D_o – расстояние между маршрутами;



Односторонняя перспективная съёмка

β_{max} – макс. перспект. угол;
 β_{min} – мин. перспект. угол;
Q2 – поперечное перекрытие;
Rmax – макс. перспект. след;
Rmin – мин. перспект. след;
Lmax – макс. перспект. отстояние;
Lmin – мин. перспект. отстояние;
W2o – ширина перспект. съёмки;
Do – расстояние между маршрутами;





Z/I Imaging (DMC)



Leica (DSW700)



VEXCEL (UltraCamX)



DIMAC SYSTEMS (DIMAC)



Jena-Optronik (JAS150)



DSS 539



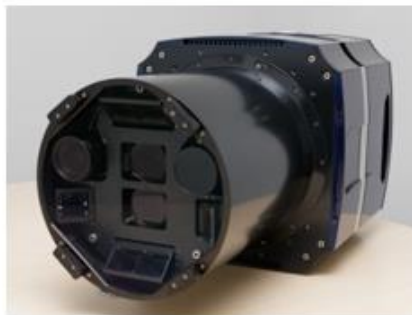
DMC II 140 Z/I



UltraCamX



UltraCam Lp



UltraCam Osprey

Крупноформатные цифровые аэрофотокамеры



**Среднеформатные цифровые каме
ры**

Крупноформатные цифровые аэрофотокамеры

Факторы, вызывающие деформацию изображения в кадровых аэрофотоаппаратах

-Рефракция света в атмосфере - влияние данного фактора рассмотрено в параграфе

-Рефракция в защитном стекле фотолюка ,Рефракция имеет величину порядка 3...5мкм, а дефокусировка - нескольких десятых долей миллиметра..

-Рефракция в светофилт্রে

-Дисторсия объектива аэрофотоаппарата. равна 2...3мкм,

-Фотографический смаз изображения. величина в пределах

0.03 - 0.05мм

-Остаточная погрешность выравнивания плёнки в плоскость.

В центральной части кадра невыравнивание плёнки вызывает смещение изображения порядка 2...2,5мкм, на краю снимка может достигать 150мкм.

Достигает 150мкм. толщины фотоэмульсионного слоя

аэрофотоплёнки, частные изменения достигают 6...7мкм. Смещение точки

изображения, вызываемые различием толщины фотослоя в

центральной части снимка порядка 2мкм, на краю снимка может достигать величины 20мкм, а для широкоугольных АФА и более.

-Деформация фотоплёнки, вызванная сушкой

Нефотографические съёмочные системы

Кадровые телевизионные системы

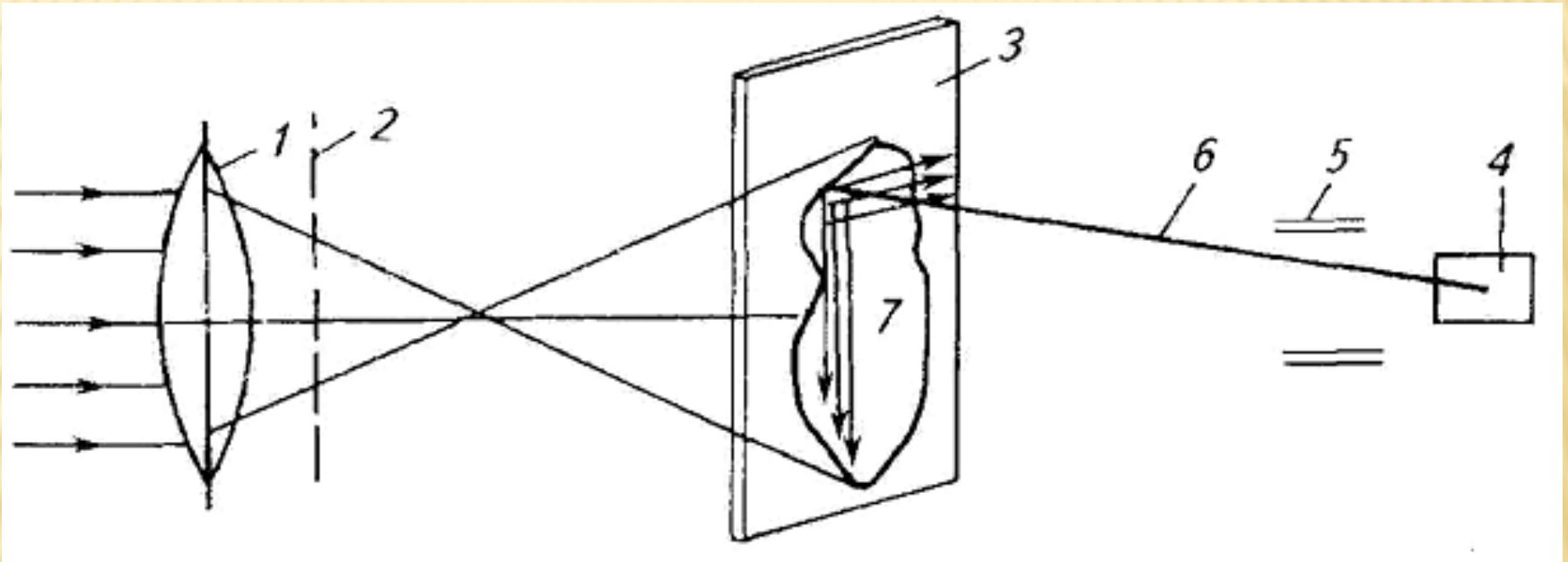


Схема видикона

1- объектив; 2-затвор; 3-фотомишень; 4-электронный прожектор;5- управляющие конденсаторы;6-электронный луч;7- электронное изображение.

Недостатками кадровых ТВ - систем являются большие геометрические и фотометрические искажения, низкая разрешающая способность

Сканирующие съёмочные системы

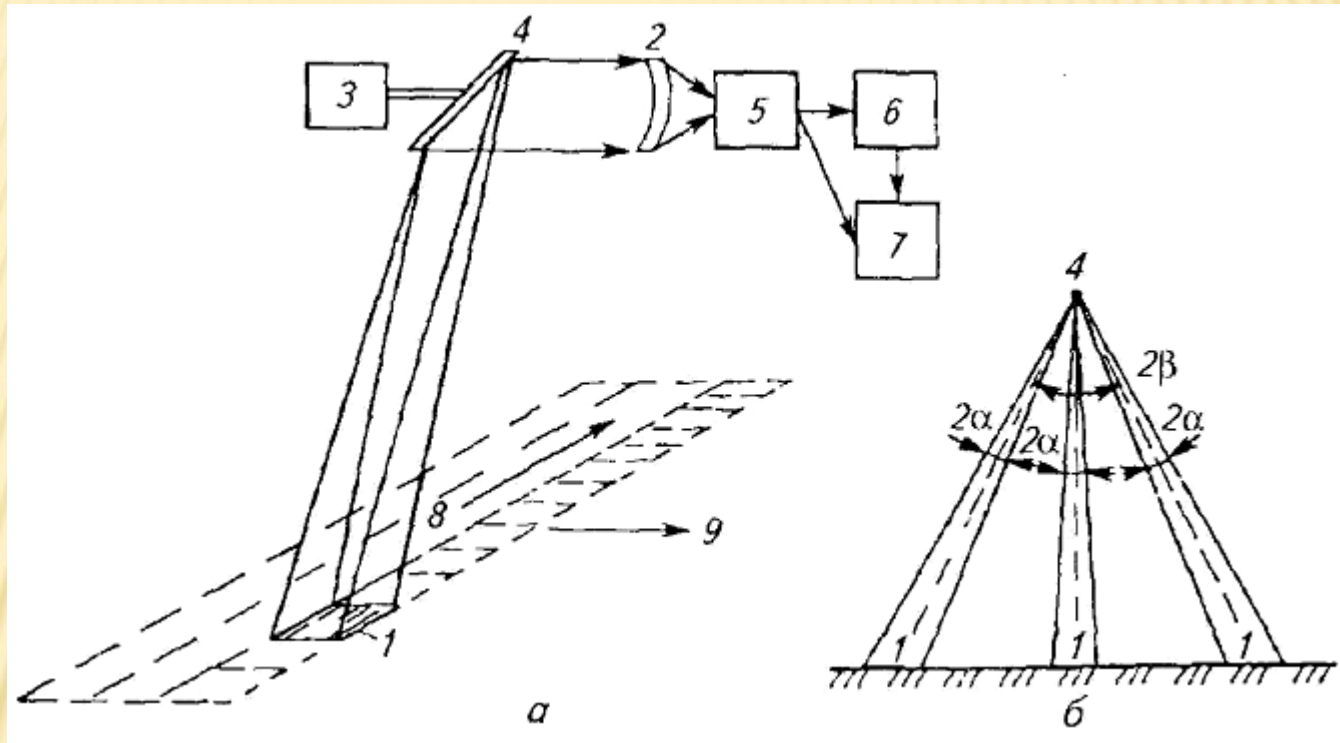


Схема сканирования местности

1-площадка мгновенного обзора местности; 2-объектив; 3-механизм вращения зеркала; 4-сканирующее зеркало; 5-приёмник излучения; 6-устройство записи отражённого сигнала; 7-устройство, передающее результаты записи; 8-направление сканирования; 9-направление полёта.

Тепловые съёмочные системы

Тепловая съёмка представляет собой измерение двумерного поля излучения, путём описанного ранее поэлементного сканирования объекта земной поверхности. Принцип получения изображения основан на измерении температур объектов местности. В зависимости от физических и химических свойств снимаемые объекты могут быть «теплее» или «холоднее». Тепловая съёмка позволяет регистрировать объекты невидимые невооружённым глазом человека. Преобразованные (визуализированные) результаты измерений температур имеют вид аналогичный фотографическому изображению местности. Точность регистрации температуры различными системами находится в пределах от 0,1 до 0,01 градуса. Съёмка может выполняться как в дневное время, так и в ночное. Для исключения влияния солнечного излучения целесообразнее производить тепловую съёмку ночью. Линейное разрешение на местности достигает, при высотах съёмки $H = 200 \dots 300 \text{ м}$ - 0,01... 0,12 м.

Высокое геометрическое и энергетическое разрешение цифровых тепловых снимков позволяют использовать их для картографирования подземных коммуникаций, выполнять оперативный и производительный мониторинг инженерных систем.

Тепловую аэросъемку совместно со съемкой в видимом диапазоне и других зонах спектра (мультиспектральная съемка) применяют в экологических приложениях для обнаружения и мониторинга различных загрязнений: сбросы городских коллекторов, загрязнения акваторий нефтепродуктами, определение засоления почв, зон подтопления и т.п.

В сфере управления лесными ресурсами по материалам тепловой съёмки проводят таксационные работы, определяют состояние древесно-кустарниковой растительности, обнаруживают и осуществляют мониторинг лесных пожаров.

В сельском хозяйстве тепловые снимки используют для оценки урожайности сельскохозяйственных культур, оценки качественного состава почвенного покрова, определения зон и степени воздействия вредителей и болезней растений.

Тепловые снимки применяют для обнаружения месторождений углеводородного сырья, с помощью специальных методов обработки изображений.

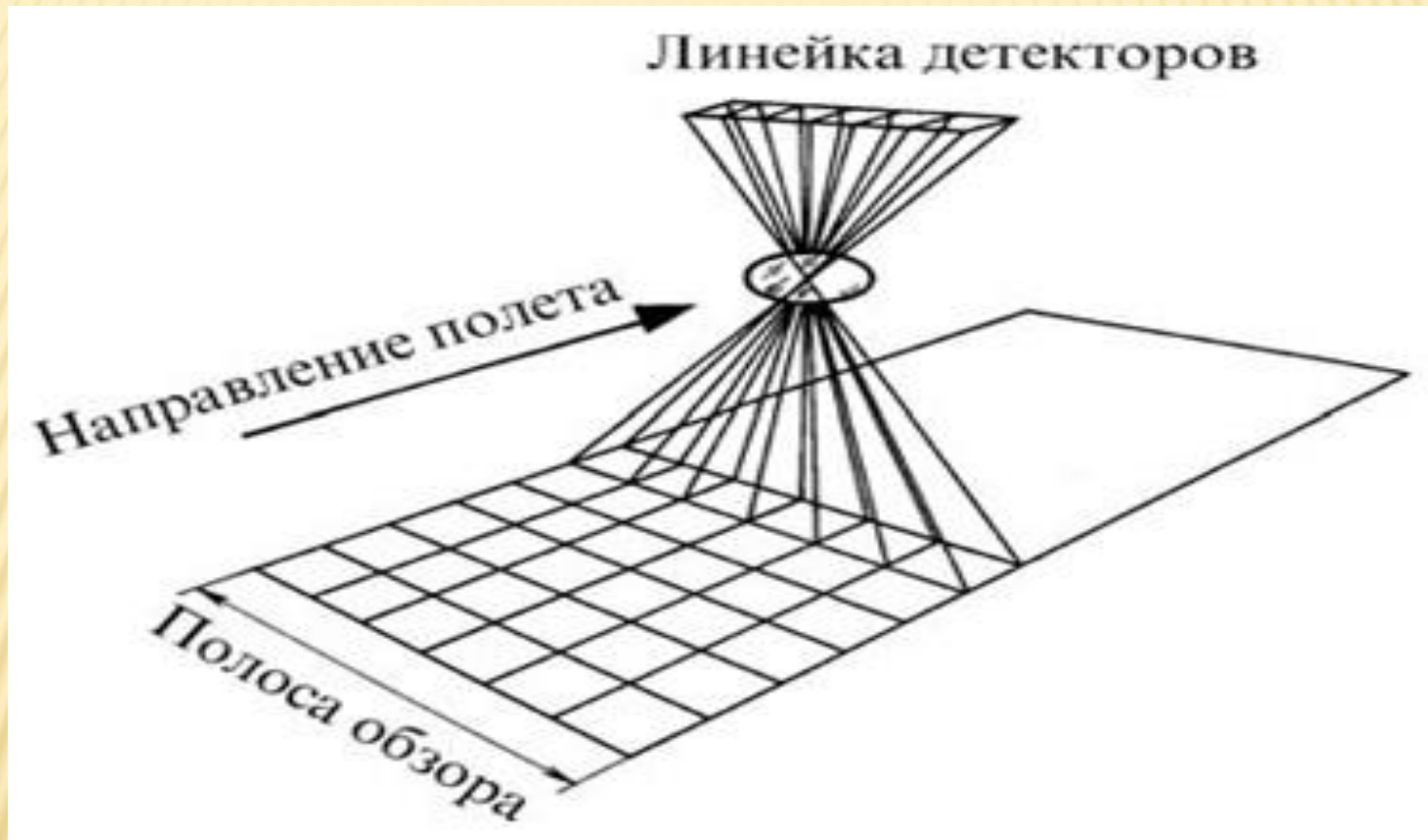
Оптико-электронные съёмочные системы (ОЭСС)

Принцип работы прибора с зарядовой связью, заключается в следующем. Светочувствительный слой представляет собой сетку кремниевых фотодиодов, расположенную за оптической системой. Каждый кремниевый фотодиод соединён с ячейкой хранения заряда. При воздействии светового потока, в виде оптического изображения, на фотодиод, генерируется некоторое количество электрического заряда пропорционально падающему потоку. Заряд переносится в ячейку хранения заряда (ячейку памяти). Из ячеек памяти информация последовательно считывается и преобразуется в цифровой код (цифровое изображение).

При использовании в качестве сенсора ПЗС - матрицы снимок формируется аналогично закону построения в кадровых топографических аэрофотоаппаратах. Если сенсором служит ПЗС-линейка, то изображение (снимок) состоит из множества сканов, полученных при её экспонировании.

Каждый скан создаётся в результате поступательного движения линейного разрешения ОЭСС зависит от размера элементов (фотодиодов), летательного аппарата составляющих ПЗС- матрицу или ПЗС- линейку. Их количество в современных цифровых съёмочных системах достигает 80 млн элементов и более, что обеспечивает разрешающую способность близкой к фотографической.

Схема построения изображения линейкой ПЗС



Каждая из строк представляет собой центральную проекцию узкой полосы земной поверхности. Причём каждая строка формируется из отдельных элементов изображения (пикселей), соответствующих определённым площадкам на местности, при

Изображение полученное ОЭСС



Лазерные съёмочные системы

Лазерные аэро- и космические съёмочные системы относят к активным съёмочным системам, работающим в оптическом диапазоне. В основе лазерной съёмки заложен принцип работы светодальномера без отражателя- лазерная локация.

Отражателем является поверхность снимаемого объекта. В качестве облучателя используют полупроводниковый лазер, генерирующий излучение в ближней ИК-з (длиной волны около 150 мкм).

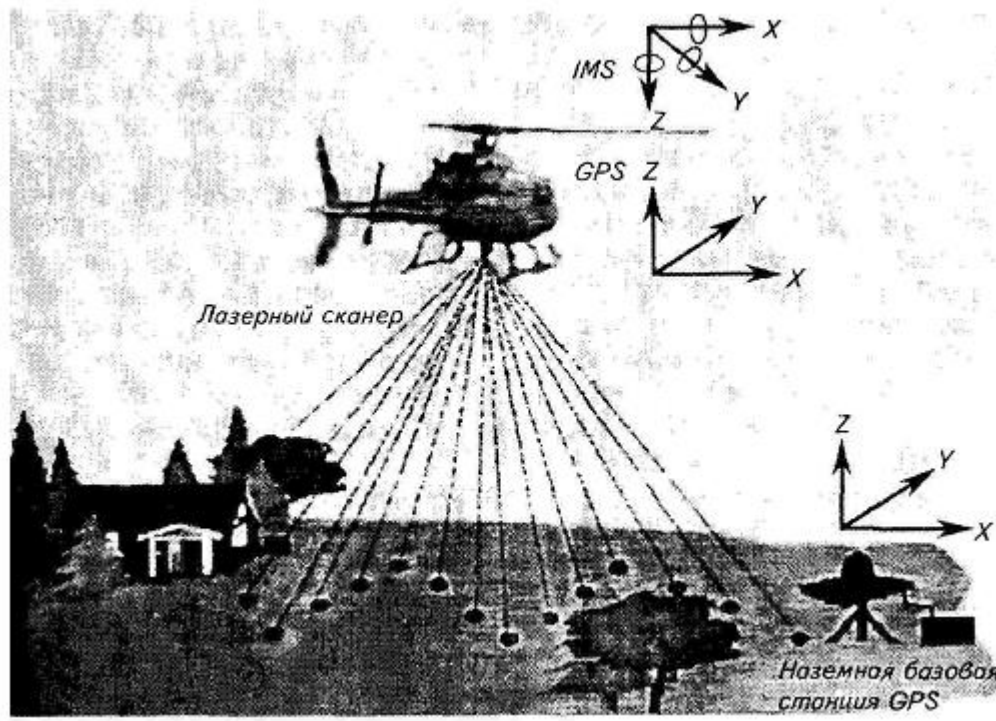


Схема лазерной съёмки

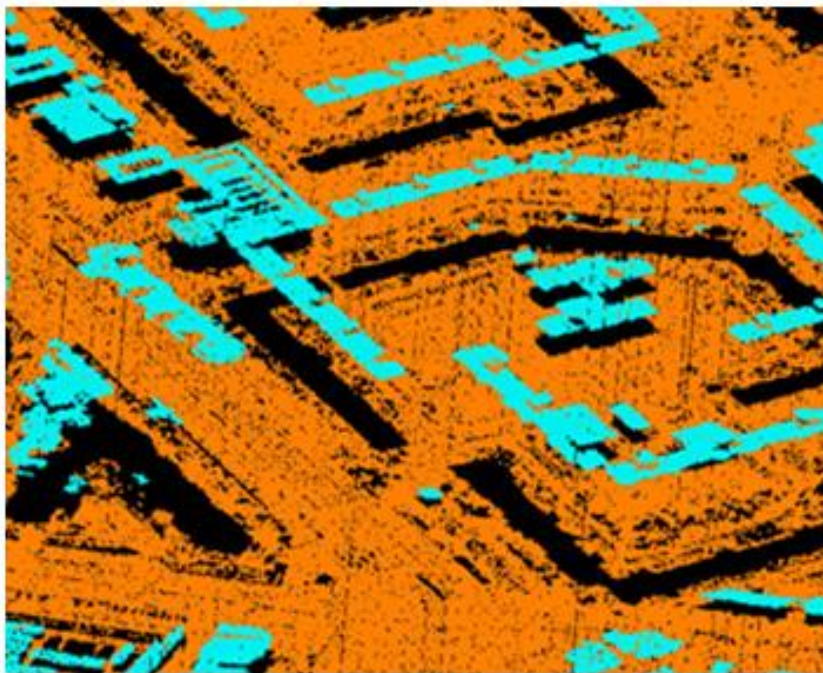
С помощью лазера производят направленное облучение поверхности. Сигнал, отражённый от элементарной площадки земной поверхности (объекта), принимает оптическая система.

При каждом элементарном измерении в процессе сканирования регистрируются наклонная дальность до площадки отражения и направление относительно осей системы координат лазерного локатора (рис.5.5). Положение локатора в геодезической системе координат (X, Y, Z) определяется бортовым GPS/ ГЛОНАСС- приёмником. Углы наклона и разворота зондирующего луча относительно осей геодезической системы координат определяется с помощью инерциальной аппаратуры. Это позволяет получить после обработки результатов измерений геодезические координаты элемента поверхности, вызвавшего отражение зондирующего луча. Точность пространственных координат обратно пропорциональна высоте съёмки. Результат съёмки - цифровое трёхмерное изображение.

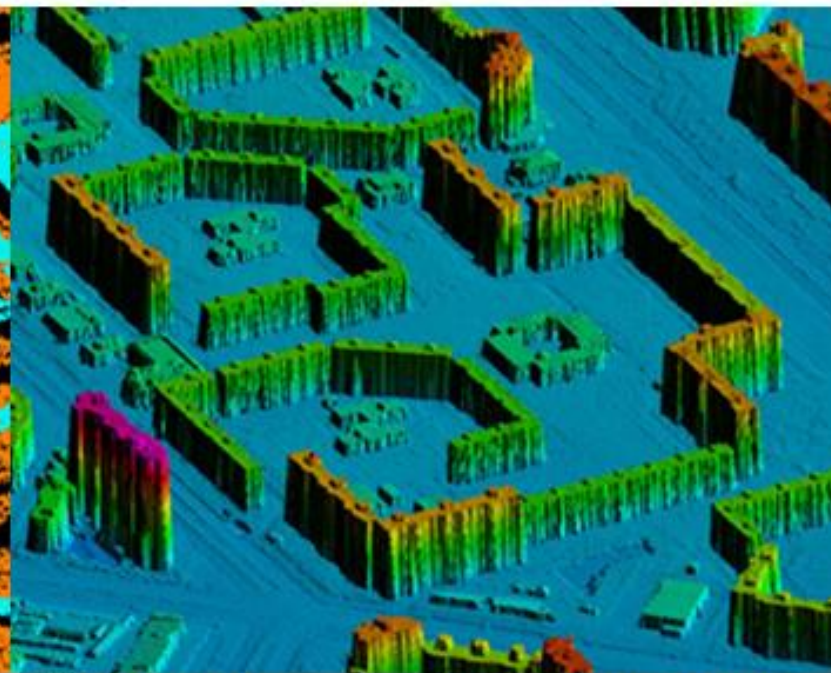
В зависимости от типа лазерного локатора при съёмке можно фиксировать до 5-ти отражений для каждого направления визирования. Это означает, что при одном элементарном измерении могут быть получены отклики от нескольких пространственных компонентов объекта. Например, последовательно от проводов линии электропередачи, лиственного покрова леса, поверхности земли.

Лазерные изображения получают в два этапа. На первом этапе сканером выполняется регистрация результатов измерений множества элементарных площадок - точек локационного отражения (ТЛО). Множество ТЛО называют «облаком точек», каждая из которых имеет координаты X, Y, Z .

На втором этапе осуществляют компьютерную обработку результатов измерений и визуализацию изображения (рис.5.6) Программными средствами можно исключить из обработки любой из откликов, задавая тем самым тематическую направленность преобразованных снимков. Например, оставить отклики от поверхности объекта, и тем самым получить информацию о рельефе. Обработка результатов измерений может производиться на борту летательного аппарата.



Облако точек лазерных отражений для застроенной территории



3-мерная модель местности, построенная по ТЛО, представленная сеткой треугольников

Результаты лазерной съёмки

Обработка результатов измерений может производиться на борту летательного аппарата.

Лазерные съёмочные системы применяют для построения профилей рельефа на территориях закрытых лесами и создания цифровой модели рельефа местности. Их применение эффективно при обследовании линий электропередачи, батиметрической съёмки внутренних водоемов и шельфа, инвентаризации и мониторинга лесов, мониторинга крупных инженерных объектов, например, открытых разработок полезных ископаемых.

При съёмке городов и населённых пунктов получаемое трёхмерное изображение позволяет успешнее проводить работы по организации территорий, оптимизировать размещение приёмопередатчиков мобильной телефонной связи для достижения уверенного приёма сигналов.

Помимо лазерных сканеров, используемых с воздушных и космических носителей, существуют наземные лазерные сканеры. Принцип работы этих съёмочных систем аналогичен рассмотренным сканерам. Изображения, получаемые ими, применяются для изучения деформаций зданий и промышленных сооружений, составления фронтальных планов сложных архитектурных сооружений и т.п.

Обработку данных лазерного сканирования производят в специализированных программных комплексах, например, Terra Scan H и Terra Modeler на базе MicroStation.

Радиофизические съёмочные системы

Из систем относящихся к первому классу наибольшее применение получили радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО). В основе их работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определённой длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение (рис.5.7), в виде плоского луча (1), направляется на земную поверхность (2) перпендикулярно направлению полёта (3)

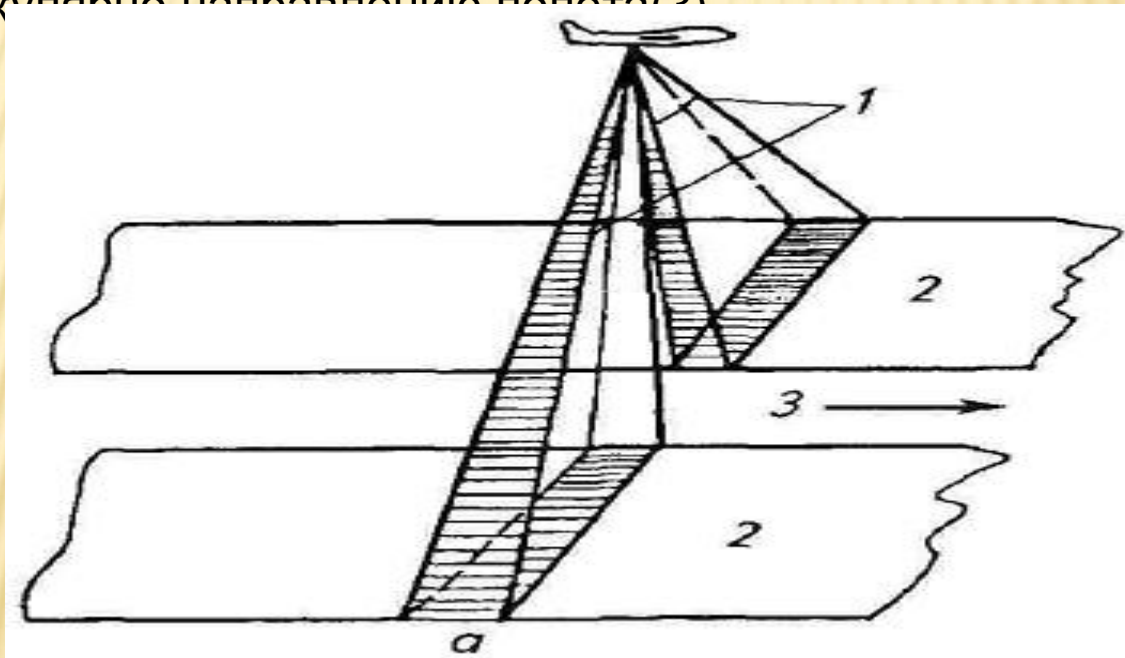


Схема радиолокационной съёмки

Длины радиоволн, используемые при съёмке, находятся в диапазоне от 1 см до 1 метра и более. Режим излучения может быть непрерывным или импульсным. После взаимодействия с объектами поверхности происходит модулирование несущего сигнала, изменяются его исходные характеристики. Степень модулирования определяется физическими и химическими свойствами объекта. Отражённый модулированный сигнал воспринимает приёмная антенна, происходит построчная запись с последующей визуализацией результатов радиолокации. Яркость изображения объекта зависит от энергии возвратившегося сигнала. Прямолинейность распространения радиоволн, их чувствительность к изменению рельефа при отражении создаёт определённую специфику радиолокационного изображения. Она выражается в значительной изменчивости яркости изображения и разрешении снимка. Размер антенны и частоты используемых радиоволн. Усовершенствованные радиолокационные станции позволяют получить разрешение по полю снимка при съёмке из космоса до 1 м, например, TERRASAR-X,L (Германия)(рис.5.8). Преимущество радиолокационных съёмок - независимость от погодных условий. Съёмка можно проводить при сплошной облачности, в туман и даже дождь, поэтому РЛС-съёмку называют «всепогодной». Она незаменима в районах, где погодные условия не позволяют использовать иные съёмочные системы. Современные технологии обработки снимков делают возможным использования РЛС-снимков для картографических целей.



Радиолокационный снимок, полученный системой TerraSAR X,L



Радиолокационный снимок, полученный системой Radarsat -2t

Производство аэрофотосъёмки

При создании топографической основы фотограмметрическим методом используют снимки, полученные отечественными аэрофотоаппаратами типа АФА-ТЭ, АФА-ТЭС, а из зарубежных применяется LMK, RMK. RC-30 (Leica). В качестве основных носителей съёмочной аппаратуры применяют самолёты: АН-2, АН-30, ИЛ-20М. В некоторых случаях съёмку производят с вертолётов, мотодельтапланов, воздушных шаров и иных летательных аппаратов.

Таблица 6.1.

Харак:

Показатель	Тип самолёта		Вертолёт КА-26
	АН-2	АН-30	
Диапазон скоростей, км/час	140...250	240...490	0...160
Практический потолок, м	4500	8900	3100
Взлётная дистанция, М	690	1240	
Продолжительность полёта, час	7	6	
Эксплуатационная скорость, км. час	180...210	450...475	140
Дальность полёта, км	1200	2300	400



а)



б)

*Самолёты АН-2(а)и АН-30(б),
применяемые для аэрофотосъёмки*



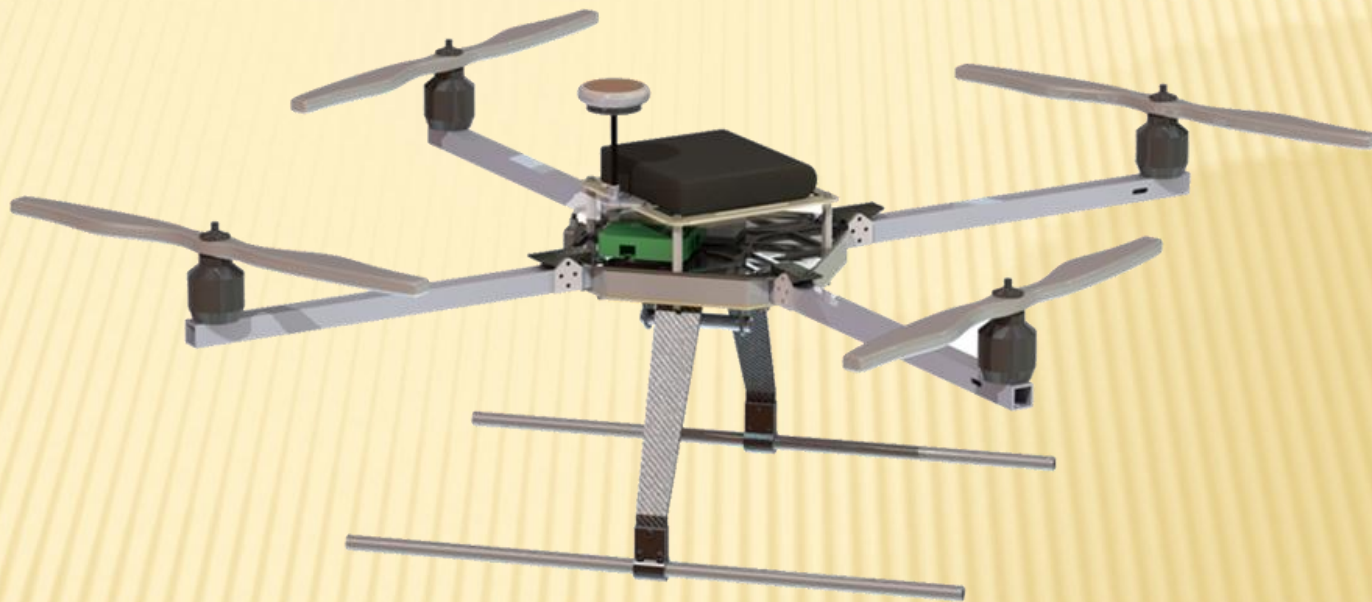
Внешний вид беспилотных летательных аппаратов самолётного типа

КВАДРАКОПТЕР В ПОЛЁТЕ



КРЕПЛЕНИЕ СЪЕМОЧНОГО ФОТОАППАРАТА





*Внешний вид беспилотных
летательных аппаратов
вертолётного типа (Дрон)*



Портативная базовая станция для управления запуском и полётом беспилотного летательного аппарата (БПЛА)

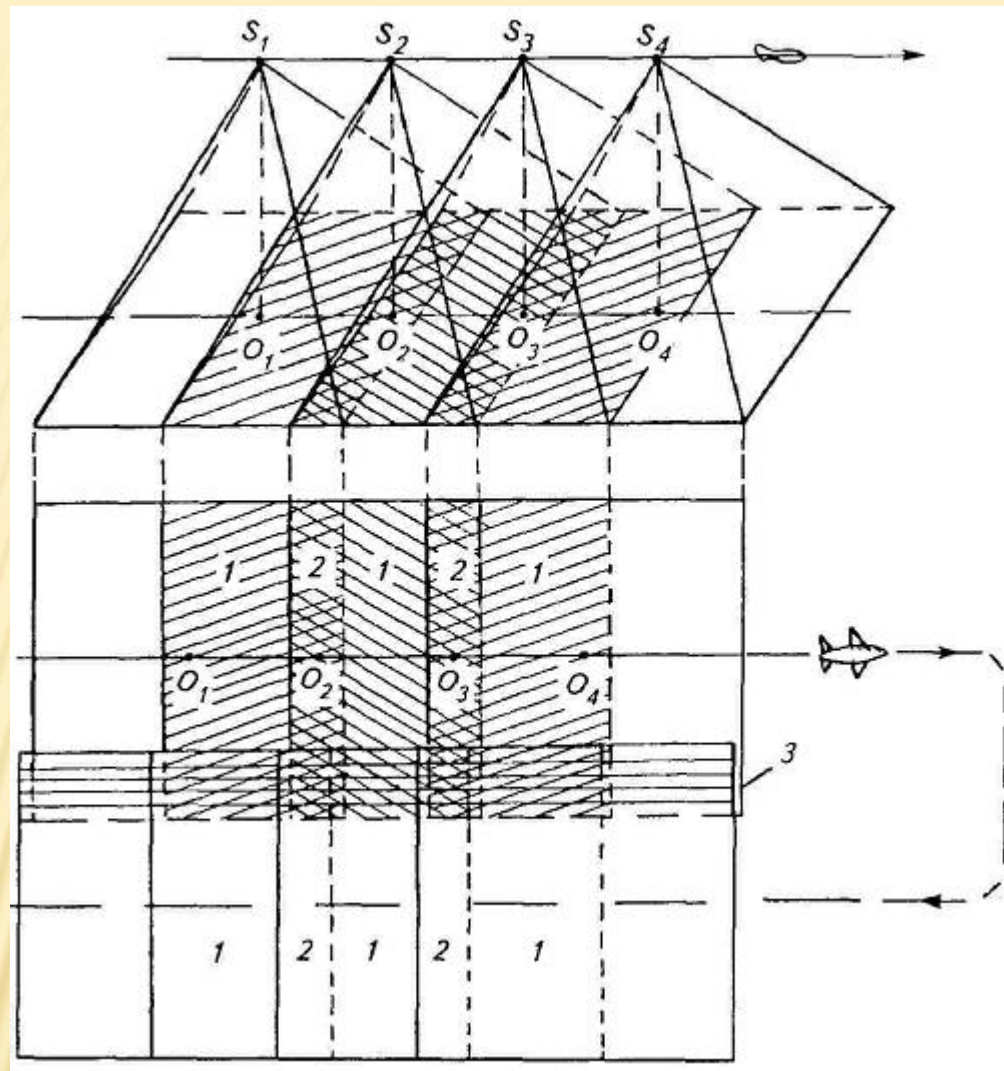


Схема аэрофотосъёмки

При маршрутной аэрофотосъёмке изображение полосы местности представляется в виде некоторого количества снимков, полученных по направлению (маршруту) полёта летательного аппарата. Маршрут полёта может быть прямолинейным, криволинейным или ломаным. Это зависит от вида фотографируемого объекта и целей съёмки. Например, при обследовании или проектировании линейных объектов (дорог, трубопроводов, линий электропередачи, каналов и т. п.) съёмку производят по криволинейным или ломаным маршрутам.

Многомаршрутная (площадная) фотосъёмка представляет собой получение снимков местности с нескольких параллельных маршрутов (рис.6.5). Маршруты прокладываются чаще всего по направлениям восток-запад-восток или север-юг-север. Площадная аэрофотосъёмка применяется при картографировании или обследовании больших территорий. Если аэрофотосъёмку производят в целях инвентаризации населённых пунктов, маршруты могут иметь произвольное направление.

Аэрофотосъёмку, производимую с помощью кадровых АФА, выполняют с перекрытиями соседних снимков. Перекрытиями называют части аэроснимков, на которых изображена одна и та же местность. Величину перекрытий выражают в процентах от длины стороны снимков.

Продольным перекрытием p_x называют взаимное перекрытие снимков одного маршрута. Оно рассчитывается по формуле

$p_x = (l_x / 100\%) / l$, где l_x - размер перекрывающихся частей снимка; l - длина стороны снимка по направлению маршрута

Продольное перекрытие снимков рассчитывают или задают исходя из технологии фотограмметрической обработки снимков (или иных соображений). Величина его может быть 60...90%, постоянная для данной аэрофотосъёмки. Перекрытие двух смежных снимков называется двойным (рис. 6.3). Зона перекрытия на трёх снимках - тройное перекрытие и т.д. Для каждого стандартного значения продольного перекрытия определены минимальные и максимальные пределы.

Величина продольного перекрытия обеспечивается частотой (временным интервалом) включения АФА, которая зависит от высоты фотографирования и путевой скорости летательного аппарата. Расстояние между соседними точками фотографирования в маршруте называется базисом фотографирования и обозначается B_x .

определяется по формуле

$$p_y = (l_y 100\%) / l$$

где l_y - размер перекрывающейся части снимков двух смежных маршрутов

Минимальное поперечное перекрытие допускается 20%. Расстояние между маршрутами (рис.6.5) рассчитывают по формуле

$$B_y = l_y m (100\% - p_y) / 100\%$$

где l_y - длина поперечной стороны снимка; m -знаменатель масштаба аэрофотосъёмки; p_y - заданное поперечное перекрытие

Продольные и поперечные перекрытия позволяют определить центральную часть снимка, где его геометрические и фотометрические искажения минимальны. Эта часть снимка называется рабочей площадью снимка. Рабочая площадь снимка, ограничиваемая линиями, проходящими через середины двойных продольных и поперечных перекрытий, называется теоретической.

Космическая съёмка

Условия получения космических снимков существенно влияют на их геометрические и изобразительные свойства. Это в свою очередь определяет методологию и технологию фотограмметрической обработки снимков и интерпретацию изображений. Основными отличительными особенностями получения космических снимков являются:

большая скорость и сложная траектория движения космического летательного аппарата (КЛА), относительно земной поверхности;
значительная высота съёмки (высота полёта КЛА), исчисляемая сотнями и тысячами километров над земной поверхностью;
влияние всего слоя атмосферы на геометрическое и энергетическое искажение отраженного или собственного излучения объектами земной поверхности, поступающего на вход съёмочных систем;

условия получения космических снимков.

Космическую фотосъёмку поверхности Земли производят с пилотируемых космических аппаратов, орбитальных станций и беспилотных искусственных спутников Земли автоматически по заданной программе. Съёмку могут выполнять космонавты, в так называемом «ручном режиме» или автоматически по заданной программе .

Движение КЛА происходит по траектории, называемой орбитой. При съёмке поверхности Земли используют эллиптические, параболические и гиперболические орбиты.

При движении КЛА по эллиптической орбите Земля находится в одном из фокусов эллипса. Точка орбиты, расположенная ближе к центру Земли, называется перигеем (перигеем), а наиболее удаленная - апоцентром (апогеем).

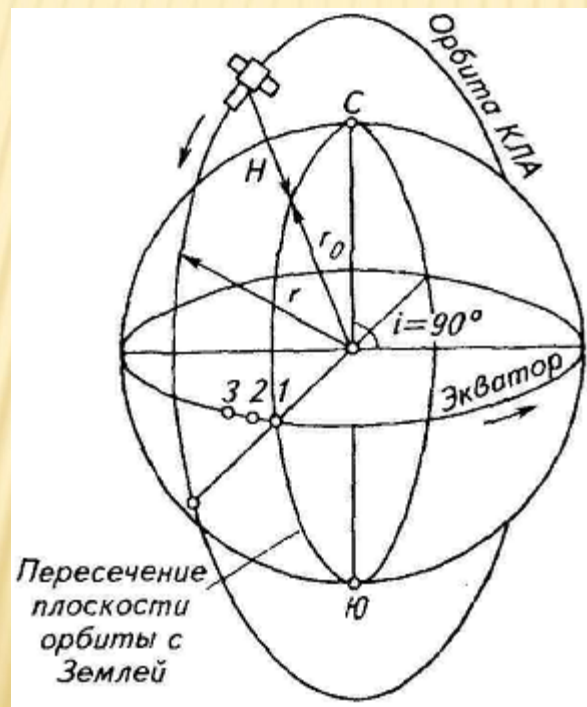
Параболическая или гиперболическая орбиты соответствуют траектории движения КЛА по параболе или гиперболе.

При съёмке Земли или иных планет возможны варианты получения изображения: при подлёте, отлёте или при прохождении мимо планеты КЛА. Существенный недостаток съёмки с КЛА, находящихся на перечисленных орбитах, - изменение удаленности съёмочной системы от снимаемой поверхности. Пропорционально изменению высоты съёмки изменяется масштаб получаемых снимков.

Съёмка может выполняться со спутников Земли, находящихся на геостационарных орбитах. При этом варианте съёмки положение спутника относительно поверхности не изменяется, так как его угловая скорость движения равна угловой скорости движения земной поверхности. При съёмке с геостационарных спутников получают информацию об одной территории. Результаты съёмки могут быть использованы для мониторинга этой территории с различным временным интервалом.

Наиболее приемлемыми, с точки зрения фотограмметрических преобразований, являются круговые орбиты КЛА. Круговые орбиты представляют собой окружности с центром, совпадающим с центром Земли (рис.7.1). Радиус таких орбит r определяется как сумма радиуса Земли r_0 и высоты полёта H летательного аппарата (или высота съёмки). Средний масштаб снимков при съёмке с круговых орбит практически одинаков. Полосы снимаемой поверхности (полосы обзора), захватываемые с каждого витка летательного аппарата, также примерно одинаковы.

Плоскость орбиты КЛА пересекает плоскость экватора под некоторым углом i , который называют наклонением орбиты. Если наклонение орбиты равно 90° , то её плоскость проходит через полюсы Земли. Такая орбита носит название полярной. При наклонении равном 0° плоскость орбиты КЛА совпадает с экватором, поэтому её называют экваториальной. Использование полярной и близполярной орбиты обеспечивает выполнение съёмки всей поверхности, за счёт вращения Земли вокруг своей оси. При уменьшении наклонения орбиты сокращается территория, захватываемая съёмочной аппаратурой.



*Некоторые элементы
круговой орбиты*

Периодичность (частота) съёмки одной и той же территории в зависимости от параметров полёта КЛА может быть от 4 раз в сутки до 5...6 раз в месяц и реже. Это связано с тем, что при наклонении орбиты не равно нулю ($i > 0$), а также из-за вращения Земли, точка пересечения орбиты КЛА с экватором смещается. Если на данном витке КЛА прошел над точкой 1 экватора, то после оборота вокруг Земли он пройдёт уже над точкой 2 экватора, затем над точкой 3 и так далее. Регулярная повторяемость съёмки позволяет применять получаемые материалы для обновления мелкомасштабных топографических и специальных карт, а также осуществлять мониторинг больших территорий.

Положение КЛА, а следовательно положения съёмочной аппаратуры, в пространстве определяют в географических координатах X и Y.

Высота полёта КЛА при круговых орбитах находится в пределах от 200 до 1000 км.

В зависимости от фокусного расстояния используемой съёмочной системы и высоты полёта КЛА снимки получают в масштабе от 50 000 до 10 000 000.

Некоторые типы космических аппаратов



Sentinel-2A, 2B



[WorldView-3](#)



Ресурс-П №1, №2, №3



Image © 2007 DigitalGlobe

© 2006 Google

© 2007 Europa Technologies

Pointer 55°45'48.14" N 37°39'47.35" E elev 468 ft

Streaming ||||| 100%

Eye alt 1245 ft



Image © 2007 DigitalGlobe

© 2006 Google

© 2007 Europa Technologies

Pointer 55°45'53.86" N 37°39'57.69" E elev 467 ft

Streaming ||||| 100%

Eye alt 1245 ft