ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.Б.16 Фотограмметрия и дистанционное зондирование

Направление подготовки: 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Профиль обучения Землеустройство

Форма обучения: заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ 3
1.1 Лекция №1 (2часа).....2
Тема: Предмет фотограмметрии и фотографические материалы......2
1.2 Лекция №2 (4часа).....2
Тема: Производство аэро- и космической съемки... 2
1.3 Лекция №3 (4часа).....2
Тема: Геометрические свойства аэроснимка.. 2
1.4 Лекция №4 (2часа).....2
Тема: Цифровые модели местности, планы и карты. 2
1.5 Лекция №5 (4часа).....2
Тема: Общие принципы дешифрирования материалов аэро- и космических снимков. 2
1.6 Лекция №6 (2часа).....2
Тема: Дистанционное зондирование при обследовании почв, растительности и создании ГИС. 2
1.7 Лекция №7 (2часа).....2
Тема: Применение дистанционного зондирования при землеустройстве, мониторинге земель и кадастрах..2
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ..... Ошибка! Закладка не определена.
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Лабораторная работа №1 (4 часа)……2
Тема: Знакомство с аэро-космическими съемочными системами, материалами нефотографических съемок. 2
2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа)……2
Тема: Расчет технического задания на аэрофотосъемку ……...
2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа)……2
Тема: Накидной монтаж аэрофотоснимков
2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа)……2
Тема: Оценка качества материалов аэрофотосъемки 2
2.5 Лабораторная работа №5 (2 часа)……2
Тема: Получение стереоэффекта. 2
2.6 Лабораторная работа №6 (4 часа)……2
Тема: Элементы ориентирования снимка и их определение ……..
2.7 Лабораторная работа №7 (2 часа)……2
Тема: Графическая фототриангуляция.…….
2.8 Лабораторная работа №8 (4 часа)……2
Тема: Визуальное дешифрирование 2
2.9 Лабораторная работа №9 (2 часа)……2
Тема: Технология дешифрирования снимков для создания базовых карт состояния и использования земель.....2
2.10 Лабораторная работа №10 (2часа)…… ……
Тема: Объекты дешифрирования аэрофотоснимков для создания карт состояния и использования земель …….
2.11 Лабораторная работа №11 (2 часа)……2
Тема: Дешифрирование снимков поселений для целей кадастра и инвентаризации земель .2
2.12 Лабораторная работа №12 (4 часа)……2
Тема: Оценка и картографирование сельскохозяйственных угодий средствами инструментальной ГИС MapInfo Professional 11.0.....2
2.13 Лабораторная работа №13 (4 часа)……2
Тема: Дистанционная оценка и картографирование почв средствами инструментальной

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....29
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ 29

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Лекция 1

Тема: Понятие фотограмметрии и фотографические материалы

1) Предмет фотограмметрии, ее содержание и задачи.

Фотограмметрия – техническая наука о методах определения метрических характеристик объектов (форм, размеров и др.) и их положения в двух- или трехмерном пространств по снимкам, полученных с помощью специальных съемочных систем.

Термин "фотограмметрия" происходит от греческих слов: *photos* – свет, *gramma* – запись, *metreo* – измерение. Следовательно, его дословный перевод - измерение светозаписи.

Предметы изучения фотограмметрии это геометрические и физические свойства снимков, способы их получения и использования для определения количественных и качественных характеристик сфотографированных объектов, а также приборы и программные продукты, применяемые в процессе обработки.

Современная фотограмметрия как техническая наука тесно связана с науками физико-математического цикла, достижениями радиоэлектроники, вычислительной техники, приборостроения, фотографии. Она органически связана с геодезией, топографией и картографией.

Основная задача фотограмметрии – топографическое картографирование, а также создание специальных инженерных планов и карт, например кадастровых.

Характеристики объекта могут изучаться по его изображению на одиночном снимке или по паре перекрывающихся снимков, полученных из различных точек пространства**.**

Если при изучении объекта используются свойства одиночного снимка, то такой метод получения необходимой информации называют **фотограмметрическим.** Если же он изучается по паре перекрывающихся снимков, то метод называют **стереофотограмметрическим.**

Фотографические методы позволяют также экономично и достаточно точно решать непосредственно по снимкам некоторые прикладные задачи, например измерить площадь участков местности, определить их уклоны, получать количественные характеристики эрозионных процессов и т.д.

Процесс отбора подлежащих нанесению на изготавливаемые планы и карты объектов, которые опознают на анализируемых изображения, определяют на анализируемых изображениях, определяют их кач. и кол. характеристики, положение границ и выражают полученные данные условными знаками называется **дешифрированием снимков.**

В 20-е годы прошлого столетия были сделаны попытки использования

аэрофотоснимков для специализированного изучении лесов и в начале 30-х годов – почв. Создание космических летательных аппаратов и съемочных систем, работающих в более широком диапазоне электромагнитных излучений активизировало развитие этого направления – дистанционное зондирование.

Дистанционное зондирование – неконтактное изучение Земли (планет, спутников), ее поверхности, близповерхностного пространства и недр (сейсморазведка и гравиоразведка, сканирующую эхолоцию дна), отдельных объектов, динамических процессов и явлений путем регистрации и анализа их собственного или отраженного электромагнитного излучения.

Дистанционное зондирование, интенсивно развиваясь, выделилось в самостоятельное направление использования снимков.

Рис 1. Схема взаимосвязи основных процессов получения и обработки снимков.

Основными достоинствами фотограмметрического и стереофотограмметрического методов являются:

- высокая точность результатов, так как снимки объектов получают прецизионными фотокамерами, а их обработку выполняют, как правило, строгими методами;
- высокая производительность, достигаемая благодаря тому, что измеряют не сами объекты, а их изображения. Это позволяет обеспечить автоматизацию процесса измерений и последующих вычислений;
- объективность и достоверность информации, возможность при необходимости повторения измерений;
- возможность получения в короткий срок информации о состоянии, как всего объекта, так и отдельных его частей;
- безопасность ведения работ, так как съемка объекта выполняется неконтактным (дистанционным) методом. Это имеет особое значение, когда объект недоступен или пребывание в его зоне опасно для здоровья человека.
- возможность изучения движущихся объектов и быстро протекающих процессов.

Наряду с отмеченными достоинствами рассматриваемые методы имеют и недостатки. К ним следует отнести зависимость фотографических съемок от метеоусловий и необходимость выполнения полевых геодезических работ

с целью контроля всех технологических процессов. Поэтому только разумное их сочетание с другими методами получения информации может обеспечить решение поставленной задачи с минимальными затратами труда и средств.

2) Понятие о фотографическом процессе.

Получение фотографического изображения основано на фотографическом эффекте. Под воздействием энергии излучения некоторые природные или созданные человеком вещества изменяют свое состояние. При этом вещества, являющиеся результатом фотохимической реакции, образуют фотоизображения. В фотографическом процессе наиболее часто используют галогениды серебра: бромистое (ArBr), хлористое (ArCl), йодистое (ArI) и их сочетания.

Фотографический эффект в общем виде описывается формулой

$$ArBr + hv = Ar + Br,$$

Где hv – энергия фотона (h – постоянная Планка; v – частота электромагнитных колебаний); Ar – серебро; Br – бром.

Энергия, поступающая на галогенид серебра, вызывают начальную фазу реакции разложения, происходящую медленно. Для ее ускорения применяют химические реактивы (проявители). Образованное при этом металлическое серебро (Ar) есть та частица, из которой строится изображение. Чем интенсивнее световой поток, тем активнее происходит фотохимическая реакция и тем больше образуется металлического серебра (на снимке это участки черного цвета).

Весь процесс получения фотографического изображения состоит из нескольких этапов. **На первом этапе –** съемочном – с помощью оптической системы строится изображение на светочувствительном слое фотографического материала, находящегося в ее фокальной плоскости. Освещенность отдельных участков оптического изображения будет пропорциональна яркостям соответственных участков снимаемого объекта. В результате взаимодействия световых лучей и галогенидов серебра происходит фотохимическая реакция и образуется так называемое скрытое изображение. **На следующем этапе**, негативном, с помощью химических реактивов скрытое изображение превращается в видимое. Продукт этого этапа – негатив (зафиксированное на фотоматериале обратное по яркости изображение объекта). Негатив, будучи промежуточным продуктом, используется в **следующем этапе** для получения позитива, который представляет собой аналоговую копию объекта съемки. Все три этапа связаны между собой, и погрешности, возникающие при их выполнении, влияют на качество снимков.

3) Черно-белые и цветные фотографические материалы.

Фотоматериалы различают по их назначении, техническим характеристикам, строению, качественному составу и т.п. Их изготавливают в виде фотопленки, фотопластинок, фотобумаги.

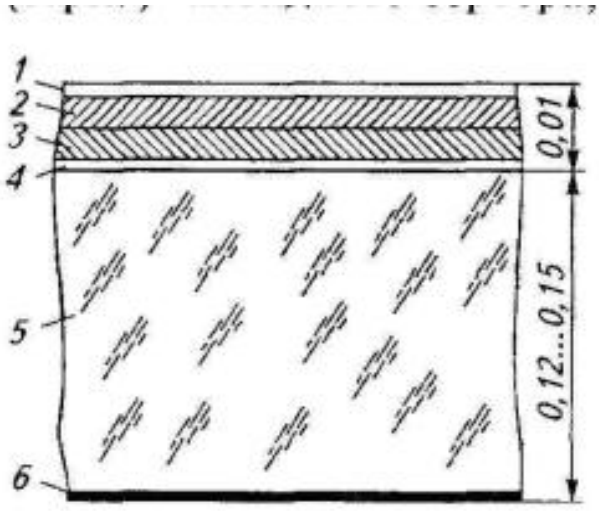


Рис. 2 Строение черно-белой негативной аэрофотопленки:
1, 2 и *3* – защитный, второй и первый эмульсионные слои;
4 – подслой; *5* – целлулоидная основа; *6* – противоореольный слой

Схема расположения основных слоев черно-белой аэрофотопленки показана на рис. 2. На основу (подложку) *5* наносится один или два фотоэмульсионных (светочивствительных) слоя *2,3.* Имеется вспомогательные слои: защитный слой *1*(задубленная желатина) покрывает эмульсионный слой и защищает его от механических повреждений, слой *4* обеспечивает надежное соединение отдельных слоев и подложки, противоореольный слой *6* поглощает лучи, отразившиеся от подложки.

Светочувствительный (фотоэмульсионный) слой изготавливают из фотоэмульсии, которая представляет собой желатину с распределенными в ней частицами светочувствительного вещества (галогенидами серебра). В фотоэмульсию также добавляют вещества, улучшающие ее свойства:

- стабилизирующие вещества, способствующие сохранению фотографических свойств эмульсионного слоя в течение длительного времени:

- дубящие вещества, повышающие механическую прочность и теплостойкость фотоэмульсии;

- оптические сенсибилизаторы (органические красители), способствующие увеличению чувствительности фотослоя к лучам зеленой, красной или инфракрасной зоны спектра.

Толщина светочувствительного слоя на аэрофотопленке в сухом состоянии колеблется от 5 до 25 мкм. В этом слое кристаллы (зерна) галоидного серебра, размеры которого около 1 мкм, располагаются беспорядочно в 20…40 ярусах. Расположение кристаллов, их пространственное распределение по толщине слоя, по размерам определяет

структуру непроявленного фотоэмульсионного слоя. Эта характеристика важна тем, что изначально устанавливает качественные параметры будущего изображения.

В качестве **основы (подложки)** используют прозрачные и непрозрачные материалы. К материалам, применяемым для создания аэрофотопленок, предъявляют высокие требования: механическая прочность и эластичность, малая деформация при сушке после фотохимической обработки, прозрачность и оптическая однородность, устойчивость к температурным изменениям и химическому воздействию реактивов. Основы аэрофотопленок изготавливают из триацетата, лавсана или материала типа «кронар» и «эстар».

Критерием подложки, определяющим позиционную точность изображения на снимке, является ее деформация, которая может быть плоскостной, определяемой по двум взаимно перпендикулярным направлениям в плоскости снимка, и вертикальной вследствие непостоянства толщины аэрофотопленки (изменение толщины на 4…8 мкм). Плоскостную деформацию разделяют на равномерную и неравномерную.

Лекция 2
Тема: Производство аэро- и космической съемки

1) Технические показатели аэрофотосъемки

Аэро- и космические съёмки (АКС) являются первым техническим этапом при решении фотограмметрических задач и дистанционного зондирования. При этом выполняется измерение (регистрация) отражённого или собственного электромагнитного излучения. Измерения излучения производят с некоторого расстояния от изучаемого объекта с помощью различных датчиков или съёмочных систем.

При создании топографической основы фотограмметрическим методом используют снимки, полученные отечественными аэрофотоаппаратами типа АФА-ТЭ, АФА-ТЭС, а из зарубежных – DiMAC SYSTEMS,Jena-Optronik (JAS 150) RC-30, DSW 700 (Leica) и др.

В качестве основных носителей съемочной аппаратуры применяют самолеты: Ан-2, Ан-30, Ту-134СХ, Ил-20М. В некоторых случаях съемку проводят с вертолетов, мотодельтапланов, управляемых по радио авиамоделей и воздушных шаров. Съемку выполняют в ясную солнечную погоду, при отсутствии облаков. Комплекс аэрофотосъемочных работ состоит из нескольких этапов:

1 этап – разработки технического задания (проекта), включающего технические параметры съемки: границы участка съемки, высоту и масштаб фотографирования, фокусное расстояние АФА, продольное и поперечное перекрытие снимков, тип аэрофотопленки, сроки съемки и т.д. При

использовании современных технических средств производства аэрофотосъемки, таких, как навигационная система GPS и компьютерная система управления полетом и работой аэрофотоаппарата типа ASCOD (AerialSurveyControlTool для составления проекта вводятся необходимые параметры аэрофотосъёмки и координаты поворотных точек границы объекта. Параметры могут отличаться для каждого маршрута. Программный комплекс позволяет не только управлять аэрофотосъёмкой в полёте, но и осуществлять имитацию аэрофотосъёмочного полёта с камерой или без неё в целях обучения, демонстрации или проверки аппаратуры.), разработка задания имеет свои особенности. Получают координаты проектируемых центров фотографирования, т.е. точек, в которых происходит открытие затвора АФА (экспонирование). Для этого на топографическую карту масштаба 1:100 000 наносят заданную границу участка (объекта) аэрофотосъемки. Затем с помощью дигитайзера (Дигит - цифра. устройство оцифровки, планшет –поверхность, на которой закрепляется бумажная карта и панель/указатель – устройство, перемещаемое по планшету, снабженное кнопками, с помощью которых выбираются точки на карте) определяют координаты поворотных точек границы участка съемки, которые вводят в бортовой компьютер. В компьютер также вводят масштаб аэрофотосъемки, величину продольного и поперечного перекрытия, фокусное расстояние и формат снимков. По этим данным вычисляют координаты проектируемых центров фотографирования в системе координат WGS – 84.

2 этап – подготовки аэрофотосъемочного оборудования, полетного задания и т.п.

3 этап – аэрофотографирования;

4 этап – фотолабораторной обработки аэрофильмов (проявление, фиксирование, сушка, нумерация негативов, контактная печать аэроснимков);

5 этап – составления накидного монтажа и изготовления его репродукции, оценки фотографического и фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки;

6 этап – сдачи материалов аэрофотосъемки заказчику.

2) Классификация съемочных систем

При аэрофотографировании масштаб получаемых снимков, по экономическим соображениям, мельче масштаба создаваемого плана. По масштабу фотографирования съемку разделяют на:

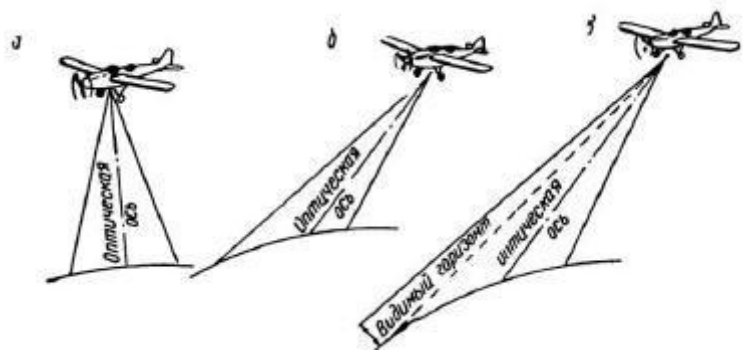
крупномасштабную (1: M > 1:15 000),

среднемасштабную (1:16 000 < 1 :M< 1:50 000),

мелкомасштабную (1:M < 1:51 000)

сверхмелкомасштабную (1:M < 1:200 000).

Фотосъемку в зависимости от угла отклонения оптической оси объектива АФА от вертикали, делят на **плановую** и **перспективную.**



Плановой называют аэрофотосъемку, выполняемую при вертикальном положении оптической оси, при этом угол отклонения допускается до 3°.

Использование гиростабилизирующих аэрофотоустановок при фотографировании местности позволяет получить снимки с углом наклона 7…10 мин (придельное значение угла 40 мин). При создании планов и карт крупного масштаба применяют снимки, полученные в результате проведения плановой аэрофотосъемки.

При **перспективной** съемке угол отклонения оптической оси от вертикали может достигать 45°. Ее выполняют для увеличения зоны захвата снимаемой местности при обзорных или рекогносцировочных работах.

При **планово-перспективной** съемке используют несколько аэрофотоаппаратов одновременно – одним АФА проводят плановую съемку, другими перспективную. Это позволяет фотографировать полосу местности до горизонта.

По количеству и расположению снимков различают однокадровую (одинарную), маршрутную и многомаршрутную (площадную) аэрофотосъемку.

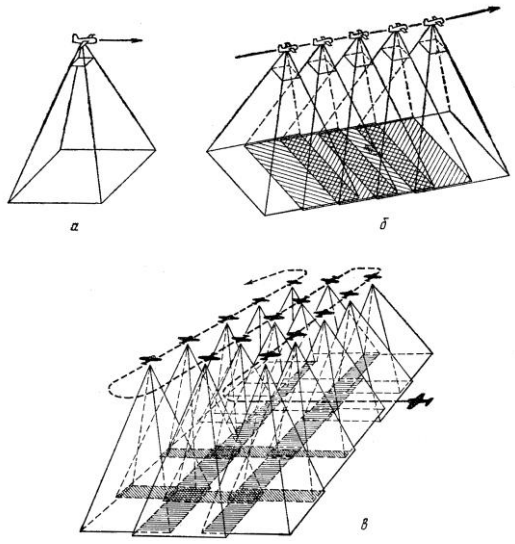


Рис. 7 Схемы одинарной (а), одномаршрутной (б)
и площадной (в) аэрофотосъемки

При **однокадровой** фотосъемке получают одиночные снимки участков земной поверхности.

При **маршрутной** фотосъемке изображение полосы местности представляется в виде некоторого количества снимков, полученных по направлению (маршруту) полета летательного аппарата. Маршрут полета может быть прямолинейным, криволинейным или ломанным. Это зависит от вида фотографируемого объекта и целей съемки. Например, при обследовании или проектировании линейных объектов (дорог, трубопроводов, линий электропередачи, каналов…) съемку проводят по криволинейным или ломанным маршрутам.

Многомаршрутная (площадная) фотосъемка представляет собой получение снимков местности с нескольких параллельных маршрутов. Маршруты прокладываются чаще всего по направлениям восток – запад – восток или север – юг – север. Площадную аэрофотосъемку применяют при картографировании или обследовании больших территорий.

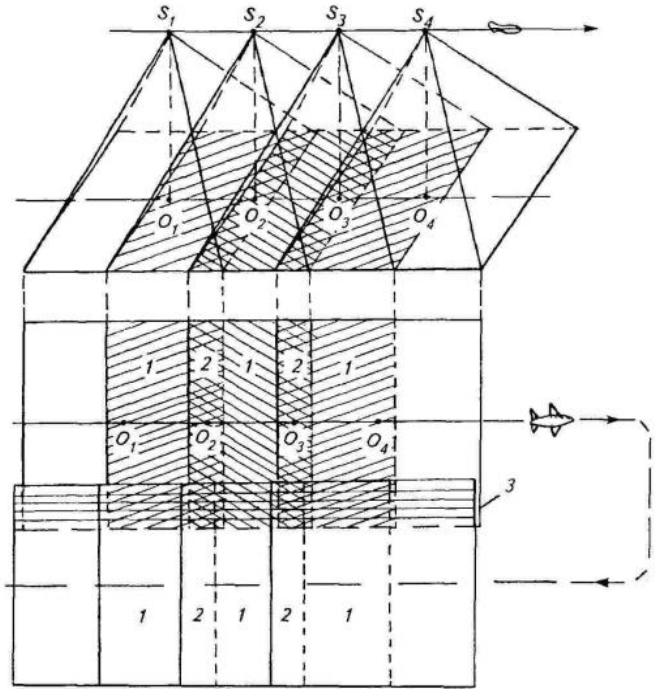


Рис.8 Схема аэрофотосъемки:
1 – двойное продольное перекрытие снимков*;*
2 – тройное продольное перекрытие снимков;
3 – поперечное перекрытие снимков;
S1…S4 – положение центров фотографирования;
O1…O4 – их проекции на местности

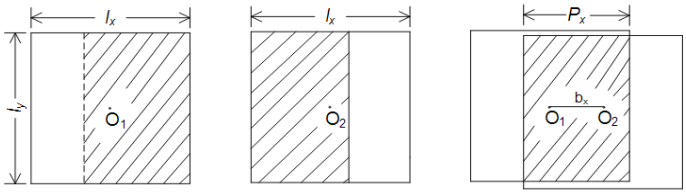


Рисунок 1 – Продольное перекрытие аэрофотоснимков:

l_x и l_y – формат кадра;
O_1 и O_2 – центры предыдущего и последующего аэрофотоснимков маршрута;
- участок местности, изобразившийся на предыдущем и последующем аэрофотоснимках;
$в_x$ – продольный базис фотографирования в масштабе аэрофотоснимка;
P_x – продольное перекрытие.

Одномаршрутную и многомаршрутную аэрофотосъемку, проводимую с помощью кадровых АФА, выполняют с перекрытиями соседних снимков.

Перекрытиями называют части аэроснимков, на которых изображена одна и та же местность. Значения перекрытий выражают в процентах от длины стороны снимков.

Взаимное перекрытие снимков одного маршрута – это **продольное перекрытие.** Перекрытие двух смежных снимков называется двойным (*1*), зона перекрытия трех снимков – тройным перекрытием (*2*) и т.д.

Поперечное перекрытие – это перекрытие снимков соседних маршрутов.

Продольные и поперечные перекрытия позволяют определить центральную часть снимка, где его геометрические и фотометрические искажения минимальны. Эту часть снимка называют **рабочей площадью снимка**. Рабочую площадь снимка, ограниченную линиями, проходящими через середины двойных продольных и поперечных перекрытий, называют **теоретической.**

3) Оценка качества результатов аэрофотосъемки

После выполнения аэросъемочных работ оценивают качество материалов аэрофотосъемки.

Оценку качества материалов съемки выполняют с целью выявления соответствия реально получаемых результатов требованиям технического задания и существующим нормативам, значения которых установлены инструкциями и наставлениями по проведению аэрофотосъемок. Оценивают также фотографическое качество аэрофотоснимков и фотограмметрическое качество материалов аэрофотосъемки.

Фотографическое качество зависит от состояния атмосферы, освещения объекта съемки, технических условий проведения аэрофотографирования, фотохимической обработки. При визуальной оценке на аэрофотонегативах не должно быть обнаружено механических

повреждений, изображений облаков, теней от них, бликов, ореолов. Изображение на снимках должно быть резким, с хорошей проработкой деталей в светлых и темных участках. Оптическая плотность (тон) и контрастность должны соответствовать нормативам. При визуальном способе для сравнения можно использовать снимки-эталоны. Эталонными являются снимки, фотографическое качество которых оценено высококвалифицированными специалистами — экспертами. Применение приборов позволяет более точно и объективно оценить фотографическое качество аэрофотоизображений.

Фотограмметрическое качество материалов аэрофотосъемки оценивают по следующим критериям.

1. Определение продольных и поперечных перекрытий. Размер перекрытий определяют с помощью специальной линейки для измерения перекрытия в процентах. Если аэрофотосъемка выполнена с продольным перекрытием 60 или 80 %, минимальное значение перекрытия допускается соответственно 56 и 78 %. Минимально допустимое поперечное перекрытие равно 20 %. Обычно определение перекрытий выполняют по накидному монтажу.

Накидным монтажом называют временное соединение контактных снимков, осуществляемое совмещением (наложением) их перекрывающихся частей. В результате получают непрерывное фотографическое изображение большой территории. Снимки укладывают и закрепляют на специальные деревянные щиты, иногда покрытые пробковым слоем. При 80 %-м перекрытии снимки укладывают через один, при 90 %-м — через два. Независимо от размера продольного перекрытия обязательно используют крайние снимки маршрутов.

Укладывают снимки на щите так, чтобы номера их были расположены горизонтально и были видны на накидном монтаже. Номер может быть в правом верхнем углу или на южной (нижней) стороне снимка. На первый закрепленный снимок укладывают второй из данного маршрута, максимально точно совмещая изображения их перекрывающихся частей. Совмещают изображения способом мельканий. После закрепления второго снимка аналогично укладывают остальные снимки маршрута. Снимки второго и последующих маршрутов укладывают способом мельканий, добиваясь совмещения изображений как в зонах продольных, так и поперечных перекрытий. При 30%-м поперечном перекрытии монтируют все маршруты, при 60%-м-через маршрут. При значительной территории съемочного участка составляют несколько накидных монтажей, каждый из которых, как правило, покрывает четыре смежные трапеции.

2. Непрямолинейность аэрофотосъемочного маршрута. Для ее определения сначала находят главные точки крайних снимков маршрута, за которые принимают пересечение линий, соединяющих противоположные координатные метки. Затем их соединяют прямой линией, измеряют расстояние L между ними (рис.9)

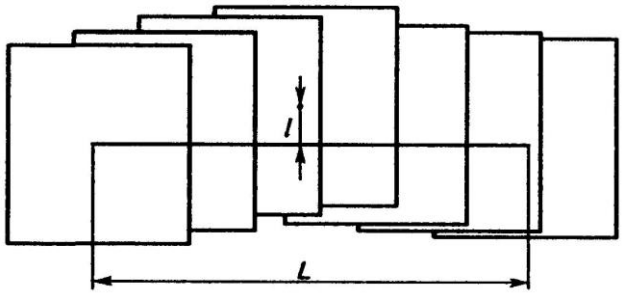


Рис. 9 Схема определения непрямолинейности маршрута съемки

После этого измеряют уклонение *l* от этой прямой главной точки наиболее удаленного снимка. Это уклонение называют стрелкой прогиба маршрута. Отношение стрелки прогиба к длине маршрута, выраженное в процентах, есть непрямолинейность маршрута:

$$n = l \, x \, 100\%/L.$$

Непрямолинейность маршрута не должна превышать 2 % при высоте фотографирования $H > 750$ м и в масштабе съемки 1 : М мельче 1:5000 и не более 3%, если $H < 750$ м и 1: М крупнее 1:5000.

3. Разворот снимков относительно направления маршрута («елочка») ε можно определить двумя способами.

Первый — путем измерения угла ε между линией *xx*, соединяющей координатные метки снимка и базисом фоторграфирования (рис. 10).

Второй — измерение угла между перпендикуляром к оси маршрута и поперечной стороной снимка. Допустимые углы «елочки» при фокусных расстояниях 100, 140, 200, 350 и 500 м соответственно равны 5,

7, 10, 12 и 14°.

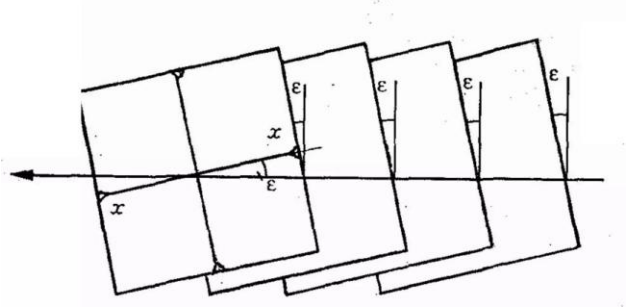


Рис. 10 Схема определения разворота снимка относительно направления маршрута съемки («елочки»)

4. Углы наклона снимков можно определять по изображению круглого уровня в одном из углов снимка. Как уже отмечалось, при плановой съемке углы наклона не должны превышать 3°.

5. Фактическую высоту *H* над средней плоскостью съемочного участка определяют по измеренным базисам на накидном монтаже и топографической карте по формуле:

$$H = f \, d_k \, M / d_{НМ},$$

где d_k – базис на карте; *M* – значение масштаба карты;

$d_{НМ}$ – базис на накидном монтаже

При аэрофотосъемке равнинной местности базисы выбирают по диагоналям накидного монтажа. Концами базисов служат достоверно опознаваемые точки на накидном монтаже и соответственные им на карте. При съемке местности со значительным рельефом базисы выбирают в пределах одного маршрута.

Отклонение фактической высоты от заданной вычисляют в процентах. Допустимое отклонение не должно превышать 3…5%

После завершения работ по оценке выдают заключение о качестве материалов аэрофотосъемки. В случае несоответствия требованиям аэрофотосъемку (сплошную или выборочную) повторяют.

Лекция 3
Тема: Общие принципы дешифрирования материалов аэро- и космических снимков.

1) Дешифрирование и его классификация.

Дешифрированием снимков - процесс распознавания объектов и их свойств, взаимосвязей по их изображениям на снимке и выражают полученные данные условными знаками.

Дешифрирование классифицируют по содержанию и технологии выполнения. В зависимости от **содержания** дешифрирование делят на 2 вида;

– **топографическое** (при мелкомасштабном картографировании - ландшафтное) выделяют, анализируют и показывают условными знаками элементы ландшафта, подлежащие нанесению на топографические карты (при ландшафтном – на географические карты);

– **специальное** (тематическое, отраслевое) набор объектов носит избирательный характер. Так, при земельно-кадастровом дешифрировании основными объектами анализа являются с/х угодья и границы землепользований и землевладений; при геоботаническом – естественные кормовые угодья или посевы культурных растений; при экологическом – зоны природных или антропогенных нарушений нормального состояния окружающей человека среды и т.д. Одновременно с целевыми объектами специального дешифрирования показывают в большинстве случаев и топографические элементы в упрощенном виде. Они облегчают привязку специальной информации при нанесении ее на имеющиеся карты, или их

используют для составления специальных карт, если подходящая топографическая основа отсутствует.

По **технологии выполнения** можно выделить след основные методы дешифрирования (в основе деления по методам лежит соотношение участия человека (дешифровщика) и компьютера):

1) визуальный, в котором информацию считывает со снимков и анализирует человек; в зависимости от места выполнения выделяют камеральный, полевой и комбинированный способы, которые можно поделить на варианты;

2) машинно-визуальный, в котором с помощью компьютера или специализированных устройств выполняют предварительную об работку первичных снимков с целью облегчения их визуального дешифрирования.

Способами данного метода могут быть: синтезирование изображений,
квантование уровней видеосигналов, фильтрация изображения и др.;

3) автоматизированный, в котором интерпретационная обработка снимков выполняется машиной в диалоговом режиме — человек выбирает способ обработки, выполняет «обучение» системы, контролирует качество работы классификатора, вносит коррективы в программы и др. В данном методе можно выделить два наиболее употребляемых способа - классификации, в котором анализируемые элементы изображения сразу же относятся к определенному эталонированному классу объектов, и кластеризации, в котором элементы изображения предварительно разбиваются на группы (кластеры) по сходству некоторых признаков с последующей идентификацией этих групп;

4) автоматический, в котором интерпретационная система решает отлаженные задачи без вмешательства человека.

Рис. 11 Технологическая классификация дешифрирования

Принципиальная схема дешифровочного процесса в любом методе остается неизменной – распознавание выполняют путем сопоставления и

определения степени близости некоторого набора признаков дешифрируемого объекта с соответствующими эталонными признаками, находящимися в памяти человека или машины.

2) Визуальный метод дешифрирования и способы его выполнения.

В визуальном методе дешифрирования можно выделить три основных способа: полевой, камеральный и комбинированный.

Полевой способ дешифрирования выполняют, сличая снимок с местностью. Специалист при этом может находиться на земле (наземный вариант) или на борту летательного аппарата (аэровизуальный вариант).

Полевое дешифрирование характеризуется наивысшей полнотой и достоверностью результатов. Однако ввиду сезонности и трудоемкости выполнения, а также повышенной себестоимости применяют его только в случаях, когда камеральное дешифрирование не обеспечивает нужного качества результатов.

Камеральный способ дешифрирования заключается в логическом анализе изображения с использованием всего комплекса дешифровочных признаков (визуально-логический вариант). В процессе дешифрирования используют вспомогательные материалы (карты, данные о юридических границах землепользовании и др.).

Достоверность камерального дешифрирования повышается при использовании снимков-эталонов типичных участков, дешифрированных в поле (эталонный вариант).

Комбинированный способ дешифрирования сочетает в себе процессы и технологические приемы предыдущих способов. В зависимости от последовательности их чередования могут быть выделены варианты. В одном из них предварительно выполняют камеральное дешифрирование, а затем полевую доработку сложных участков с попутным контролем результатов камерального дешифрирования. В другом — сначала выполняют избирательное
полевое дешифрирование (обычно вдоль транспортных путей), а затем камеральное с использованием дешифрированных в поле снимков в качестве эталонов.

Комбинированное дешифрирование сочетает в себе достоинства первых двух способов.

Визуальное дешифрирование представляет собой сложный многоэтапный процесс логического анализа изображений. Распознавание объектов и определение их характеристик часто сливаются в единый процесс с многократным чередованием анализа ситуаций в целом, а также их отдельных элементов и фрагментов. Человек может на основе ограниченной информации, использую логический аппарат, преобразовывать дешифровочные признаки применительно к конкретным временным и пространственным условиям, учитывать изменение признаков в зависимости от положения анализируемого участка в кадре и изменения условий освещения дешифрируемых объектов, использовать существующие

природные и функциональные взаимосвязи между элементами ландшафта, исключать некоторые шумы и др. Поэтому визуальное дешифрирование во многих случаях превосходит машинное (автоматизированное) по достоверности результатов.

Одна из важнейших психологических особенностей визуального дешифрирования — использование относительных оценок характеристик объектов на изображении. Например, общественные здания и сооружения отделяются от индивидуальных зданий в сельском поселении не по абсолютным размерам их изображения, а по относительным. Для этого не требуется даже знания масштаба изображения (Рис 11)

В дешифрировании отдельных объектов обычно **выделяют три ступени**:

3) Дешифровочные признаки, используемые при визуальном дешифрировании.

Основная задача дешифрирования - распознавание объектов (явлений, процессов) на изображении и определение их характеристик. Суть решения этой задачи существенно отличается от натурных обследований тех же объектов. Основное отличие заключается в том, что дешифровщик распознаёт объект по набору различных признаков и дополнительной информации, имеющейся в его распоряжении. Это, даже при сравнительно небольшом опыте работы со снимками, не вызывает существенных трудностей при их дешифрировании.

Для опознавания объектов на снимках используют геометрические и оптические характеристики этих объектов – прямые дешифровочные признаки: форма и размер объектов в плане и по высоте; общий (интегральный) тон черно
- белого (ахроматического) или цвет цветного (хроматического) изображений, а также текстура изображения.

Форма в большинстве случаев является достаточным признаком для разделения объектов природного и антропогенного происхождения. Объекты, созданные человеком, как правило, отличаются правильностью конфигурации. Так, любые здания и сооружения имеют обычно правильные геометрические формы. То же можно сказать о каналах, шоссейных и железных дорогах, парках и скверах, пахотных и культурных кормовых

угодьях и других объектах. Проявление определенной «геометричности» искусственных объектов наблюдается даже при преднамеренном стремлении специалистов придать проектируемым объектам свободные естественные формы.

Определению пространственной формы рельефного объекта способствует его собственная тень, покрывающая неосвещенную прямыми солнечными лучами часть поверхности самого объекта, и тень, падающая на земную поверхность от возвышающихся объектов.

На плановых снимках, полученных камерой с узкоугольным объективом, видна форма возвышающихся объектов в плане.

С увеличением угла поля зрения объектива и по мере приближения изображения этих объектов к краю кадра начинает отображаться их форма по высоте. Очевидно, что общие очертания изображения возвышающихся объектов будут изменяться.

Форма не возвышающихся над земной поверхностью объектов, например полей пашни, изменяется в зависимости от рельефа местности (величины и направления наклона поля относительно центра проекции) и их удаленности от точки надира. На плановом снимке перспективные искажения формы объектов визуально не воспринимаются.

Размеры дешифрируемых объектов в большинстве случаев, как уже отмечалось ранее, оценивают относительно. Об относительной высоте объектов судят непосредственно по их изображению на краях снимков, полученных с помощью широкоугольных съемочных систем. О размерах, а также и о форме по высоте можно судить по падающим от объектов теням. Разумеется, площадка, на которую падает тень, должна быть горизонтальной.

Тон изображения является функцией яркости объекта в пределах спектральной чувствительности приемника излучений съемочной системы.

Цвет изображения — более информативный признак, чем тон черно-белого изображения. Хроматическая чувствительность зрительного аппарата человека, как уже отмечалось, примерно на два порядка выше, чем ахроматическая. Использование псевдоцветных изображений (спектрозональных, синтезированных) существенно повышает достоверность решения некоторых дешифровочных задач за счет создания искусственных цветовых контрастов. Но одновременно отметим, что в ряде случаев использование более дорогих цветных снимков не дает заметного преимущества в достоверности решения дешифровочных задач. К таким задачам можно отнести, например, дешифрирование сельскохозяйственных угодий. Цвет при их распознавании не имеет существенного значения. Необходимые топографические объекты, дешифрируемые при этом, достаточно надежно опознаются и характеризуются по черно-белым снимкам.

Рассмотренные ранее факторы, обусловливающие непостоянство тона изображения, примерно так же влияют и на изменчивость цвета изображения

в полости кадра. Поэтому при решении дешифровочных задач, в которых тон или цвет изображения имеют большое значение, особое внимание должно быть обращено на некоторые параметры используемой для съемки съемочной системы.

Текстура изображения — характер распределения оптической плотности по полю изображения объекта на снимке. Через текстуру передаются структурные особенности объекта (форма, размер и взаимное положение слагающих объект или образующих его поверхность элементов и их яркость). Например, текстура массива леса образуется изображением на снимках крон отдельных деревьев, а при высоком разрешении съемочной системы и укрупнении масштаба съемки — изображением также элементов крон (ветвей или даже листьев); текстура чистой пашни формируется отображением пахотных борозд или отдельных комьев.

По мере уменьшения масштаба съемки текстура создается более крупными элементами местности, например отдельными полями пашни.

В формировании текстуры значительное значение имеют собственные и падающие тени. Текстура является признаком, производным от совокупности рассмотренных ранее признаков. Ее иногда относят к группе комплексных признаков.

При визуальном дешифрировании текстура достаточно описывается одним-двумя прилагательными, например линейчатая, губчатая, радиально-струйчатая.

Текстура относится к наиболее информативным признакам. Именно по текстуре человек безошибочно опознает леса, сады, поселения и многие другие объекты. Для перечисленных объектов текстура сравнительно устойчива во времени.

Текстура изображения пашни может существенно меняться в течение съемочного сезона, так как после вспашки, боронования, всходов рядовых посевов, смыкания растений, уборки урожая структура поверхности преобразуется. Кроме того, на текстуру пашни и даже таких устойчивых по структуре объектов, как леса, сады, виноградники, будет заметно влиять положение солнца в момент съемки.

Во многих случаях прямые признаки не могут обеспечить достаточную достоверность результатов дешифрирования. Уровень достоверности может быть повышен за счет привлечения к анализу дополнительной информации —путем использования, например известных взаимосвязей и взаимообусловленностей элементов ландшафта. Эти признаки принято называть **косвенными.**

Их можно разделить на три основные группы: природные, антропогенные и природно-антропогенные.

Природные косвенные признаки выражают взаимосвязи и взаимообусловленности естественных объектов и явлений. Их называют также ландшафтными.

Такими признаками могут быть, например, зависимость вида естественного травяного покрова от типа почвы, ее засоленности,

кислотности и увлажненности или связь рельефа с геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовательном процессе. В некоторых случаях по косвенным признакам дешифрируют объекты, вообще не изобразившиеся на снимках, например, по изобразившимся растениям ведут разведку залежей грунтовых вод в аридной зоне, полезных ископаемых.

Объекты, с помощью которых ведется поиск и определение характеристик,не дешифрирующихся напрямую объектов, называют **индикаторами,** а дешифрирование *индикационным*.

Такое дешифрирование может быть многоэтапным, когда непосредственные индикаторы опознаются с помощью вспомогательных индикаторов.

С помощью **антропогенных** косвенных признаков опознают объекты, созданные человеком. При этом используют функциональные связи между объектами, их положение в общем комплексе сооружений, зональную специфику организации территорий, коммуникационное обеспечение объектов и др. Например, животноводческая ферма может быть опознана по совокупности основных и вспомогательных построек, внутренней планировке территории, интенсивно выбитым прогонам, положению дешифрируемого комплекса относительно жилой зоны, характеру обслуживающей дорожной сети. Заметим, что каждое из сооружений комплекса отдельно, вне связи с прочими, не дешифрируется.

К **природно-антропогенным** косвенным признакам относятся: зависимость хозяйственной деятельности человека от определенных условий, проявление свойств природных объектов в деятельности человека и др. Например, по размещению некоторых видов культур можно составить суждение о свойствах почв, их увлажненности; по регулярно расположенным линиям дешифрируют элементы закрытой осушительной системы.

Дешифровочные признаки обычно используют комплексно, без разделения их на какие-либо группы. Изображение на дешифрируемом участке воспринимается человеком как единая модель местности. На основе результатов анализа модели создается предварительная гипотеза о сути объекта (явления). Правильность подтверждается или отвергается (иногда многократно) с помощью дополнительных признаков.

2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа №1

Тема: Знакомство с аэро-космическими съемочными системами, материалами не фотографических съемок

1.1 Классификация съемочных систем.

Съемочные системы подразделяют:

— на воздушные и космические в зависимости от вида летательного аппарата;

— пассивные и активные съемочные системы. В пассивных системах регистрируется отраженное солнечное или собственное излучение объектов. В активных

системах применяют искусственные генераторы для облучения поверхности снимаемых объектов с последующей фиксацией отраженного сигнала;

— системы, работающие в оптическом или радиодиапазоне;

— однозональные и многозональные. При выполнении многозональных съемок получают одновременно несколько изображений одной и той же территории в различных зонах спектра электромагнитного излучения;

— фотографические и нефотографические съемочные системы. В фотографических системах электромагнитное излучение регистрируют на черно-белых или цветных фотографических пленках. На фотографических снимках информация об исследуемых объектах записывается в виде оптических плотностей (или цвета), соответствующих яркостям элементов поверхности Земли. В нефотографических системах кодом изображения служит сигнал, возникший в приемнике излучения, который пропорционален излучению, поступившему от элемента объекта съемки. Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой вид;

— оперативные и неоперативные — по способу доставки видеоинформации. Фотографические съемочные системы являются неоперативными, так как для доставки экспонированной пленки требуется посадка летательного аппарата или сброс на Землю специального контейнера. Нефотографические системы относят к оперативным. С их помощью видеоинформация передается по радиоканалу в реальном времени съемки или записывается на магнитном носителе с последующей передачей в эфир;

— по способу построения изображения.

Изображение строится по законам центральной проекции (кадровые фотографические и телевизионные системы), строчно-кадровой развертки (сканеры) и по иным законам. При создании топографических крупномасштабных планов и карт фотограмметрическим методом используют снимки, получаемые кадровыми аэрофотоаппаратами.

Классификация может быть продолжена исходя из многообразия конструкций и технических характеристик съемочных систем.

1.2 Нефотографические съемочные системы

К нефотографическим системам относят несколько классов съемочных устройств, которые разработаны с целью расширения технических возможностей аэро- и космических методов изучения Земли. Принципиальное их отличие от фотографических систем — применение иных сенсоров, регистрирующих широкий спектр излучения от земной поверхности, иных способов построения и передачи изображения. Съемочные системы, установленные на космических летательных аппаратах, позволяют получать информацию о процессах, проходящих на Земле, в реальном или близреальном времени. Специфика космических полетов потребовала конструирования съемочных систем специального вида: компактных, малой массы и энергопотребления, с возможностью передачи без искажения информации на пункт приема непосредственно в процессе съемки и т.д. Съемочные системы, применяемые при космических съемках, успешно используют в аэросъемочном процессе.

Кадровые телевизионные (ТВ) системы имеют сходство с кадровыми фотографическими системами — изображение строится по закону центральной проекции. Также существуют оптическая система, затвор, компенсатор сдвига изображения. Изображение формируется на фотоэлектрической поверхности (фотомишени), являющейся частью приемопередающего устройства — видикона (рис.1).

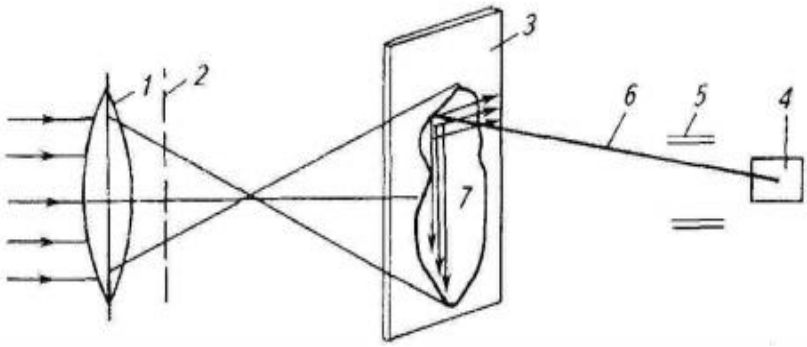


Рис.1 Схема видикона:

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

Фотомишень можно считать аналогом фотопленки, но в отличие от нее используемым многократно. Схема процесса получения ТВ-снимка следующая. Оптическое изображение с помощью объектива фокусируется на фотомишень. На ее поверхности образуется поле электрических зарядов. Величина заряда на элементарной площадке фотомишени пропорциональна интенсивности падающего светового потока (экспозиции). Изображение представлено распределением электрических зарядов различной величины. При передаче на пункт приема оно сканируется электронным лучом, исходящим из электронного прожектора и управляемым отклоняющей системой (конденсаторами). В момент взаимодействия электронного луча с элементарной ячейкой происходит сложение зарядов. Суммарный заряд поступает на усилитель, после чего передается антенной по радиоканалу на наземный пункт приема, где поступившие сигналы визуализируются — преобразуются в изображение, аналогичное фотографическому. В результате сканирования фотоэлектрическая поверхность очищается и готова к приему нового оптического изображения. В случае, когда прямая радиосвязь невозможна, результаты съемки записываются на магнитный носитель. Передачу информации начинают после входа в зону радиовидимости. Изображение в кадровых ТВ-системах может быть получено одновременно в нескольких спектральных зонах. Для этого используют несколько видиконов, имеющих различную спектральную чувствительность фотоэлектрических поверхностей.

Недостатки кадровых ТВ-систем — большие геометрические и фотометрические искажения, низкая разрешающая способность, а также зависимость от погодных условий. ТВ-снимки используют при исследовании больших территорий земной поверхности и поверхности океанов, изучении облачности и т. п. Из отечественных ТВ-систем можно отметить систему «Метеор» с разрешением на местности от 1,25 х 1,25 км в центре до 2,0 х 2,0 км на краю снимка. Система RVR, установленная на LANDSAT (США), имеет три спектральных канала с разрешением на местности при съемке с высоты 930 км 0,04...0,08 км.

Сканирующие съемочные системы (сканеры) отличаются от других прежде всего принципом построения изображения, которое строится построчным сканированием (просматриванием) местности (рис..2, *а)*.

Сканирующее устройство воспринимает отраженный (излученный) электромагнитный поток от элементарных площадок снимаемого объекта *I*, расположенных вдоль строки. Размер площадки зависит от высоты съемки, мгновенного угла *2а* изображения оптической системы *2* сканера и положения относительно оси сканирования (рис 2, *б).* Угол захвата 2 (3 определяет ширину полосы на местности. Переход от одной строки к другой (построчная развертка) происходит в результате поступательного движения летательного аппарата. Для исключения разрывов между строками скорость сканирования согласуется с высотой и скоростью полета. В качестве сканирующих устройств *4* используют вращающиеся оптические элементы: плоские зеркала, зеркальные призмы, пирамиды и т. п.

В сканирующих системах применяют различные типы приемников электромагнитного излучения: тепловые (теплоэлектрические) и фотонные (фотоэлектрические). Тепловые системы работают на основе преобразования тепловой

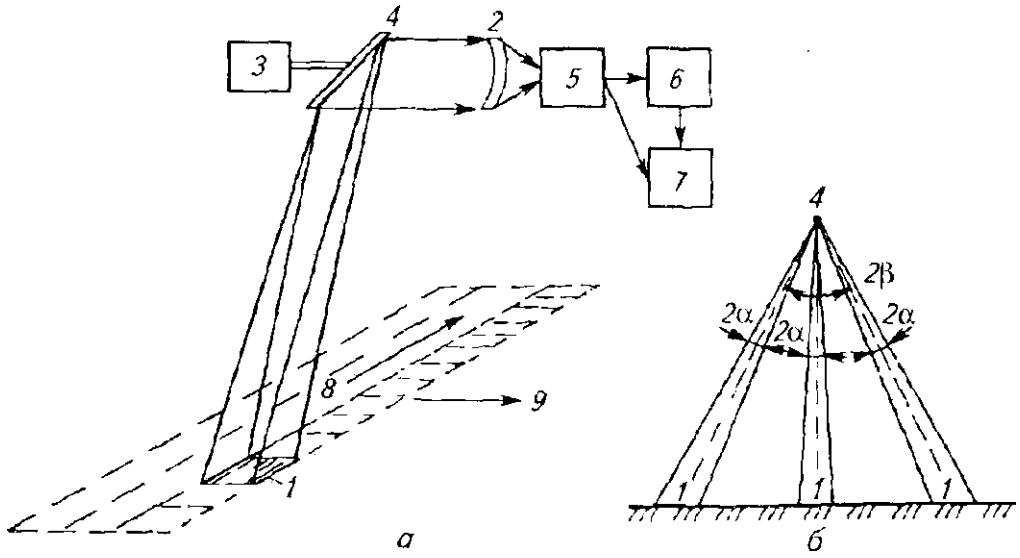


Рис. 2. Схема сканирования местности:

1 — площадка мгновенного обзора, элемент местности; 2 — объектив; 3 — механизм вращения зеркала; 4—сканирующее зеркало; 5 — приемник излучения; 6 — устройство магнитной записи; 7— передающее устройство; *8* — направление сканирования: 9 — направление полета

энергии в электрический сигнал, в фотонных системах уровень сигнала определяется количеством поглощенных фотонов.

Наибольшее применение получили сканеры, приемниками в которых служат линейки ПЗС. Различные типы сенсоров имеют различную спектральную чувствительность и охватывают спектральный интервал от видимой зоны до дальней инфракрасной зоны (0,4...16 мкм). Выбор приемника излучения и его спектральной чувствительности зависит от спектрального интервала съемки.

Сканирование можно проводить различными методами по разнообразным траекториям. Чаще приметают оптико-механическое сканирование по одному или двум взаимно перпендикулярным направлениям. В первом случае от одной строки изображения к другой переходят за счет перемещения летательного аппарата. Регистрация лучистой энергии происходит интегрально, т. е. воспринимается суммарный поток излучения во всем используемом спектральном интервале.

В сканерах устанавливают несколько сенсоров, позволяющих получать изображение одновременно в различных спектральных каналах. Непосредственно поступившее в приемник электромагнитное излучение измеряют, сравнивая возникший аналоговый видеосигнал от объекта с эталонным видеосигналом,

создаваемым эталонным (искусственным или естественным) источником излучения. Результирующему сигналу присваивают цифровой код, пропорциональный данному сигналу. Кодированные видеосигналы составляют цифровое изображение.

Результаты съемки передаются на пункт приема по радиоканалу. Поступившие кодированные сигналы записываются на магнитный носитель. Далее может быть выполнено преобразование кодированных сигналов и получение аналогового изображения, подобного фотографическому. Результаты съемок удобнее передавать пользователю на магнитных носителях, например на СД-дисках, с последующей визуализацией на местах обработки снимков.

Тепловые сканирующие системы, относящиеся к пассивным получили широкое развитие и применение. Данные системы работают в инфракрасной и тепловой зонах электромагнитного излучения. При дистанционном зондировании используют излучение ближней И К-зоны (А. = 0,76. ..3,0 мкм), средней ИК-зоны (А = 3,5. .5,6 мкм) и дальней ИК-зоны *(X* = 8,0... 14,0 мкм). Для этого используют многозональные радиометры, радиометрические комплексы, тепловизионные системы и т. п. В зависимости от вида получаемой информации и возможностей используемой аппаратуры съемку можно проводить в одном или нескольких спектральных интервалах одновременно.

Тепловая съемка представляет собой измерение двумерного поля излучения путем 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». Преобразованные (визуализированные) результаты измерений температур имеют вид, аналогичный фотографическому изображению местности. Точность регистрации температуры различными системами составляет 0,1 ...0,01°. Съемку можно выполнять как в дневное, так и в ночное время. Разрешение на местности достигает при малых высотах съемки Н = 200...300 м 0,01...0,12 м.

Совершенствование ИК-приемников, оптических систем, методов термометрии позволяет получать ИК-изображения, сопоставимые по своим параметрам с фотографическими. Для стереоскопического рассматривания снимки получают с перекрытиями (часть местности, изображенной на предыдущем снимке, фиксируется на последующем). Регистрация трех координат точек изображения позволяет визуализировать на мониторе компьютера трехмерное изображение.

Изображения, получаемые с помощью тепловых съемочных систем, используют в целях картографирования подземных коммуникаций, выявления техногенных нарушений сооружений (нефте- и газопроводов, теплосетей, здании и т. п.) и изучения негативных экологических процессов в природной среде (выявление загрязнения почв и водных объектов нефтепродуктами, засоления почв, зон подтопления и т. п.).

Оптико-электронные съемочные системы Использование в качестве приемников излучения ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы расширяет класс съемочных систем, имеющих на выходе цифровое изображение. При использовании компьютерных технологий фотограмметрической обработки снимков подобные съемочные системы становятся перспективными, так как не требуют дополнительного преобразования снимка в цифровое изображение.

Принцип работы прибора с зарядной связью (ПЗС) заключается в следующем. Светочувствительный слой представляет собой сетку кремниевых диодов, расположенную за оптической системой. Каждый кремниевый диод соединен с

ячейкой хранения заряда. Когда световой поток в виде оптического изображения поступает на диод, некоторое количество электрического заряда генерируется пропорционально падающему потоку. Заряд переносится в ячейку хранения заряда (ячейку памяти). Из ячеек памяти информация последовательно считьшается и преобразуется в цифровой код (цифровое изображение). Линейное разрешение цифровых съемочных систем зависит от размера элементов, составляющих ПЗС-матрицу. Их число в современных цифровых съемочных системах достигает 80 млн элементов и более, что обеспечивает разрешающую способность, близкую к фотографической. Использование ПЗС-матриц в качестве сенсора при создании формата снимка 18 х 18 см, 23 х23 см ограничено технологической возможностью изготовления матриц большого размера. Обычно сенсор цифровых кадровых аэрофотокамер состоит из 4, 9 или более ПЗС-матриц. Каждая матрица служит для фиксирования изображения части общего снимка. Изображение каждой ПЗС-матрицы перекрывается с соседними. С помощью программных средств, используя перекрывающиеся части изображения, формируется цифровой снимок. Например, черно-белый сенсор аэрокамеры ULTRA CAM D фирмы Vexcel состоит из 9 матриц, имеет размер изображения в пикселях (точках) 11 500 х7500, при этом размер пикселя равен 9 мкм: разрешение на местности при высоте съемки 500 м (300 м) соответственно 5 см и Зсм; фокусное расстояние сменных объективов 75, 100, 125 мм; производительность 1 снимок в секунду; объем записанной информации более 1,5 терабайтов при числе снимков 2775; съемку можно проводить в 4 спектральных каналах — R, G, B (красный, зеленый, голубой) и ближнем инфракрасном. Аэрокамера DMC фирмы ZI имеет сенсор, состоящий из 4 матриц с общим количеством пикселей 13 500х8000; фокусное расстояние 40... 120 мм.

Из зарубежных систем наиболее известна французская система SPOT с разрешением в черно-белом варианте (панхроматический спектральный интервал) Юм. Американской фирмой POSJTIV SISTEMS разработан цифровой 4-канальный сканер ADAR S1STEM 5500 для легкого самолета. Спектральные интервалы изменяются с помощью набора сменных светофильтров. Разрешение на местности 0,5 м (3,0 м) при высоте полета Н =1100 м (6600 м) и захвате на местности площади 750 х 500 м (4500 х х 3000 м).

Фирмой LH Systems создана самолетная цифровая система ADS-40, в основу которой положена схема сканера с тремя парами линеек ПЗС, расположенными в фокальной плоскости объектива. Пары линеек смещены относительно друг друга на половину элемента. Число элементов в каждой одинарной линейке равно 12 000 — в сдвоенной линейке получается разрешающая способность, как при использовании линейки, состоящей из 24 000 элементов. Поэтому использование сдвоенной линейки со смешением обеспечивает увеличение разрешающей способности в два раза. Парные ПЗС-линейки расположены параллельно таким образом, что съемка в видимой зоне спектра проводится первой парой линеек в направлении «вперед», второй — отвесно, а третьей — в направлении «назад». Кроме сдвоенных линеек, работающих интегрально в видимой зоне, в фокальной плоскости располагаются четыре одинарных линейки для проведения многозональной съемки в узких зонах спектра: *К* = 430...490 нм, *Х* = 535...585, А = 610... 660 и А = 835...885 нм.

Разрешение на местности в направлении полета составляет около 25 см. Время считывания информации с линеек равьо 1,2 м/с. Поэтому для исключения разрывов и наложений строк на изображении необходимо согласование скорости полета носителя и высоты съемки. Разрешающая способность ADS-40 сопоставима с

топографическими аэрофотоаппаратами. Изображения, полученные АДС-40, можно использовать для целей крупномасштабного картографирования.

Геометрические свойства сканерных изображений отличаются от снимков, полученных топографическими аэрофотоаппаратами. Каждая из строк представляет собой центральную проекцию узкой полосы земной поверхности и формируется из отдельных элементов изображения (пикселей), соответствующих определенным площадкам на местности, при различных пространственных положениях (линейных и угловых) летательного аппарата. Геометрические особенности изображений, полученных цифровыми съемочными системами, накладывают определенные требования к математическому аппарату и специальному программному обеспечению, позволяющему учесть их при дальнейшей фотограмметрической обработке.

Лазерные съемочные системы относятся к активным съемочным системам, работающим в оптическом диапазоне. В основе лазерной съемки заложен принцип работы светодальномера без отражателя—лазерная локация. Отражателем *является* поверхность снимаемого объекта. В качестве облучателя используют полупроводниковый лазер, генерирующий излучение в ближней ИК-зоне в импульсном режиме. С помощью лазера осуществляют направленное облучение поверхности. Сигнал, отраженный 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. 3).

Положение локатора в геодезической системе координат (X, Y, Z) определяется бортовым GPS-приемником. Углы наклона и разворота зондирующего луча относительно осей геодезической системы координат определяют с помощью инерциальной аппаратуры. Это позволяет получить после

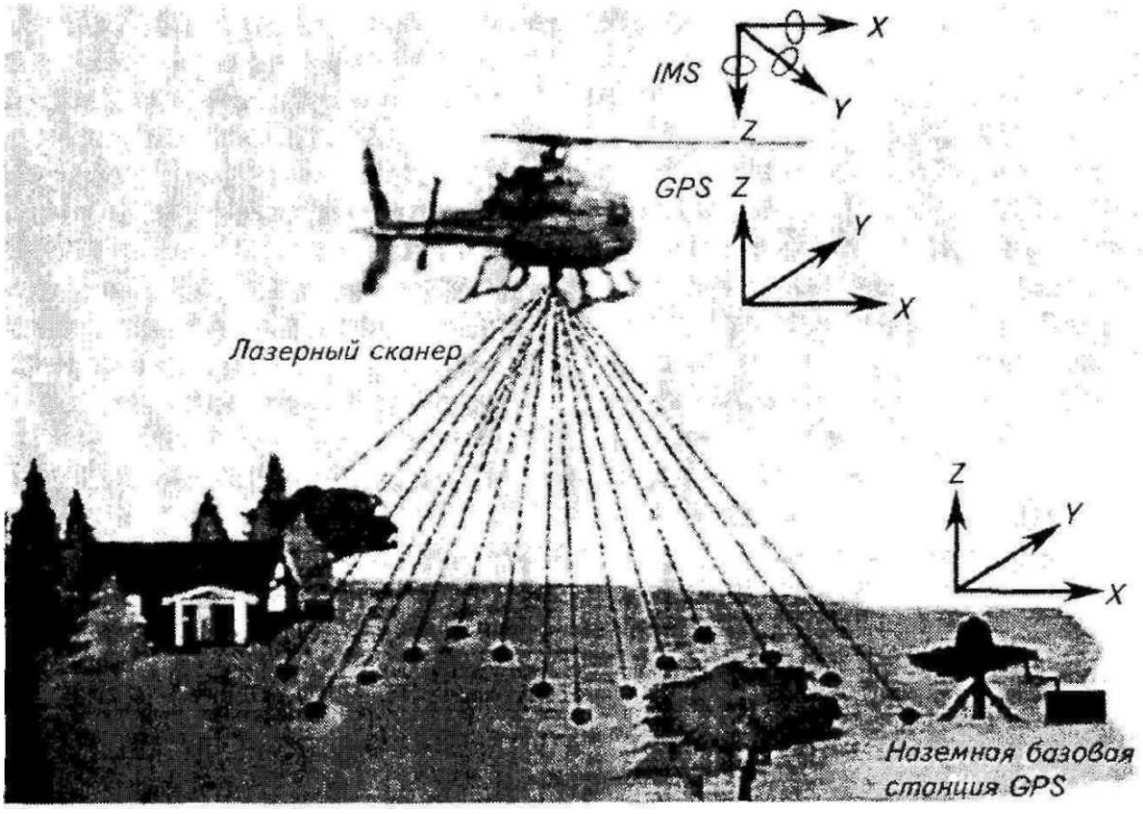


Рис. **3.** Схема лазерной съемки

обработки результатов измерений геодезические координаты элемента поверхности, вызвавшего отражение зондирующего луча. Точность пространственных координат обратно пропорциональна высоте съемки. Результатом съемки является *трехмерное цифровое* изображение.

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

Изображения лазерным сканером получают в два этапа. На первом регистрируют результаты измерений множества элементарных площадок (точек) — получают так называемое «облако точек», каждая из которых имеет координаты *X*, У, Z. Модель лазерного сканера ALMT-3100 имеет рабочую частоту зондирующих импульсов 100 кГц и обеспечивает плотность сканирования земной поверхности до 10 точек на 1 $м^2$. На втором этапе осуществляют компьютерную обработку результатов измерений и визуализацию изображения. 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. Результаты измерений обрабатывают на борту летательного аппарата.

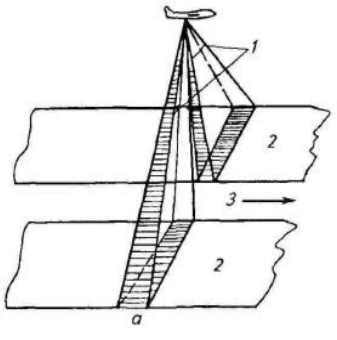
Лазерные съемочные системы применяют для построения профилей рельефа на территориях, закрытых лесами, и создания цифровой модели рельефа местности. Их применение эффективно при обследовании линий электропередач. При съемке городов и поселений получаемое трехмерное изображение позволяет успешнее проводить работы по организации территорий. Или, например, оптимизировать размещение приемопередатчиков мо-

Сильной телефонной связи для достижения уверенного приема сигналов.

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

Радиофизические съемочные системы. Создание радиофизических съемочных систем основано на использовании радиоволн в качестве носителя информации об объектах земной поверхности. Их разделяют на два класса: использующие метод активной радиолокации и регистрирующие собственное излучение объектов в радиодиапазоне.

Из систем, относящихся к первому классу, наибольшее применение получили *радиолокационные станции бокового обзора* (РЛС БО). В основу их работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определенной длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение в виде плоского луча направляется на земную поверхность (рис. 4, *а).*



Р ис. 4

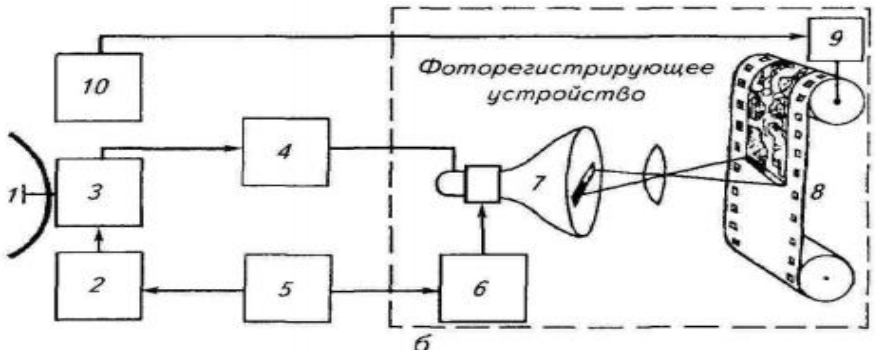


Схема радиолокационной съемки: в – принцип съемки с помощью РЛСБО; 1 – направление облучения; 2 – полоса обзора; 3 – направление полета; б – структурная схема РЛСБО; 1 – антенна; 2 – генератор излучения; 3 – антенный переключатель; 4- приемник; 5 – синхронизатор; 6 – блок развертки; 7 – ЭЛТ; 8 – фотопленка; 9 – устройство протяжки пленки; 10 – датчик скорости.

Длины радиоволн, используемые при съемке, находятся в диапазоне от 1 см до 1 м 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. Отраженный модулированный сигнал воспринимается приемной антенной. Принятые сигналы после усиления поступают на экран, где происходит построчная визуализация результатов радиолокации. Полученное на экране ЭЛТ-изображение фиксируется с помощью регистрирующего устройства на движущуюся фотопленку (рис. 5.4, *б).* Яркость изображения объекта зависит от энергии возвратившегося сигнал

Прямолинейность распространения радиоволн, их чувствительность к изменению рельефа при отражении создают определенную специфику радиолокационного изображения. Она выражается в значительной изменчивости яркости изображений и сложной геометрии снимка. Первичную обработку результатов съемки выполняют на борту летательного аппарата или на земле. После геометрической коррекции снимка геометрические искажения *уменьшаются.* Результат съемки - непрерывная полоса радиолокационного изображения. Аэросъемку выполняют со стандартных высот, например. *Н*= 3,5; 5; 6,5; 10,5 км, при этом ширина полосы обзора достигает 15 и 37,5 км. Масштаб изображения в продольном и поперечном направлении неодинаков. Разрешение РЛС БО уступает фотографическому. Характеристика некоторых типов РЛС приведена в таблице 5.2.

Продольное разрешение зависит от размеров антенны и частоты используемых радиоволн. Усовершенствованные радиолокационные станции позволяют получить разрешение по полю снимка при съемке из космоса до 5 м и менее.

Преимущество радиолокационных съемок — их независимость от погодных условий. Съемку можно проводить при сплошной облачности, в туман и даже дождь, поэтому РЛС-съемку называют «всепогодной». Она незаменима в районах, где погодные условия не позволяют использовать иные съемочные системы.

Современные технологии обработки снимков делают возможным использования РЛС-снимков для картографических целей. Радиолокационную съемку применяют для изучения водных поверхностей, определения границ береговых линий, овражной сети, зон подтопления, состояния посевов и т.д**.**

Сверхвысокочастотная радиометрия относится к пассивным методам исследования поверхности Земли. Ее выполняют с помощью СВЧ-радиометров, измеряющих собственное излучение объектов в спектральном интервале 0,15...30 см в нескольких спектральных каналах. Способы построения изображения и передачи информации на наземные пункты приема аналогичны применяемым при РЛС-съемке. Линейное разрешение СВЧ-радиометров в зависимости от типа прибора может быть от нескольких метров до десятков километров и более. Точность определения температур уступает тепловым съемочным системам. Достоинство СВЧ-съемки — формирование воспринимаемого радиометрами сигнала в глубине изучаемого объекта, т. е. получение информации о глубинных процессах.

В практике проведения аэро- и космических съемок часто применяют комплексные съемочные системы разных типов. Это позволяет получать разноплановую информацию об исследуемых объектах. Например, комплект съемочных средств может состоять:

1. из цифрового аэрофотоаппарата для получения цифровых цветных или спектрозональных изображений;

2. цифровой лазерной системы, применяемой для создания модели рельефа;

3.тепловизионного сканера, позволяющего получать изображение подземных коммуникаций.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Не предусмотрены планом

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Не предусмотрено планом