

Лекция 2. Геометрические и изобразительные свойства аэро- и космических снимков. (2 часа)

1. Виды аэро- и космических съемок. Комплекс аэрофотосъемочных работ.
2. Оценка качества материалов аэрофотосъемки.
3. Геометрические свойства аэрокосмических снимков центральной проекции.
4. Трансформация аэрофотоснимков. Фотопланы и ортофотопланы, их метрические и изобразительные свойства.
5. Понятие о фотосхемах и способах их монтажа.
6. Особенности космической съемки. Космические съемочные системы

1. Виды аэро- и космических съемок. Комплекс аэрофотосъемочных работ.

Характеристика основных воздушных носителей

Виды аэрофотосъемки

По масштабу фотографирования :

крупномасштабная ($1:M > 1:15\ 000$),
среднемасштабная ($1:16\ 000 < 1:M < 1:50\ 000$),
мелкомасштабная ($1:M < 1:50\ 000$),
сверхмелкомасштабную ($1:M < 1:200\ 000$).

По положению оптической оси АФА:

Плановая – при вертикальном положении оптической оси, угол отклонения от отвесной линии α_p до 3° .

Перспективная - угол отклонения оптической оси от отвесной линии – от 3° до 45° .

По количеству и расположению снимков :

однокадровая (одинарная),
маршрутная,
многомаршрутная (площадная).

По назначению:

топографическая,
специальная.

Плановая съёмка
Угол наклона снимка $< 3^\circ$

Перспективная съёмка
Угол наклона снимка $3^\circ \dots 45^\circ$

Схема одномаршрутной аэросъемки

$S_1 \dots S_5$ – центры фотографирования;
продольное перекрытие двойное (1),

тройное перекрытие (2),
величина базиса фотографирования
на местности

Схема многомаршрутной аэрофотосъемки

поперечное перекрытие

расстояние между маршрутами

m – знаменатель масштаба съемки

l – размер стороны снимка

В зависимости от числа одновременно используемых при съёмке спектральных зон различают:

- *однозональные (панхроматические)*, полученные сразу во всём видимом диапазоне спектра ($\lambda=0,4 - 0,8$ мкм). (оттенки серого).

Многозональные изображения - съёмка производится одновременно в нескольких спектральных диапазонах. В результате комбинации изображений различных каналов получают синтезированные изображения:

- R;G;B-синтез – **цветные** в естественных цветах;

- синтез видимого диапазона + ближние ИК- и тепловые каналы – **псевдоцветные (синтезированные)**;

- в узком спектральном интервале – **спектральные (спектрозональные пленки)**.

Примеры изображений аэрокосмических снимков

Синтезированное изображение. SPOT-5

Цветное изображение в естественных
цветах

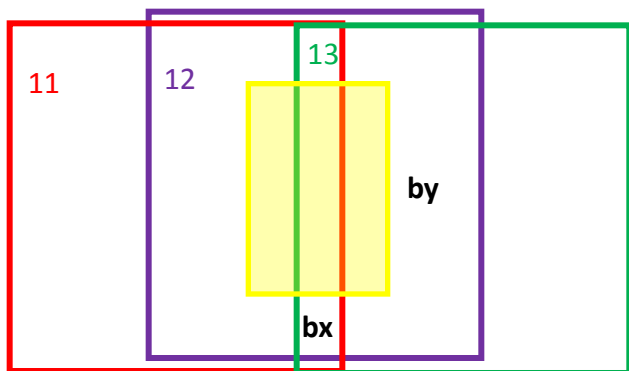
Панхроматическое изображение

При совместном анализе изображений, полученных в двух-трех зонах, можно разделить все объекты или даже опознать их, если известны эталонные сочетания яркостей этих объектов на снимках используемых зон.

А и С – КСЯ объектов растительности;
В – КСЯ почвы.

Рис. Обоснование необходимости
многозональной съемки

3 2 1



Рабочая площадь аэрофотоснимка – центральная часть снимка ограничена линиями, проходящими через середины двойных продольных и поперечных перекрытий.

1- теоретическая; 2- практическая

Теоретические размеры сторон рабочей площади:

bx – **продольной** (параллельной маршруту съемки)
by - **поперечной** (перпендикулярной маршруту съемки)

23 22 21



Рис. Рабочая площадь снимка
(снимок 12)

Комплекс аэрофотосъемочных работ:

1. Разработка технического задания (проекта), включающего технические параметры съемки:

- границы участка съемки, высоту и масштаб фотографирования,
- фокусное расстояние АФА,
- продольное и поперечное перекрытие снимков,
- тип аэрофотопленки (для цифровых АФА – режимы съемки, каналы),
- сроки съемки и т.д.

2. Подготовка аэрофотосъемочного оборудования, полетного задания и т. п.;

3. Аэрофотографирование;

4. Фотолабораторная обработка аэрофильмов (проявление, фиксирование, сушка, нумерация негативов, контактная печать аэроснимков);

5. Составление накидного монтажа и изготовление его репродукции, оценка фотографического и фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки;

6. Сдача материалов аэрофотосъемки заказчику.

После производства аэрофотосъемки заказчик принимает:

- аэрофильмы (фотонегативы) в неразрезанном виде, на катушках в металлических банках;
- контактные отпечатки с аэронегативов;
- негативы и отпечатки репродукций накидных монтажей;
- топографические карты с проектными и фактическими осями маршрутов аэрофотосъемки;
- данные показаний радиовысотомера или приборов GPS;
- характеристики АФА: фокусное расстояние, значение дисторсии, координаты главной точки, расстояние между координатными метками;
- паспорт аэрофотосъемки и другие материалы и сведения, предусмотренные договором.

3. Оценка качества результатов аэрофотосъемки

Оценивают **фотографическое**
и **фотограмметрическое** качество материалов аэрофотосъемки.

Критерии фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки :

- **фактическое продольное перекрытие снимков** в каждом маршруте (60 - 80%), отклонение от заданного не более 4 и 2% соответственно;
- **фактическое поперечное перекрытие снимков** в смежных маршрутах (не менее 20%);
- **непрямолинейность аэрофотосъемочного маршрута** (не более 2 % при $H > 750$ м и в масштабе съемки мельче 1:5000 не более 3 %, если $H < 750$ м и масштаб крупнее 1:5000;

Где P_x – продольное перекрытие;
 l_x – размер перекрывающихся частей снимка;
 l – длина стороны снимка по направлению маршрута.

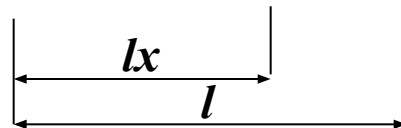


Рис. Накладной монтаж аэроснимков маршрута

-разворот снимка относительно направления маршрута «елочка» ε
(допустимые углы «елочки» при фокусных расстояниях
100, 140, 200, 350 и 500 мм соответственно равны 5, 7, 10, 12 и 14°);

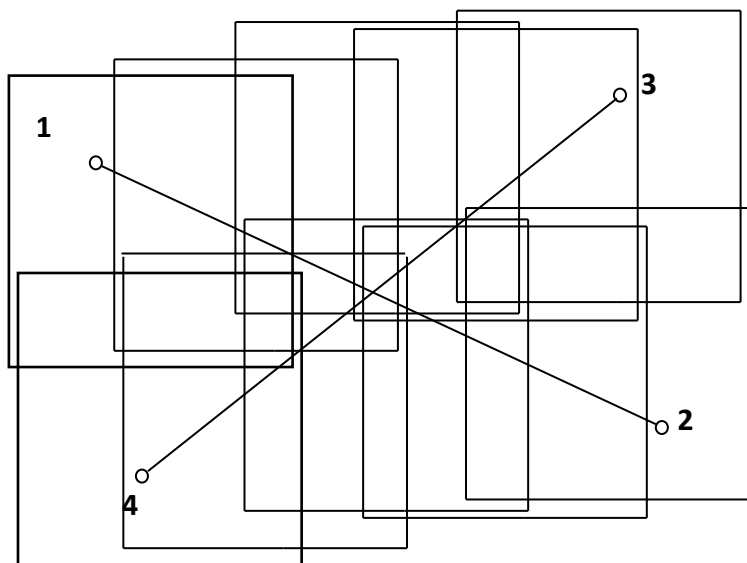
-углы наклона снимков (при плановой съемке не более 3°, число снимков с углом наклона больше 2° не более 10%);

- фактическая высота фотографирования H над средней плоскостью съемочного участка

d_K — базис на карте;
 M — знаменатель масштаба карты;
 d_{HM} — базис на накидном монтаже.
(отклонение не более 3...5 %)

- Обеспеченность границ участка съемки - проверка наличия аэрофотоснимков, покрывающих всю территорию в пределах границ участка съемки.

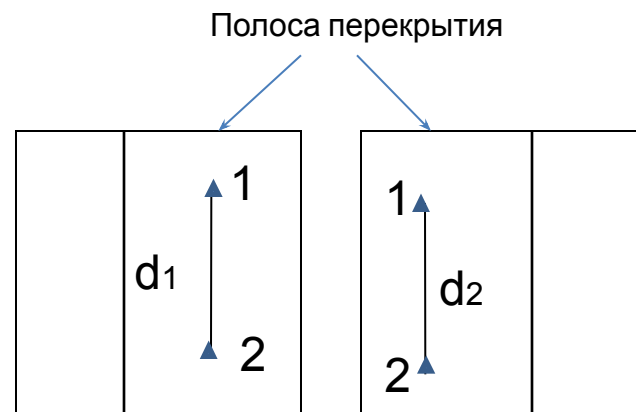
- Определение среднего масштаба аэроснимков



где $m_c(M_k)$ – знаменатель масштаба снимка (карты);
 $d_c(d_k)$ – величина базиса на снимке (карте).

Рис. Выбор базисов для определения среднего масштаба снимков

- Определение разномасштабности снимков



3. Геометрические свойства аэрокосмических снимков центральной проекции

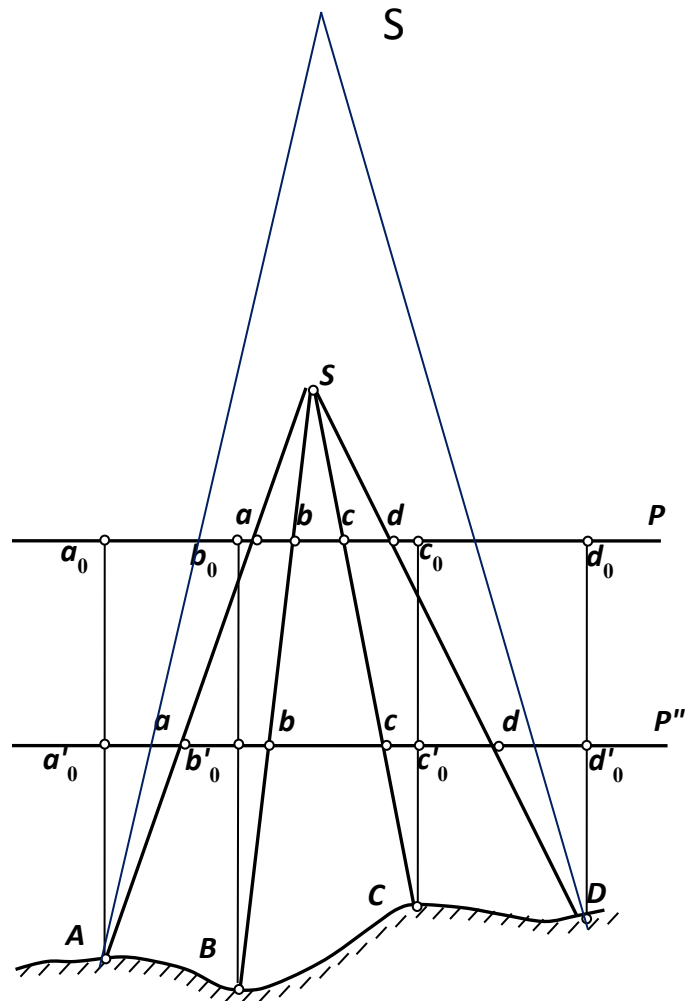


Рис. Отличия центральной проекции снимка (б) от ортогональной проекции плана (а)

S— центр проекции, в фотограмметрии — задняя узловая точка объектива;

o(o') — главная точка снимка, получаемая при пересечении главного луча (оптической оси) объектива **SO** с плоскостью картины **P(P')**;

W— плоскость главного вертикала, проходящая через точку **S** перпендикулярно плоскостям **P(P')** и **E**;

vov(v'o v') — главная вертикаль — след пересечения плоскостей **P(P')** и **W**;

n(n') — точка надира — точка пересечения плоскости **P(P')** с отвесным лучом;

αp — угол наклона снимка — угол между плоскостями **P(P')** и **E** или лучами **SO** и **SN**;

c(c') — точка нулевых искажений — точка пересечения плоскости **P(P')** биссектрисой угла **αp**;

Рис. Основные элементы центральной проекции

hnhn(h'nh'n) — горизонталь, проходящая через точку **n(n')**, — линия в плоскости **P(P')**, перпендикулярная главной вертикали **vov(v'o v')**.

Отстояния точек «**n**» и «**c**» от точки «**o**» определяют по формулам:

Расстояние **oS** — главное **фокусное расстояние** съемочной камеры (**f**).

Расстояние **SN = H** - высота съемки.

Искажение геометрии изображения на снимках

Фотографическое изображение на снимках центральной проекции имеет геометрические искажения, вызванные рядом факторов:

- наклоном снимка;
- рельефом местности;
- кривизной поверхности Земли (учитывается при мелкомасштабной съемке $m > 50000$)

Кроме того, на геометрию изображения влияют факторы нарушающие строгость центральной проекции (учитывают при высокоточных фотограмметрических работах):

- атмосферная рефракция,
- дисторсия объектива съемочной камеры,
- деформация фотопленки и др.

Наклон снимка и рельеф местности влияют на:

- смещение точек изображения,*
- искажение масштаба,*
- искажение площадей,*
- искажение направлений.*

Влияние угла наклона снимка на смещение точек изображения, на масштаб, на искажение площадей и направлений

Горизонтальный снимок равнинной местности

Наклонный снимок равнинной местности

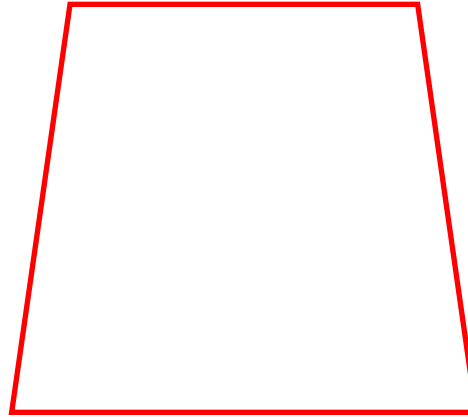


Рис. Перспективное искажение изображения квадратного контура на наклонном снимке

Рис. Правило измерения углов φ при определении смещения точек снимка вследствие его наклона

Смещение точек изображения

При $\alpha\rho < 3^\circ$

Главный масштаб снимка - масштаб по горизонтали $h_c h_c$ - линия неискаженных масштабов

Относительное искажение масштаба снимка: $\rho - 1$ радиан=3438'

Относительная погрешность определения площади

Влияние рельефа местности на смещение точек изображения, и на масштаб

Точки снимка за влияние рельефа местности смещаются по направлению к точке надира или от нее в зависимости от знака превышения.

где

δ_h - смещения точек за влияние рельефа, мм;
 r_n — отстояние точки на снимке от точки надира, мм;
 h — превышение точки над горизонтальной плоскостью, принятой за исходную, м;
 H — высота съемки над исходной плоскостью, м;
 m — знаменатель масштаба изображения, отнесенного к исходной плоскости

Рис. Смещение точек снимка вследствие влияния рельефа местности

- радиус круга допустимых искажений с центром в главной точке снимка:

- максимально допустимое искажение на снимке (0,5 мм в масштабе снимка).

Среднее относительное изменение масштаба изображения горизонтальных участков (*BD* и *KL*)

где Δm — разность знаменателей масштаба изображения разновысоких равнинных участков;
 m_{cp} — среднее значение знаменателей масштаба этих участков;
 h — превышение между участками;
 H_{cp} — средняя высота съемки

Рис. Влияние рельефа местности на масштаб изображения различно расположенных на земной поверхности отрезков

Выводы:

- изображение линий, наклоненных от точки *S* (**участок *AB***), в центральной проекции всегда будут меньше изображения их в ортогональной проекции;
- изображение линий, наклоненных к точке *S* (**участок *LG***), всегда крупнее изображения их ортогональной проекции;
- Масштаб изображения ровных горизонтальных участков местности ***BD*** и ***KL*** зависит от их высоты (или от высоты фотографирования над этими участками).

Формула максимального
относительного искажения площади
за наклон участка

где ΔP_h — погрешность в площади,
обусловленная влиянием рельефа;

r_n — максимальное отстояние центра
участка от точки надира;

ν — максимальный угол наклона участков
снимаемой территории

Рис. Искажение сетки квадратов вследствие
совместного влияния наклона снимка и рельефа
местности

Выводы:

Для уменьшения искажений за наклон снимка и рельеф местности необходимо:

- использовать гиостабилизированные снимки $\alpha_p < 30'$;
- применять длиннофокусные АФА и увеличивать высоту съемки;
- при выполнении метрических действий по снимкам ограничивать рабочую площадь снимка (при формате снимка 18X18 см - $r_c < 70$ мм);
- при необходимости , когда относительное искажение масштаба превышает требуемую точность 1/100

использовать частные масштабы рассчитанные по зонам снимка.

Вопрос: можно ли с достаточной точностью (1/100) проводить измерения на исходных или увеличенных снимках?

Ответ: можно, при условии использования гиостабилизированных снимков ($\alpha_p < 30'$) равнинной местности (крутизна склонов не более 6°), снятых длиннофокусными АФА ($f > 200$ мм) и в пределах рабочих площадей снимков.

Суть технологии создания «сельских фотопланов» - минимизация влияния угла наклона снимка и рельефа при аэрофотографировании.

Носитель съемочной аппаратуры - самолет Ту-134СХ,

Углы наклона снимков не более 1° (гиростабилизированные).

Высота съемки – **10 000 м.**

АФА с фокусным расстоянием **1000 мм (ЛМК -1000 , АФА 42/100)**

Масштаб снимков – **1 : 10000**

Масштаб создаваемых сельских фотопланов -**1:2000**

Фотопечать на листах 50 x 60 или 60 x 60 см (на местности участок 120 или 144 га).

При перепаде высот местности в пределах снимка не более **40 м** и высоте съемки **H=10 000 м** влиянием рельефа можно пренебречь.

Точность получаемых фотопланов не ниже **1/100**.

«Сельские фотопланы» являются свободными, так как их изготавливают без опорных точек, имеющих геодезические координаты. Поэтому на них нет сетки геодезических координат и рамок трапеций государственной разграфки.

Снимок АФА LMK-1000; Н=10 000м; М 1:10 000

4. Трансформация аэрофотоснимков. Фотопланы и ортофотопланы, их метрические и изобразительные свойства.

Вторичные информационные модели — результат какого-либо преобразования исходных снимков.

Фотографическое преобразование выполняют с целью упрощения процесса извлечения из снимков семантической информации (*увеличение изображения, повышение контрастности, устранение влияния некоторых шумов и т. п.*).

Геометрическое преобразование (трансформирование снимков) — получение изображения местности в нужной картографической проекции, т. е. преобразование аэрофотоснимков, полученных в центральной проекции, в изображение местности в ортогональной проекции.

В результате получают цифровые модели местности (ЦММ), которые можно преобразовать в традиционные графические планы (карты) на бумажной основе или ортофотопланы, используемые в дальнейшем для создания лесоустроительных планшетов.

Цифровая модель местности (ЦММ) содержит информацию о пространственном положении объектов местности и семантическую информацию об этих объектах.

ЦММ - совокупность цифровой модели рельефа (**ЦМР**) и цифровой модели ситуации (**ЦМС**).

ЦММ = (ЦМР) + (ЦМС)

ЦМР - массив чисел, являющихся пространственными координатами точек местности.

ЦМС - массив чисел, каждым элементом которого являются плановые координаты поворотных точек границ объектов и закодированная числами семантическая информация об этих объектах.

Цифровая (электронная) карта (ЦК) — объединение ЦМР и нескольких ЦМС. Каждая ЦМС - слой ЦК. Все слои ЦК связаны посредством ЦМР.

Фотоплан — фотографическое одномасштабное изображение местности, составленное из рабочих площадей трансформированных снимков, на которое нанесена координатная сетка.

На фотоплане устраняются искажения за наклон снимка.

На **контурных фотопланах** условными знаками показаны необходимые элементы ситуации, некоторые элементы естественного рельефа: бровки балок, оврагов, линии резкого изменения крутизны склонов, а также искусственные формы рельефа.

На **топографических фотопланах** условными знаками показана ситуация и нанесены горизонталы.

Ортофотоплан — фотографическое изображение местности в ортогональной проекции. (устраняются искажения и за наклон снимка и за рельеф)

3D-изображение — это изображение трехмерных объектов на плоскости.

Послойная структура цифровой векторной карты

Фотокарта

3D изображение местности

5. Способы изготовления фотосхем

Фотосхема - фотографическое изображение местности, составленное из рабочих площадей снимков.

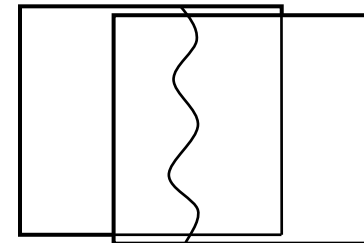
Материалом для монтажа фотосхем служат контактные и, реже, увеличенные снимки.

Фотосхемы можно использовать:

- как приближенный картографический материал;
- для дешифрирования с целью выявления взаимосвязей элементов ландшафта, лесных массивов большой площади;
- при выполнении аэровизуального дешифрирования.

Способы изготовления фотосхем

1. По соответствующим точкам (индивидуальная и совместная обрезка)
2. По начальным направлениям (только совместная обрезка по кривым или ломанным линиям)



Индивидуальная обрезка

Совместная обрезка

Порядок подготовки снимков при монтаже **по начальным направлениям**

1) Рабочие центры (РЦ) (т. **1, 2, 3**) на удалении от ГЛТ не более **0,05f**
Начальные направления – (**1, 2'**); (**1', 2**) и**k1** и **k2** - вспомогательные точки.

2) *Степень разномасштабности* используемых снимков:

-если разности отрезков (**1, 2'**) - (**1', 2**) ≤ 1 мм, (**2, 3'**) - (**2', 3**) ≤ 1 мм, то с помощью **пуансона** пробивают отверстия на всех наколотых точках (1, 1', 2, 2', 3, 3', К1, К2)

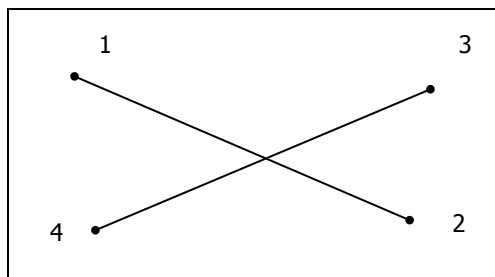
- при большей разности отверстия пробивают на вспомогательных точках всех снимков (**k1** , **k2**) и на рабочих центрах четных (точки **1', 2** , **3'**) или нечетных снимков. На остальных снимках через рабочие центры вдоль начальных направлений прочерчивают штрихи длиной 5 мм (**1, 2'** на снимке **1**; **2', 3** на снимке **3**).

3) Точно совмещают отверстия на точках (**k1, k2**), а несовмещения отверстий на РЦ направляют по начальному направлению.

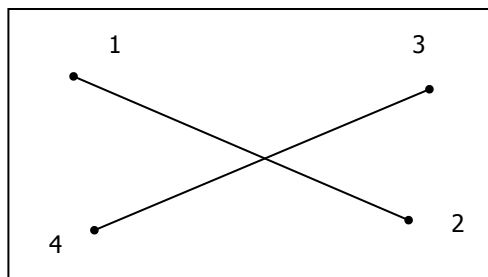
4) Выполняют обрезку снимков **совместно по кривым или ломаным линиям**.

Определение среднего масштаба фотосхемы (аэрофотоснимка):

1) Сопоставлением двух соответственных базисов, измеренных на фотосхеме и карте.



а) карта



б) фотосхема

$$m_c = M_k * d_k / d_c,$$

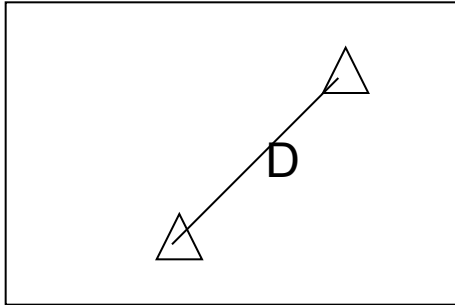
где: $m_c(M_k)$ - знаменатель масштаба фотосхемы (карты);

$d_c(d_k)$ – величина базиса на фотосхеме (карте).

$$m_{cp} = (m_{1-2} + m_{3-4})/2$$

2) При отсутствии подходящей карты средний масштаб фотосхемы может быть определен:

- **по опознанным на фотосхеме пунктам государственной геодезической опоры (измеренной линии на местности);**



$$m = D / d,$$

где D – горизонтальное проложение между пунктами ГГС на местности (решение ОГЗ),

d - расстояние между пунктами ГГС измеренное на снимке.

- **по высотам съемки использованных при изготовлении фотосхемы снимков**

по формуле $1 / m_{cp} = f / H_{cp},$

где H_{cp} — средняя высота съемки для использованных при монтаже снимков.

6. Особенности и условия космической съемки

Основные отличительные особенности получения космических снимков:

- большая скорость и сложность траектории движения КПА относительно земной поверхности;
- значительная высота съемки (высота полета КПА), 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 съемочных систем.

Скорость спутника на орбите $V = B/R^{1/2}$, где $B = 631 \text{ км}^{3/2}/\text{с}$

Период обращения спутника $T = 2\pi R^{3/2}/B = 2\pi R/V$

Скорость перемещения подспутниковой точки по поверхности Земли $V_z = V \cdot R_0/R$

$R = R_0 + H$ – расстояние между спутником и центром Земли

$R_0 = 6370 \text{ км}$ – средний радиус Земли

H – высота орбиты спутника над поверхностью Земли

Виды орбит КЛА

$V_1=7,9 \text{ км/с}$

$V_2=11,2 \text{ км/с}$

$V_3=16,6 \text{ км/с}$

$V_4=550 \text{ км/с}$

Рис. Форма орбит

- 1– круговая
- 2 – эллиптическая
- 3 – параболическая
- 4 - гиперболическая

Рис. Элементы круговой орбит

Рис. Солнечно-синхронная орбита

Рис. Геостационарная орбита

Зависимость траектории КЛА от наклона орбиты

Траектория МКС наклонение 51°

Траектория с наклонением 75°

Траектория с наклонением 99°

Основные технические характеристики зарубежных космических съемочных систем

Спасибо за внимание!