

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Государственный университет по землеустройству

Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.

Учебное пособие

по дисциплине

«Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли»

для слушателей курса «Землеустройство и кадастры»

Москва 2016

Оглавление

Введение	3
1. Общие сведения о планово-картографических материалах, получаемых по аэро и космическим снимкам	4
Часть 1. Аэро- и космические съёмки Земли	7
1.1. Основные понятия, термины и определения	7
1.2. Схема получения видеoinформации при аэро- и космической съёмке	8
1.3. Классификация съёмочных систем	9
1.4. Основные критерии съёмочных систем	10
1.5. Фотографические съёмочные системы	11
1.5.1. Общие сведения	11
1.5.2. Кадровые топографические аэрофотоаппараты	12
1.6. Нефотографические съёмочные системы	14
1.6.1. Сканирующие съёмочные системы	15
1.6.2. Тепловые съёмочные системы	16
1.6.3. Оптико-электронные съёмочные системы	17
1.6.4. Лазерные съёмочные системы	19
1.6.5. Радиофизические съёмочные системы	20
1.7. Производство и технические показатели аэрофотосъёмки	22
1.8. Понятие о космической съёмке Земли	25
1.8.1. Условия получения космических снимков	25
1.8.2. Космические съёмочные системы	27
Часть 2. Фотограмметрия	30
2.1. Геометрические свойства снимков, получаемых топографическим АФА	30
2.2. Основные средства, применяемые при обработке аэрофотоснимков	34
2.3. Системы координат, применяемые в фотограмметрии	38
2.4. Элементы ориентирования одиночного снимка, полученного топографическими АФА	39
2.5. Аналитическое трансформирование аэрофотоснимков	39
2.6. Определение элементов ориентирования аэрофотоснимка – обратная фотограмметрическая засечка	40
2.7. Цифровые модели рельефа	42
2.8. Понятие о процессах, обеспечивающих преобразование снимков в цифровые модели и планы	43
Часть 3. Дешифрирование материалов аэро- и космических съёмок	44
3.1. Классификация дешифрирования	44
3.2. Дешифрировочные признаки, используемые при визуальном дешифрировании	47
3.3. Материалы съёмки, используемые при визуальном дешифрировании	51
3.4. Дешифрирование снимков населённых пунктов для целей кадастра и инвентаризации объектов недвижимости	52
3.5. Досъёмка не изобразившихся на снимках объектов при дешифрировании	58
3.6. Стереоскопический эффект, используемый при визуальном дешифрировании	59
3.7. Общие вопросы технологии визуального дешифрирования	60
Часть 4. Применение материалов аэро- и космических съёмок	63
4.1. Основные задачи, решаемые по материалам аэро- и космических съёмок	63
4.2. Технологические схемы создания цифровых моделей местности	65
4.3. Применение аэро- и космических снимков при организации территорий	73
4.4. Применение данных космических съёмок при чрезвычайных ситуациях	74
4.5. Методика обновления планов и карт с использованием материалов новой аэрофотосъёмки	75
4.6. Использование аэрофотоснимков при составлении проектов рекультивации нарушенных земель	77
4.7. Использование материалов аэро- и космических съёмок при создании геоинформационных систем	79
4.8. Понятие о 3D изображении	81
4.9. Мониторинг недвижимости дистанционными методами	82
4.9.1. Характеристика подсистем мониторинга объектов недвижимости	82
4.9.2. Общие вопросы технологии мониторинга недвижимости дистанционными методами	84

Введение

Производственная деятельность специалистов, работающих в сфере землеустройства и кадастров, связана с формированием земельно-кадастровой информации о различных категориях земель, проведением государственного мониторинга земель. Земельно-кадастровая информация включает: изучение и наблюдение границ, площадей различных категорий земель - объектов сельскохозяйственного назначения, градостроительных объектов, промышленности, транспорта, водного и лесного фонда; определение их качественного состава; правового положения и государственной оценки земель. Кадастровая информация используется для проведения мероприятий по организации территорий, управления земельными ресурсами и охране окружающей среды.

Одним из методов получения информации о земле и объектах недвижимости является дистанционное зондирование.

Под термином «д и с т а н ц и о н н о е з о н д и р о в а н и е» понимается неконтактное изучение земной поверхности и объектов, расположенных на ней, воздушного пространства и земных недр. Изучение происходит посредством измерения (регистрации) с некоторого расстояния отражённого или собственного излучения, и последующего анализа получаемых данных. Измерение излучения и его регистрацию принято называть съёмкой. В зависимости от высоты установки приемника излучения до изучаемого объекта различают наземную, аэро- и космическую съёмки. Результаты измерений могут непосредственно характеризовать определённые свойства изучаемых объектов. Наибольшее применение получили результаты измерений, представленные в виде изображений, например, фотографические снимки поверхности Земли. В зависимости от типа съёмочных систем изображения могут быть получены путём регистрации излучения, различного по спектральному составу, в различных спектральных диапазонах. Это позволяет регистрировать информацию, отличающуюся от информации, получаемой при визуальных наблюдениях. Используя изображения, можно получить сведения о пространственном положении объектов и их площадях. Эта задача решается с помощью научного направления называемого «ф о т о г р а м м е т р и я». Качественный и количественный состав изучаемых объектов, их границы определяются в результате проведения «д е ш и ф р и р о в а н и я (интерпретации) и з о б р а ж е н и й. В дистанционном зондировании дешифрирование и фотограмметрия представляют собой средства и технологии извлечения смысловой и геометрической информации.

Началом дистанционного зондирования поверхности Земли можно считать фотографирование Парижа с воздушного шара, выполненное французом Ф.Надаром в 1858г.

В настоящее время дистанционное зондирование является основным методом изучения поверхности Земли. При обследовании больших территорий, труднодоступных районов и опасных для человека зон дистанционное

изучение с воздушных или космических летательных аппаратов является безальтернативным методом. Высокая объективность, надёжность результатов ДЗ, их документальность (снимок территории - это отображение реальной информации на определённый момент времени) позволяет считать дистанционное зондирование современным и перспективным методом сбора различной информации и проведения мониторинга земель.

Дистанционное зондирование на современном научно-техническом уровне основывается на цифровых технологиях. Результаты съёмки получают или в цифровом или аналоговом виде (фотографическое изображение). Для компьютерной обработки аналоговое изображение с помощью сканеров преобразуется в цифровой вид - получают растровое изображение. Далее в среде специализированного программного обеспечения производится фотограмметрическая и интерпретационная обработка снимков. Полученные данные используются для создания картографической продукции - цифровых топографических и тематических (например, кадастровых) планов и карт. Хранение картографической и иной информации в цифровом виде позволяет иметь оперативный доступ, возможность своевременного обновления и обмена этой информацией.

Применяемые в земельном кадастре и землеустройстве геоинформационные системы (ГИС) позволяют использовать материалы дистанционного зондирования комплексно: получение заданных материалов съёмки - обработка материалов - анализ результатов - оценка результатов - разработка оптимального инженерного решения. Выходная картографическая продукция представляется в виде моделей - цифровых моделей местности (ЦММ), цифровых моделей рельефа (ЦМР), цифровых моделей ситуации (ЦМС). Как самостоятельный вид выходной продукции создаются тематические слои (слой приусадебных земель, дорожной сети, слой почвенных разновидностей, гидрологический слой и т.п.). При решении конкретной инженерной задачи автоматически, по заданию оператора, выбираются необходимые информационные слои, обеспечивающие решение данной задачи

1. Общие сведения о планово-картографических материалах, получаемых по аэро и космическим снимкам

Использование новейших типов съёмочных систем, переход к компьютерным технологиям и информационным системам позволяют получать и хранить полученную информацию о местности в виде цифровых моделей. При необходимости цифровые модели могут быть представлены в визуализированном виде (на экране монитора или в графическом виде на бумаге). Графические планы и карты стали вторичны по отношению к цифровым моделям местности.

Что же такое модель? И как частный случай - цифровая модель?

Моделью принято называть результат описания (моделирования) какого-либо объекта, процесса или явления. Модель позволяет заменить изучаемый объект или явление его упрощенной формой без потери необходимой

информации о нём. Модель не обязана быть абсолютно тождественной самому прообразу, но должна обладать достаточностью. Под достаточностью модели понимают такое её приближение к прообразу, при котором погрешности модели не превышают допустимые погрешности измерения параметров прообраза.

Процесс создания и изучения моделей – моделирования – одна из основных категорий теории познания: на идее моделирования по существу базируется любой метод научного исследования как теоретический, так и экспериментальный.

Моделирование может быть семантическим (словесным), аналоговым и математическим.

В фотограмметрии наиболее широкое распространение получило математическое моделирование, которое описывает изучаемые объекты или явления в виде

- формул (аналитические модели);
- геометрических образов (геометрические модели);
- массивов чисел (цифровые модели).

Ц и ф р о в а я м о д е л ь м е с т н о с т и (ЦММ) представляет собой многомерную цифровую запись информации о местности на магнитном носителе. В цифровых информационных потоках информация хранится поэлементно. Каждый элемент ЦММ имеет n численных характеристик, три из которых – пространственные координаты точки местности, остальные – закодированные числами семантические характеристики этой точки.

Цифровую модель местности, содержащую информацию о пространственном положении объектов местности, а также семантическую информацию об этих объектах, можно представить как совокупность цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели ситуации (ЦМС).

Под ЦМР понимается массив чисел, являющихся пространственными координатами точек местности. ЦМС также представляет собой массив чисел, каждым элементом которого являются плановые координаты поворотных точек границ объектов и закодированная числами семантическая информация об этих объектах. Содержание контуров определяется тематикой модели ситуации – это могут быть топографические элементы, сельскохозяйственные угодья, лесотаксационные единицы, почвенные разности и т.п.

Цифровые модели местности являются базой для создания широкого спектра картографической продукции, используемой землеустроительными и кадастровыми службами. Это цифровые (электронные) карты, фотопланы, контурные фотопланы, топографические фотопланы, ортофотопланы, фотокарты, топографические планы, 3D-изображения.

Ц и ф р о в а я (э л е к т р о н н а я) к а р т а (ЦК) – это объединение цифровой модели рельефа и нескольких цифровых моделей ситуации. Каждая цифровая модель ситуации (ЦМС) представляет собой так называемый слой ЦК. Все слои ЦК связаны между собой посредством ЦМР.

Как правило, в цифровых картах используются географические координаты, поэтому цифровые карты не имеют масштаба. При визуализации

цифровая карта может быть представлена в любом масштабе, но не крупнее того, точность которого соответствует точности исходных данных для создания ЦК.

Цифровые карты содержат значительно больший объем информации, нежели традиционные графические карты, благодаря послойному ее хранению.

Кроме того, цифровые карты физически не устаревают, не ветшают. Поддержание информации о местности на современном уровне осуществляется ведением непрерывного мониторинга и картографического дежурства.

Ф о т о п л а н - фотографическое одномасштабное изображение местности в заданном, обычно стандартном масштабе, на которое нанесена координатная сетка. Как правило, фотопланы изготавливают в рамках трапеций государственной или условной разграфки или на территорию отдельных землепользований.

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

На топографических фотопланах условными знаками показана ситуация и нанесены горизонтали.

После удаления фотоизображения контурные и топографические фотопланы превращаются соответственно в контурные и топографические планы.

Иногда, например, при проектировании противоэрозионных мероприятий, целесообразно сохранить фотоизображение, несущее максимум информации об эрозионных процессах. В таких случаях на топографических фотопланах количество условных знаков уменьшается до необходимого минимума. В результате получается продукция, называемая ф о т о к а р т о й.

О р т о ф о т о п л а н – фотографическое изображение местности в ортогональной проекции. Первоначально по экономическим соображениям ортофотопланы изготавливались преимущественно на горные территории. В настоящее время ортофотопланы получают на различные районы местности с любыми превышениями и формами рельефа.

3 D - и з о б р а ж е н и е – это изображение трёхмерных объектов на плоскости. Эта новая форма представления пространственной информации в настоящее время находит широкое применение в различных сферах научной и производственной деятельности.

Часть 1. Аэро- и космические съёмки Земли

1.1. Основные понятия, термины и определения

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.

Под съёмочной системой понимают технические средства, с помощью которых выполняется регистрация электромагнитного излучения.

В зависимости от места установки съёмочной системы измерение и регистрация излучения производится в наземных условиях, с воздушного (аэро-) или космического летательного аппарата (носителя). При получении информации о земной поверхности большой протяжённости аэро- и космические методы являются наиболее эффективными и оперативными. Для изучения локальных явлений или относительно небольших по размерам объектов, например, определении объемов земляных работ, деформации зданий и построек, мониторинге ледников, оползней и др., выполняются наземные съёмки с помощью фототеодолитов, цифровых съёмочных устройств или лазерных сканеров.

В зависимости от типа съёмочной аппаратуры информация может быть представлена в различном виде. Например, в виде двумерной аналоговой записи на фотографическом носителе (фотоснимки) или поэлементной цифровой записи на магнитном носителе. Некоторые съёмочные системы позволяют получать трёхмерное изображение, элемент которого имеет все три пространственные координаты, например, лазерные системы. С летательных аппаратов могут выполняться измерения электромагнитного излучения над объектом в дискретных точках, при этом определяются его различные характеристики, например, при исследованиях загрязнений территорий измеряется количество и распределение определённых химических соединений, радионуклидов, тяжёлых металлов и др.

Результаты регистрации электромагнитного излучения, представленные в виде изображения изучаемого объекта (участка земной поверхности) в аналоговой или цифровой форме записи называют в и д е о и н ф о р м а ц и е й. Процедура преобразования результатов аналоговой или цифровой записи сигналов в видимое изображение называется в и з у а л и з а ц и е й.

Аэро- и космические съёмки Земли разделяют на п а с с и в н ы е и а к т и в н ы е. При пассивной съёмке информацию получают двумя способами. Первый способ - путём регистрации отражённого от объекта солнечного светового потока. Второй способ предусматривает измерение радиационного потока, излучаемого самим объектом (собственное излучение). При активной

съёмке поверхность исследуемого объекта облучается с борта аэро - или космического летательного аппарата с помощью искусственного облучателя (лазера – оптического генератора, радиогенератора), а регистрация отражённого излучения производится соответствующими бортовыми приёмными устройствами.

Аэро - и космические съёмки представляют собой сложный комплекс инженерных, технических и организационных мероприятий, в состав которых входят работы по наземному обеспечению получения и последующей предварительной обработки изображений (снимков).

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.

Материалы аэро- и космических съёмок имеют ряд преимуществ, по сравнению с топографической съёмкой, благодаря которым они применяются для решения многочисленных задач изучения поверхности Земли.. К таким преимуществами можно отнести следующее:

оперативность получения метрической и смысловой информации об изучаемой территории;

объективность и документальность этой информации, так как при АКС выполняется регистрация фактического состояния объектов на земной поверхности;

экономическая эффективность получения информации по материалам аэро - и космических съёмок;

возможность регулярных наблюдений (особенно по материалам космических съёмок) за изменениями, происходящими на изучаемой территории.

1.2. Схема получения видеоинформации при аэро- и космической съёмке

Рассмотрим общую схему получения первичной видеоинформации при проведении аэро- и космических съёмок земной поверхности.

При съёмке в отражённых лучах радиационный поток проходит путь от источника излучения до объекта через атмосферу, где происходят его энергетические изменения.

В результате взаимодействия с объектом часть радиационного потока отражается в пространство. Отражённый от объектов радиационный поток имеет иной спектральный состав, поляризацию и энергию. Характер изменений зависит от химических и физических свойств снимаемых объектов. Поэтому отражённый поток электромагнитного излучения несёт сведения о свойствах изучаемых объектов.

На пути от объекта до приёмника съёмочного устройства отражённое излучение объекта подвергается искажению под воздействием различных компонентов, входящих в состав атмосферы. При регистрации собственного излучения оно также подвергается воздействию атмосферы. Излучение радиодиапазона искажается помехами, вызванными в основном радиоманнитным полем Земли, ионосферными и тропосферными влияниями атмосферы на флуктуации прохождения радиосигнала.

В качестве приёмников излучения в съёмочных системах служат фотографические плёнки, фотоэлектрические и термоэлектрические элементы. Если съёмка выполняется с помощью радиосъёмочной аппаратуры, то для приёма радиоизлучения от объекта используют антенны.

Материалы съёмок поступают на пункты приёма. При выполнении фотографических съёмок здесь выполняется фотохимическая обработка фотоплёнки, изготавливаются контактные снимки. При съёмке нефотографическими съёмочными системами, передающими результаты измерений излучения по радиоканалу, на пунктах приёма производится запись передаваемой информации, её визуализация и размножение цифровых изображений. На пунктах приёма также оценивается изобразительное и фотограмметрическое качество материалов съёмок, выполняется фотометрическая и геометрическая коррекция нефотографической видеоинформации. После этого результаты дистанционного зондирования передаются потребителю на фотографических или магнитных носителях. В настоящее время на территории страны существует сеть региональных государственных и негосударственных пунктов приёма космической информации. Потребитель информации практически одновременно с проведением съёмки может получать интересующие сведения об объектах (так называемая съёмка в реальном или близ реальном времени).

Как видно, процедура получения видеоинформации достаточно сложная. На каждом этапе происходит искажение электромагнитного излучения, формирующего изображение. Знание особенностей этих искажений позволяет учитывать их при планировании, выполнении съёмок или при дальнейшей обработке материалов аэро- и космических съёмок.

1.3.Классификация съёмочных систем

Классифицировать съёмочные системы можно по различным критериям. Съёмочные системы разделяют на:

- воздушные и космические;
- пассивные и активные;
- работающие в оптическом или радиодиапазоне;
- однозональные и многозональные. При выполнении многозональных съёмок получают одновременно несколько изображений одной и той же территории в различных зонах спектра электромагнитного излучения.
- фотографические и нефотографические съёмочные системы. Фотографирование может выполняться на чёрно-белых или цветных фотомате-

риалах. Цвет изображения может быть натуральным или псевдоцветным (спектрозональное фотографирование).

- оперативные и неоперативные, в зависимости от способа и сроков доставки видеoinформации. Фотографические съёмочные системы являются неоперативными, так для доставки экспонированной плёнки требуется посадка летательного аппарата или спуск на Землю специального контейнера. Нефотографические системы относят к оперативным. С их помощью видеoinформация передаётся по радиоканалу в реальном времени съёмки, или записывается на магнитном носителе, с последующей передачей в эфир;

- использующие для построения изображения законы центральной проекции (кадровые - фотографические и телевизионные системы), строчно-кадровую развёртку (сканеры) и иные законы. В настоящее время при создании топографических крупномасштабных планов и карт фотограмметрическим методом используются в основном снимки, получаемые кадровыми аэрофотоаппаратами.

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

1.4. Основные критерии съёмочных систем

Основные критерии, применяемые для оценки информационных возможностей съёмочных систем, следующие: линейная разрешающая способность, спектральная разрешающая способность, фотограмметрическая точность, фотометрическая точность.

Л и н е й н о й р а з р е ш а ю щ е й с п о с о б н о с т ь ю с ь ё м о ч н о й с и с т е м ы называют её возможность отдельно воспроизводить на снимке мелкие детали снимаемого объекта. Разрешающая способность (R) определяется количеством отдельно воспроизводимых чёрных линий в 1мм изображения, при таком же белом интервале между ними. Для числа воспроизводимых линий R и ширины линии ρ_c справедлива следующая зависимость

$$\rho_c = 1/2R$$

Например, если съёмочная система имеет разрешающую способность $R = 50 \text{ мм}^{-1}$, то это означает, что в 1мм изображения может быть зафиксировано 100 чёрных и белых линий, и минимальный размер различимого элемента изображения будет равен 0,01мм. Величину ρ_c называют разрешением на снимке. Размер соответствующего элемента на поверхности снимаемого объекта называют разрешением съёмочной системы.

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). Например, 600 или 1200 dpi означает, что минимальный размер элемента изображения соответственно равен 0.04 и 0.02 мм.

Под термином **спектральная разрешающая способность** съёмочной системы понимают минимальную ширину спектральной зоны, в которой производится съёмка. Ширина спектральной зоны определяется возможностью используемого сенсора воспринимать интегральный сигнал (уровень излучения), создаваемый в данной зоне. Для фотографических систем она приблизительно равна 40-50нм, для нефотграфических систем - 10-20нм и менее.

Фотограмметрическая точность съёмочных систем – критерий геометрического искажения получаемого снимка. Степень геометрического искажения определяется позиционной точностью построения оптического изображения и последующей деформации данного оптического изображения приёмником излучения. Существуют топографические и нетопографические съёмочные системы. Под топографическими понимаются такие системы, геометрические искажения в которых минимальны и практически не влияют на точность фотограмметрических преобразований. К этому же классу можно отнести съёмочные системы, имеющие значительные искажения геометрии построения изображения, но с известным законом (моделью) деформации. Используя модель деформации, можно учесть геометрические искажения снимка при цифровой фотограмметрической обработке. Для нетопографических съёмочных систем главным является получение изображения с высокими изобразительными свойствами.

Под **фотометрической** точностью съёмочной системы понимают её способность пропорционально воспроизводить через уровень видеосигнала (в частности через оптическую плотность или цвет) соотношение яркостей элементов снимаемой местности. Причинами, снижающими фотометрическую точность, могут быть оптический тракт съёмочной системы, нестабильность работы её электронной цепи, непропорциональность регистрации сигналов сенсором и др. Съёмочные системы, обеспечивающие достаточную точность передачи пропорций яркостей снимаемых объектов по полю изображения, относят к **фотометрическим**. Рассмотренные критерии можно считать основными и общими при оценке и сравнении различных съёмочных систем. Для отдельных типов съёмочных систем могут быть определены специфические критерии.

1.5. Фотографические съёмочные системы

1.5.1. Общие сведения

Создание планов и карт крупных масштабов и, в частности, кадастровое картографирование поселений производится по эрофотоснимкам крупного масштаба. 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;
 - фотографические сенсоры (фотоматериалы) имеют достаточно стабильные характеристики и свойства, что обеспечивает получение снимков необходимого качества;
 - стоимость фотоснимков в настоящее время значительно ниже стоимости снимков, полученных нефотграфическим способом;
 - высокая разрешающая способность получаемых изображений.
- Недостатками фотографического способа можно считать:
- ограничение спектральной зоны съёмки в пределах 0,3 – 1,1мкм;
 - необходимость проведения фотохимической обработки;
 - неоперативность доставки получаемой информации;
 - зависимость от погодных условий;
 - необходимость проведения специальной процедуры ввода изображения
 - при дальнейшей компьютерной обработке снимков.

1.5.2.Кадровые топографические аэрофотоаппараты

Кадровые аэрофотокамеры подразделяются на топографические (фотограмметрические) и дешифровочные. Первые используются для создания плано- картографической продукции, вторые предназначены для получения семантической информации.

Отличительными признаками классической схемы построения изображения в топографических камерах являются: плоская поверхность, на которой строится изображение, неподвижный относительно неё объектив, главная оптическая ось занимает неизменное положение, перпендикулярно плоскости снимка, изображение строится в центральной проекции; обязательное условие- экспонирование площади снимка происходит одномоментно.

Получение снимка происходит под влиянием множества факторов: особенностей съёмочной системы, атмосферы, условий освещения объекта съёмки, условий проведения съёмки, фотохимической обработки и т.п.. Под их воздействием формируется **р е а л ь н ы й** снимок . Получение идеального снимка возможно при отсутствии искажающего влияния физических факторов. **И д е а л ь н ы й** снимок – это снимок, полученный по заданному закону геометрического построения изображения.

В качестве **с е н с о р а** в фотографических системах используются чёрно-белые и цветные плёнки, покрывающие спектральный интервал от 0,4 до 1,1мкм

Фотографическая съёмка на чёрно-белых аэрофотоплёнках может проводиться в одной (однозональная) или одновременно в нескольких спек-

тральных зонах (многозональная). Однозональная съёмка проводится в широкой зоне спектра (0,2-0,3мкм), ширина зоны при многозональной съёмке 0,04-0,05мкм. Для получения тематической информации достаточно 4- 6 зон. Их количество и спектральный интервал может варьироваться в зависимости от решаемой задачи. Конструктивно многозональные фотографические системы имеют различия. Спектральные зоны (каналы) выделяются выбором соответствующих светофильтров или комбинацией плёнки(её спектральной чувствительности) и светофильтром. Разрешающая способность узкозональных изображений значительно (в несколько раз) уступает широкозональным.

Цветные фотоматериалы позволяют получать изображения объектов в натуральных или псевдоцветах (спектрозональные снимки). Существенным недостатком цветных изображений является пониженная по сравнению с чёрно- белыми материалами разрешающая способность, что может ограничивать области их применения. Объясняется это наличием трёх элементарных светочувствительных слоёв на фотоматериале.

Достоинством цветной и спектрозональной фотографии является возможность получения большего объёма тематической (семантической) информации, чем на чёрно-белых снимках, за счёт лучшего восприятия цветовых контрастов изображений объектов и явлений.

При компьютерной обработке цветных снимков потребуется в три раза больше объёма памяти для хранения цифрового цветного изображения. Это объясняется тем, что при вводе в компьютер цветного снимка в цифровом виде представляется изображение каждого элементарного слоя. Стоимость цветных снимков выше стоимости снимков, полученных на чёрно-белых фотоматериалах. Для отечественных материалов повышающий коэффициент цветного аэрофотографирования равен 1.2.

Опыт использования различных фотографических материалов показывает: - применение цветных материалов для получения топографической информации преимуществ практически не даёт;

- при тематическом картографировании или создании тематических слоёв в ГИС (выделение почвенных разновидностей, динамики засоленности почв, дефляции, фитопатологии и т.п.) целесообразно использовать цветные и зональные изображений.

Аэрофотоаппараты можно классифицировать по количеству используемых каналов, а также по длине фокусного расстояния объектива, разрешающей способности, назначению и т.д.

В кадровых АФА имеется плоская поверхность, на которой строится изображение, неподвижный относительно неё объектив, главная оптическая ось занимает неизменное положение, перпендикулярно плоскости снимка, изображение строится в центральной проекции. Экспонирование площади снимка происходит одномоментно.

Топографические аэрофотоаппараты предназначены для получения снимков, которые используются при создании топографического планово-картографического материала, сельскохозяйственных и земельно-кадастровых планов, мониторинге территорий и т.п. Применяют отечествен-

ные аэрофотоаппараты типа АФА-ТЭ (топографический электрический, с выравниванием плёнки вакуумным способом) и АФА-ТЭС (топографический электрический с выравнивающим стеклом в плоскости прикладной рамки), а также зарубежные АФА.

Новейшие научно-технические достижения в электронике, оптике, фотографии, вычислительной техники позволили разработать и перейти к использованию нового поколения аэрофотосъёмочного оборудования. Отличительной особенностью современного оборудования является:

- наличие сменных объективов с различными фокусными расстояниями объективов, их быстрая и удобная смена во время съёмки;
- сложная оптическая система обеспечивает высокую (более 100 лин/мм) разрешающую способность изображения практически одинаковую по всему полю кадра;
- остаточная дисторсия 2-3мкм;
- наличие большого диапазона выдержек 1/100-1/1000сек. и компенсаторов сдвига изображения, что позволяет производить аэрофотосъёмку с малых высот и больших скоростях летательных аппаратов;
- оптико-электронные командные приборы, управляющие работой камеры в полуавтоматическом режиме;
- наличие стабилизирующих платформ, обеспечивающих получение снимков с углами наклона не более 10 минут; автоматическое регулирование экспозиций.

Управление работой аэрофотоаппарата и съёмочным процессом в целом выполняется с помощью специального бортового компьютера. Компьютер помещён в крепкий корпус, не содержит движущихся частей (в отличие от обычных твёрдых дисков), имеется электронная защита, что значительно снижает вероятность его выхода из строя в полёте. Программное обеспечение может обеспечить следующие функциональные возможности:

- графическое отображение на дисплее маршрута полёта и разворотов над фотографируемым участком местности;
- точное открытие затвора в точке пространства с заданными координатами и регистрацией их на краю снимка в системе WGS-84;
- отображение любой исходной информации, необходимой при дальнейшей фотограмметрической обработке: время суток, дата, точность определения координат центров фотографирования и т.п.

Одним из современного типов аэросъёмочного оборудования является разработанный фирмой Leica (Швейцария) топографический аэрофотоаппарат RC-30 с навигационной системой ASCOT.

1.6. Нефотографические съёмочные системы

К нефотографическим системам относят несколько классов съёмочных устройств, которые разработаны с целью расширения технических возможностей аэро- и космических методов изучения Земли. Принципиальным их

отличием от фотографических систем является применение иных сенсоров, регистрирующих широкий спектр излучения от земной поверхности, иных способов построения и передачи изображения. Съёмочные системы, установленные на космических летательных аппаратах позволяют получать информацию о процессах, проходящих на Земле в реальном или близреальном времени. Специфика космических полётов потребовала конструирование съёмочных систем специального вида: компактных, малого веса и энергопотребления, с возможностью передачи без искажения информации на пункт приёма непосредственно в процессе съёмки и т.д.

1.6.1. Сканирующие съёмочные системы

Сканирующие съёмочные системы (сканеры) отличаются от других, прежде всего принципом построения изображения. Изображение строится путём построчного сканирования (просматривания) местности. Сканирующее устройство воспринимает отраженный (излученный) электромагнитный поток от элементарных площадок снимаемого объекта, расположенных вдоль строки. Размер площадки зависит от высоты съёмки, мгновенного угла 2α изображения оптической системы сканера и положения относительно оси сканирования. Угол захвата 2β определяет ширину полосы на местности. Переход от одной строки к другой (построчная развёртка) происходит в результате поступательного движения летательного аппарата. Для исключения разрывов между строками скорость сканирования согласуется с высотой и скоростью полёта. В качестве сканирующих устройств используют вращающиеся оптические элементы: плоские зеркала, зеркальные призмы, пирамиды и т.п.

Сканирующее устройство воспринимает отраженный (излученный) электромагнитный поток от элементарных площадок снимаемого объекта, расположенных вдоль строки. Размер площадки зависит от высоты съёмки, мгновенного угла изображения оптической системы сканера и положения относительно оси сканирования. Угол захвата определяет ширину полосы на местности. Переход от одной строки к другой (построчная развёртка) происходит в результате поступательного движения летательного аппарата. Для исключения разрывов между строками скорость сканирования должна быть согласована с высотой и скоростью полёта.

Подобный способ построения изображения приводит к неодномоментности экспонирования строки; изменению масштаба изображения вдоль оси сканирования; изменению размер пикселя вдоль оси сканирования, что приводит или к перекрытиям элементов строки или к их разрыву и т.п. Перечисленные факторы отличает геометрию сканерных изображений от кадровых снимков, получаемых в центральной проекции. Как следствие, алгоритмы фотограмметрической обработки значительно сложнее.

В сканирующих системах применяют различные типы приемников электромагнитного излучения: тепловые (теплоэлектрические) и фотонные

(фотоэлектрические). Наибольшее применение получили сканеры, приёмниками в которых служат линейки ПЗС. Различные типы сенсоров имеют различную спектральную чувствительность и охватывают спектральный интервал от видимой зоны до дальней инфракрасной зоны(0,4-16мкм). Выбор приёмника излучения и его спектральной чувствительности определяется спектральным интервалом съёмки.

В сканерах устанавливается несколько сенсоров, позволяющих получать изображение одновременно в различных спектральных каналах. Наиболее типичным является следующий набор каналов: панхроматический (PAN), красный(R), голубой (B), зелёный(G) и инфракрасный. Непосредственное измерение поступившего в приёмник электромагнитного излучения производится путём сравнения возникшего аналогового видеосигнала от объекта с эталонным видеосигналом, создаваемого эталонным –искусственным или естественным –источником излучения. В результате получают именованные числа –кодированные видеосигналы, которые составляют цифровое изображение.

Результаты съёмки передаются на пункт приёма по радиоканалу. Поступившие кодированные сигналы записываются на магнитный носитель. Далее может быть выполнено преобразование кодированных сигналов и получение аналогового изображения подобного фотографическому. Результаты съёмок передают пользователю на магнитных носителях, с последующей визуализацией на местах обработки снимков.

1.6.2.Тепловые съёмочные системы

В настоящее время широкое развитие и применение получили т е п л о в ы е сканирующие системы, относящиеся к пассивным. Данные системы работают в инфракрасной и тепловых зонах электромагнитного излучения. При дистанционном зондировании используют излучение ближней ИК-зоны ($\lambda=0,76 - 3,0\text{мкм}$), средней ИК-зоны ($\lambda=3,5-5,6\text{мкм}$)и дальней ИК-зоны ($\lambda=8,0-14,0\text{мкм}$). Для этого используют многозональные радиометры, радиометрические комплексы, тепловизионные системы и т.п. В зависимости от вида получаемой информации, характера изучаемых объектов и возможностей используемой аппаратуры съёмка может производиться в одном или нескольких спектральных интервалах одновременно. Тепловая съёмка представляет собой измерение двумерного поля излучения, путём поэлементного сканирования объекта земной поверхности. Сканирование может производиться различными методами по разнообразным траекториям. Чаще применяется оптико-механическое сканирование по одному или двум взаимно-перпендикулярным направлениям. В первом случае переход от одной строки изображения к другой производится за счёт перемещения летательного аппарата. Регистрация лучистой энергии происходит интегрально, т.е. воспринимается суммарный поток излучения во всём используемом спектральном интервале. 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 находится в пределах от 0,1 до 0,01 градуса. Съёмка может выполняться как в дневное время, так и в ночное. Разрешение на местности достигает, при малых высотах съёмки $H = 200-300$ м, величины 0,01- 0,12 м. Совершенствование ИК-приёмников, оптических систем, методов термометрии позволяют 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 трёх координат точек изображения позволяет визуализировать на мониторе компьютера трёхмерное изображение.

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

1.6.3. Оптико-электронные съёмочные системы

Использование в качестве приёмников излучения ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы расширяет класс съёмочных систем, имеющих на выходе цифровое изображение. При использовании компьютерных технологий фотограмметрической обработки снимков подобные съёмочные системы становятся перспективными, так как не требуют дополнительного преобразования снимка в цифровое изображение. Принцип работы ПЗС, прибора с зарядной связью, заключается в следующем. Светочувствительный слой представляет собой сетку кремниевых диодов, расположенную за оптической системой. Каждый кремниевый диод соединён с ячейкой хранения заряда. Когда световой поток, в виде оптического изображения, поступает на диод, 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). Изображение строится по законам центральной проекции (кадровые системы) или путём сканирования местности. Линейное разрешение цифровых съёмочных систем зависит от размера элементов, составляющих ПЗС - матрицу. Их количество в современных цифровых съёмочных системах достигает 80 млн элементов и более, что обеспечивает разрешающую способность близкой к фотографической. Использование ПЗС - матриц в качестве сенсора при создании формата снимка 18 x18 см, 23 x23см ограничено технологической возможностью изготовления матриц

большого размера. Обычно сенсор цифровых кадровых аэрофотокамер состоит из 4-х, 9-ти 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, чёрно-белый сенсор аэрокамеры ULTRA CAM D фирмы Vexcel состоит из 9-ти матриц, имеет размер изображения в пикселях (точках) 11500 x 7500, при этом размер пикселя равен 9мкм; разрешение на местности при высоте съёмки 500м (300м) соответственно – 5см и 3см; фокусное расстояние сменных объективов 75,100,125мм, производительность – 1снимок в секунду; объём записанной информации более 1,5 терабайтов при количестве снимков – 2775; съёмка может производиться в 4-х спектральных каналах-R,G,B (красный, зелёный, голубой) и ближний инфракрасный. Аэрокамера DMC фирмы ZI имеет сенсор, состоящий из 4-х матриц с общим количеством пикселей 13500x8000; фокусное расстояние от 40 до 120мм.

Фирмой LH Systems создана самолётная цифровая система ADS40. В основу 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 12000 – в сдвоенной линейке получается разрешающая способность как при использовании линейки, состоящей из 24000 элементов. Поэтому использование сдвоенной линейки со смещением обеспечивает увеличение разрешающей способности в два раза. Парные ПЗС-линейки расположены параллельно таким образом, что съёмка в видимой зоне спектра производится первой парой линеек в направлении «вперёд», второй – отвесно, а третьей – в направлении «назад». Кроме сдвоенных линеек, работающих интегрально в видимой зоне, в фокальной плоскости располагаются четыре одинарные линейки для проведения многозональной съёмки в узких зонах спектра: $\lambda=430-490\text{нм}$, $\lambda=535-585\text{нм}$, $\lambda=610-660\text{нм}$ и $\lambda=835-885\text{нм}$.

Разрешение на местности в направлении полёта составляет около 25см. Время считывания информации с линеек равно 1,2мсек. Поэтому, для исключения разрывов и наложений строк на изображении необходимо согласование скорости полёта носителя и высоты съёмки. Разрешающая способность ADS40 сопоставима с топографическими аэрофотоаппаратами и может использоваться для целей крупномасштабного картографирования.

Геометрические свойства сканерных изображений, подобных ADS-40, отличаются от снимков, полученных топографическими АФА. 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 различных пространственных положениях (линейных и угловых) летательного аппарата. Геометрические особенности изображений, полученных цифровыми съёмочными системами, накладывают определённые требования к математическому аппарату и специальному программному

обеспечению, позволяющему учесть их при дальнейшей фотограмметрической обработке.

1.6.4. Лазерные съёмочные системы

Лазерные съёмочные системы относятся 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 используется полупроводниковый лазер, генерирующий излучение в ближней ИК-зоне в импульсном режиме. С помощью лазера производится направленное облучение поверхности. Сигнал, отражённый от элементарной площадки земной поверхности (объекта), принимается оптической системой. При каждом элементарном измерении в процессе сканирования регистрируется наклонная дальность до площадки отражения и направление относительно осей системы координат лазерного локатора.

Положение локатора в геодезической системе координат (X,Y,Z) определяется бортовым GPS- 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. Результатом съёмки является трёхмерное цифровое изображение. Ниже приводятся технические характеристики авиационного лазерного сканера ALMT-1020 фирмы Optech Inc, Канада:

- высота съёмки $H = 80 - 2000\text{ м}$;
- точность определения высоты точки местности: $15\text{ см}(H=1200\text{ м}) - 25\text{ см}(H=2000\text{ м})$;
- точность определения плановых координат X, Y точки местности – $1/2000$ от высоты полёта H;
- ширина полосы сканирования $-0,72H$;
- частота сканирования до 100 Гц ;
- частота импульсов лазера -50 Гц ;
- минимально различимый элемент местности (разрешение) с высоты $300\text{ м} - 25\text{ см}$.

В зависимости от типа лазерного локатора при съёмке могут фиксироваться до 5-ти 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.

Получение изображения лазерным сканером производится в два этапа. На первом выполняется регистрация результатов измерений множества эле-

ментарных площадок (точек) – получения так называемого «облака точек» – каждая из которых имеет координаты X,Y,Z. Модель лазерного сканера ALMT3100 имеет рабочую частоту зондирующих импульсов 100 КГц и обеспечивает плотность сканирования земной поверхности до 10 точек на 1 м². На втором осуществляется компьютерная обработка результатов измерений и визуализация 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. 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 электропередач. При съёмке городов и населённых пунктов получаемое трёхмерное изображение позволяет успешнее проводить работы по организации территорий. Или, например, 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.

1.6.5. Радиофизические съёмочные системы

Создание радиофизических съёмочных систем основано на использовании радиоволн в качестве носителя информации об объектах земной поверхности. Их разделяют на два класса: использующий 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 основе их работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определённой длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение, в виде плоского луча, направляется на земную поверхность.

Длины радиоволн, используемые при съёмке, находятся в диапазоне от 1 см до 1 метра. 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 воспринимается приёмной антенной.

Принятые сигналы после усиления поступают на экран, где происходит почасовая визуализация результатов радиолокации. Полученное на экране ЭЛТ изображение фиксируется с помощью регистрирующего устройства на движущуюся фотопленку. 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 изображений и сложной геометрии снимка. Первичная обработка результатов съёмки выполняется на борту летательного аппарата или на земле. Геометрические искажения уменьшаются в результате выполнения геометрической коррекции снимка. Результатом съёмки является непрерывная полоса радиолокационного изображения. Аэросъёмка выполняется со стандартных высот, например, $H = 3,5; 5; 6,5; 10,5$ км, при этом полоса обзора достигает ширины 15 и 37,5 км. Масштаб изображения неодинаков в продольном и поперечном направлении. Разрешение РЛС БО уступает фотографическому.

Продольное разрешение зависит от размеров антенны и частоты используемых радиоволн. Усовершенствованные радиолокационные станции позволяют получить разрешение по полю снимка при съёмке из космоса до 8 м и менее.

Преимуществом радиолокационных съёмок является их независимость от погодных условий. Съёмка может проводиться 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 использование РЛС-снимков для картографических целей. Кроме того, возможности интерферометрической обработки радиолокационных данных позволяют строить высокоточные цифровые модели рельефа и выявлять миллиметровые подвижки на земной поверхности.

Радиолокационная съёмка применяется для изучения водных поверхностей, определения границ береговых линий, овражной сети, зон подтопления, состояния посевов и т.п.

Рассмотренные типы съёмочных систем отличаются по своим характеристикам и возможностям. В практике проведения аэро- и космических съёмок часто применяется комплексное использование съёмочных систем разных типов. Это позволяет получать разноплановую информацию об исследуемых объектах. Например, комплект съёмочных средств может состоять из:

- цифрового аэрофотоаппарата, для получения цифровых цветных или спектральных изображений;
- цифровой лазерной системы, применяемой для создания модели рельефа;
- тепловизионного сканера, позволяющего получать изображение подземных коммуникаций.

1.7. Производство и технические показатели аэрофотосъёмки

В качестве основных носителей съёмочной аппаратуры применяют самолёты: АН-2, АН-30, ТУ-134СХ, ИЛ-20М. В некоторых случаях съёмку производят с вертолётов, мотодельтопланов, управляемых по радио авиамodelей и воздушных шаров. Съёмка должна выполняться в ясную солнечную погоду, при отсутствии облаков. Комплекс аэрофотосъёмочных работ состоит из нескольких этапов:

разработка технического задания (проекта), включающего технические параметры съёмки: границы участка съёмки, высоту и масштаб фотографирования, фокусное расстояние АФА, продольное и поперечное перекрытие снимков, тип аэрофотоплёнки, сроки съёмки и т.д.

Выбор параметров АФС определяется, прежде всего, видом конечной плано- картографической продукции (контурный или топографический план) соответствующего масштаба, а также применяемой технологией её создания.

Поскольку в цифровых технологиях фотограмметрической обработки снимков основным результатом является вычисление геодезических координат точек местности, то выбор параметров АФС должен основываться на обеспечении требуемой точности их получения. Необходимая точность обусловлена типом задач, которые будут решаться с помощью создаваемых плано- картографических материалов. Меньшая точность не позволит качественно решать поставленную задачу, избыточная ведёт к увеличению материальных, трудовых и временных задач.

В зависимости от выбранной технологии плано- картографическую продукцию можно изготовить на основе фотограмметрической обработки одиночного снимка либо стереопары.

При использовании современных технических средств производства аэрофотосъёмки, таких как навигационная система GPS и компьютерная система управления полётом и работой аэрофотоаппарата типа ASCOD, разработка 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: M=1:100 000 наносят заданную границу участка (объекта) аэрофотосъёмки. Затем с помощью дигитайзера определяют координаты поворотных точек границы участка съёмки, которые вводятся в бортовой компьютер. В компьютер также вводятся масштаб аэрофотосъёмки, величина продольного и поперечного перекрытия, фокусное расстояние и формат снимков. По этим данным вычисляются координаты проектируемых центров фотографирования в системе координат WGS-84.

При аэрофотографировании масштаб получаемых снимков, по экономическим соображениям, мельче масштаба создаваемого плана. По масштабу фотографирования съёмку разделяют на: крупномасштабную ($1:m > 1:15000$), среднемасштабную ($1:16000 < 1:m < 1:50000$), мелкомасштабную ($1/m < 1:51000$) и сверх мелкомасштабную ($1/m < 1:200000$).

Как было рассмотрено ранее, по углу отклонения оптической оси объектива АФА от вертикали фотосъёмку делят на плановую и перспективную.

П л а н о в о й называют аэрофотосъёмку, выполняемую при вертикальном положении оптической оси, при этом угол отклонения допускается до 3 градусов.

Использование гиросtabilизирующих аэрофотоустановок при фотографировании местности позволяет получить снимки с углом наклона 7-10 минут (предельное значение угла 40 минут). При создании планов и карт крупного масштаба применяются снимки, полученные в результате проведения плановой аэрофотосъёмки.

П р и п е р с п е к т и в н о й съёмке угол отклонения оптической оси от вертикали может достигать 45 градусов. Она выполняется для увеличения зоны захвата снимаемой местности при обзорных или рекогносцировочных работах.

При планово-перспективной съёмке используют несколько аэрофотоаппаратов одновременно - одним АФА производится плановая съёмка, другими перспективная. Это позволяет фотографировать полосу местности до горизонта.

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

П р и о д н о к а д р о в о й фотосъёмке получают одиночные снимки участков земной поверхности.

П р и м а р ш р у т н о й фотосъёмке 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 электропередач, каналов и т. п.) съёмка производится по криволинейным или ломаным маршрутам.

М н о г о м а р ш р у т н а я (площадная) фотосъёмка представляет собой получение снимков местности с нескольких параллельных маршрутов. Маршруты прокладываются чаще всего по направлениям восток-запад-восток или север-юг-север. Площадная аэрофотосъёмка применяется при картографировании или обследовании больших территорий.

Одномаршрутная и многомаршрутная аэрофотосъёмка, производимая с помощью кадровых АФА, выполняется 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.

Взаимное перекрытие снимков одного маршрута – это **п р о д о л ь н о е п е р е к р ы т и е** p_x . Оно рассчитывается по формуле

$$p_x = (l_x 100\%) / l,$$

где: l - длина стороны снимка по направлению маршрута, l_x – размер перекрывающихся частей снимка. Продольное перекрытие снимков рассчитывается или задаётся исходя из технологии фотограмметрической обработки снимков (или иных соображений). Величина его может быть 60,70,80,90%. Перекрытие между двумя снимками называется двойным. Зона перекрытия на трёх снимках – тройное перекрытие, и так далее. Для каждого стандартного значения продольного перекрытия определяются 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 .

П о п е р е ч н о е п е р е к р ы т и е p_y -это перекрытие снимков соседних маршрутов, которое обеспечивается расстоянием b_y между ними. Поперечное перекрытие 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 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 **р а б о ч е й п л о щ а д ь ю** снимка. Рабочая площадь снимка, ограничиваемая линиями, проходящими через середины двойных продольных и поперечных перекрытий называется **т е о р е т и ч е с к о й**.

О р г а н и з а ц и я з а к л ю ч е н и я д о г о в о р а на аэрофотосъёмку.

В настоящее время аэрофотосъёмочные работы выполняют как государственные предприятия (аэрофотосъёмочные отряды), так и различные фирмы, имеющие лицензии на производство аэрофотосъёмки. Заказчиком может быть любая организация, у которой есть разрешительные документы на работу с материалами аэрофотосъёмки.

Порядок заказа аэрофотосъёмки состоит из следующих основных этапов:

- организация - заказчик направляет письменное предложение фирме-исполнителю, в котором указывается местоположение участка снимаемой местности (на мелкомасштабной карте наносят границы объекта съёмки), его площадь, сроки съёмки, тип АФА и т.п.;

- если фирма-исполнитель имеет возможности выполнить указанный вид работ, то заказчиком составляется и согласуется с исполнителем техническое задание на выполнение аэрофотосъёмки. В задании отмечаются технические параметры съёмки: назначение съёмки, высота фотографирования, фокусное расстояние АФА, съёмочный масштаб, тип аэрофотоаппарата, тип аэрофотоплёнки и светофильтра, использование специальной аппаратуры, сопровождающей аэрофотосъёмку (радиовысотометров, приборов GPS или иных), тип летательного аппарата. Указываются условия проведения аэрофотосъёмки: примерные сроки, высота Солнца. Подтверждаются площади и местоположение участка;

- в соответствии с техническим заданием исполнителем определяется стоимость комплекса аэрофотосъёмочных работ, которая согласуется с заказчиком;

- составляется договор на выполнение аэрофотосъёмки между заказчиком и исполнителем.

После выполнения аэросъёмочных работ производится оценка качества материалов аэрофотосъёмки.

1.8. Понятие о космической съёмке Земли

1.8.1. Условия получения космических снимков

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 сложность траектории 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;

Рассмотрим условия получения космических снимков.

Космическая съёмка поверхности Земли, производится с пилотируемых космических аппаратов, орбитальных станций и беспилотных искусственных спутников Земли. Съёмка может выполняться космонавтами, в так называемом ручном режиме, или автоматически по заданной программе.

Движение КЛА происходит по сложной траектории, называемой орбитой. При съёмке поверхности Земли используются 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 перицентром (перигеем), а наиболее удаленная – апоцентром (апогеем).

П а р а б о л и ч е с к и е или г и п е р б о л и ч е с к и е 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.

Существенным недостатком съёмок с КЛА, находящихся на перечисленных орбитах, является изменение удаленности съёмочной системы от снимаемой поверхности. Пропорционально изменению высоты съёмки изменяется масштаб получаемых снимков.

Съёмка может выполняться со спутников Земли, находящихся на г е о с т а ц и о н а р н ы х 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 практически в любое время. Результаты съёмки могут быть использованы для мониторинга этой территории с различным временным интервалом.

Наиболее приемлемыми, с точки зрения фотограмметрических преобразований, являются к р у г о в ы е орбиты КЛА. Круговые орбиты представляют собой окружности с центром, совпадающим с центром Земли. 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 н а к л о н е н и е о р б и т ы . Если наклонение орбиты равно 90^0 , то её плоскость проходит через полюсы Земли. Такая орбита носит название полярной. При наклонении равном 0^0 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. П е р и о д и ч н о с т ь (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. Регулярная повторяемость съёмки позволяет применять получаемые материалы для обновления мелкомасштабных топографических и специальных карт, а также осуществлять мониторинг больших территорий.

От параметров полёта зависит время возвращения летательного аппарата в заданную точку. Это связано с тем, что при наклонении орбиты не равном 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. Время возврата КЛА в исходную (или

заданную) точку на поверхность Земли в зависимости от параметров полёта находится в интервале от 1 до 30 дней и более. 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 45 000 до 10 000 000.

Одним из главных факторов, влияющим на качество изображений, как уже отмечалось, является огромная скорость движения КЛА, приводящая к смазу изображения.

1.8.2. Космические съёмочные системы

На рубеже 20 века в нашей стране наряду с государственными программами запуска космических летательных аппаратов и выполнения космических съёмок появились коммерческие космические программы. Первый коммерческий спутник был запущен российской ракетой-носителем с космодрома на Дальнем Востоке в январе 1997 года. В настоящее время крупнейшие авиационные и космические компании участвуют в осуществлении собственных программ. Образовался рынок цифровых изображений. Потребитель, в соответствии с решаемой задачей, из публикаций или по Интернету, выбирает из предлагаемых каталогов или заказывает наиболее приемлемые для него материалы съёмок. В настоящее время на земных орбитах находятся несколько десятков космических летательных аппаратов с различными съёмочными системами на борту. Получаемая при этом разноплановая информация - изображения или результаты измерений определённых характеристик объектов на поверхности Земли или атмосферы – передаются на пункты приёма тех стран или коммерческих структур, которые осуществляют данную съёмку. Наземные комплексы приёма и первичной обработки космической информации находятся в различных городах страны.

Наиболее известные и используемые в мире данные, получают с зарубежных космических аппаратов NOAA, LANDSAT, SPOT, IRS, RADARSAT, EROS, и др. Съёмка с периодически запускаемых на орбиты спутников позволила создать архивы изображений на различные районы земной поверхности, что даёт возможность осуществлять мониторинг территорий и отдельных объектов и явлений.

Серия спутников LANDSAT США функционирует с начала семидесятых годов 20 века. Съёмка проводится с высоты орбиты 900 км. На спутниках используются многозональные съёмочные системы типа MSS с линейным разрешением на местности 55x80 м. В целях мониторинга кадастровой информации и создания картографической продукции масштабов 1:M=1:5000 – 1:10000 могут быть использованы космические съёмочные системы высокого

разрешения. Для крупномасштабного картографирования используются снимки с российских спутников типа ДК-1, с разрешением 1м. Космические изображения земной поверхностей, получаемые со спутников IKONOS и QUICK BIRD (США), имеют соответственно разрешение на местности 0,61м и 1 м. Точность определения координат точек по снимкам, полученным в панхроматической зоне (0,45-0,95 мкм) со спутника QUICK BIRD, составляет: с использованием опорных точек 0,3-0,4м., без опорных точек –2м. Корейский спутник COMPSAT передаёт изображения с разрешением 0,7м

Французская съёмочная система SPOT IMAGE, установленная на спутниках типа SPOT, имеет четыре спектральных канала(4-й канал соответствует 1,55-1,75мкм). Линейное разрешение при панхроматической съёмке равно 2-10м, а при многозональной –20м. Снимок захватывает участок на земной поверхности размером примерно 60х60км.

Индийские спутники последнего поколения (IRS-1C, IRS-1D) оснащены съёмочными системами, работающими в четырёх спектральных каналах. Панхроматические снимки получают с разрешением 5-6м, а зональные –23м и более.

Только за последние три года запущено 11 коммерчески доступных спутников ДЗЗ и, причем темпы явно нарастают: 2004 год – Formosat-2 (Тайвань); 2005 год – IRS P5 (Индия), Монитор-Э (Россия); 2006 год – Ресурс-ДК1 (Россия), Kompsat-2 (Южная Корея), EROS-B (Израиль), ALOS (Япония). В 2007 году уже осуществлен успешный запуск четырех аппаратов - Cartosat-2 (Индия), TerraSAR-X (Германия), CosmoSkyMed-1 (Италия), WorldView-1 (США), до конца 2007 г года планируется запуск КА ДЗЗ – RADARSAT-2 (Канада), GeoEye-1 (США), CosmoSkyMed-2 (Италия). Спутники и установленные на них сенсоры серьезно отличаются друг от друга своими технологическими особенностями, функциональными возможностями, целевой направленностью.

Спутник может работать в различных режимах съемки:

- режим наблюдения с прямой передачей информации в реальном масштабе времени на наземный пункт приема в зоне радиовидимости;
- режим наблюдения с записью информации в бортовое запоминающее устройство;
- режим передачи информации из бортового запоминающего устройства на наземный пункт приема;
- режим наблюдения с записью информации и передачей ранее записанной на борту информации.

Большим шагом в сторону еще более широкого применения космических снимков высокого разрешения в России должен стать аппарат нового поколения: WorldView-1, который был запущен в сентябре 2007 года. Спутник обладает высоким пространственным (около 50 см), радиометрическим (11 бит/пиксел) разрешением. Высокое качество снимков обеспечивается совершенной конструкцией телескопа и применением многошаговой ПЗС-матрицы с временной задержкой накопления от 8 до 64 крат, что позволяет

улучшить контрастность изображений и снимать в условиях низкой освещенности. Еще одно преимущество WorldView -1 - высокая точность координатной привязки изображений, которая достигается обеспечением высокой стабильности космической платформы и повышенной точностью навигационно-угловых определений. Координатная точность привязки изображений WorldView -1 составляет 3,0 – 7,0 м СКО без наземных контрольных точек, а также без учета рельефа и угла отклонения от надира. При использовании наземных контрольных точек точность составит уже 1 м. Планируемая координатная точность позволит без использования наземных контрольных точек создавать геопорталы, эквивалентные продуктам предыдущего поколения – картам и ГИС - масштаба 1:10 000 и крупнее.

Разработка компактных радиолокационных съёмочных систем с малым потреблением энергии позволила использовать их при космических съёмках. Радарные изображения, получаемые, например, с канадского спутника RADARSAT или европейского ERS имеют разрешение 25м. Современные методы радиолокации позволяют получать изображения с разрешением на местности до 5м и менее. Спутник TerraSAR-X несет радарную аппаратуру, позволяющую осуществлять всепогодную съёмку земной поверхности с пространственным разрешением до 1 метра. Изменяя ориентацию спутника в полёте на соседних орбитах, можно производить стереорадиолокационную съёмку. Существующие компьютерные программы позволяют выполнять фотограмметрическую обработку радарных снимков. При этом учитывается специфическая геометрия радиолокационных изображений, производится построение цифровых моделей рельефа как по стереопаре, так и с использованием методов радарной интерферометрии (определение геометрических параметров объектов на основе интерференции отражённых от них радиоволн).

В настоящее время разработаны и применяются для широкого пользования станции приёма и обработки изображений земной поверхности. Аппаратно-программные комплексы включают: персональные компьютеры, антенную систему, устройство сопряжения антенной системы с компьютером и программное обеспечение. С помощью параболической антенны, установленной на поворотном устройстве, производится приём передаваемых со спутника изображений. Программными средствами обеспечивается слежение за спутником, автоматический приём данных, их визуализация, просмотр и оценка. Визуализация изображения производится в чёрно-белом или цветном варианте, осуществляется синтезирование зональных снимков. Проводится географическая привязка всего снимка или его фрагмента, а также программными средствами рассчитываются географические координаты для каждого пикселя изображения. Выполняется фотограмметрическое преобразование изображений, составляются накладки, в том числе из снимков различного разрешения. Программные средства позволяют выполнить тематическую обработку изображений и представить результаты обработки в картографическом виде.

Часть 2. Фотограмметрия

2.1. Геометрические свойства снимков, получаемых топографическим АФА

Как уже отмечалось, построение изображения при аэрофотографировании происходит по закону центральной проекции. При этом, как правило, главный луч объектива имеет отклонение от отвесного положения на некоторый угол, называемый углом наклона снимка. Фотографируемая местность представляет собой поверхность с различными превышениями. В случае, когда угол наклона снимка равен нулю, а местность представляет собой горизонтальную плоскость (рис. 1), масштаб изображения одинаков в любой точке снимка и определяется по формуле: $1/m = f/H$

где: m - масштаб изображения; f - фокусное расстояние; H -высота фотографирования над средней плоскостью местности.

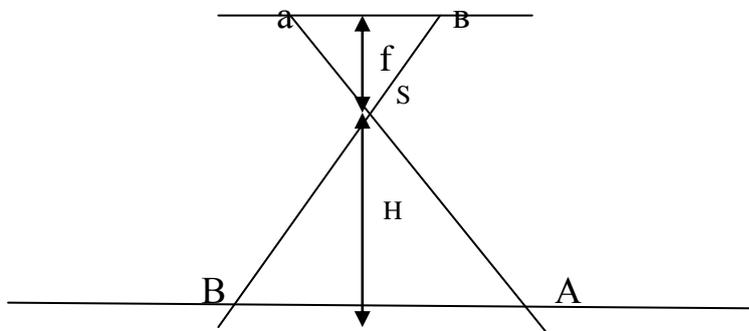


Рис.1

При реальной съёмке два фактора – угол наклона снимка и рельеф местности- проявляют влияние совместно, что приводит к изменению положения точек на снимке и, как следствие, изменению масштаба снимка в различных его частях. Рассмотрим влияние названных факторов отдельно.

Введём некоторые понятия центральной проекции.

Элементы центральной проекции применительно к аэрофотоснимку. Представим, что (рис. 2) через главный луч, расположенный в АФА перпендикулярно к плоскости снимка и равный фокусному расстоянию фотоаппарата f , проведена отвесная проектирующая плоскость называемая плоскостью главного вертикала. Данная плоскость пересечёт плоскость снимка по линии главной вертикали V_0i .

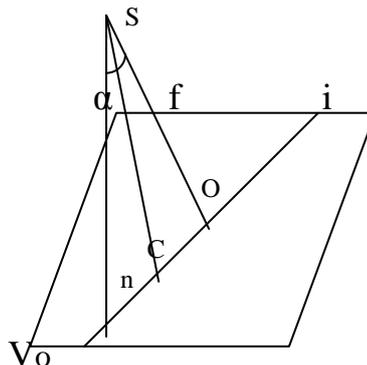


Рис. 2. Элементы центральной проекции

О- главная точка снимка- проекция центра фотографирования на плоскость снимка; n- точка надира – пересечение отвесной линии, проведённой из точки S, с плоскостью снимка; с – точка нулевых искажений- получена пересечением биссектрисы угла α с плоскостью снимка.

Названные три точки о,с,n расположены на главной вертикали. Они используются при геометрическом анализе снимка.

Влияние угла наклона снимка на геометрические свойства снимка равнинной местности. Представим, что из точки S получены два снимка: один горизонтальный $\alpha=0^\circ$ (при этом главный луч So имеет отвесное положение), второй наклонный $\alpha \neq 0^\circ$ (рис. 3).

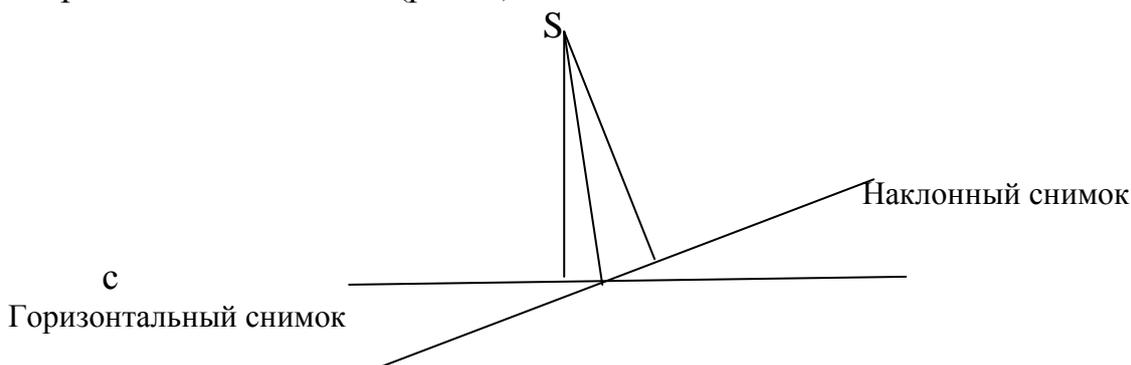


Рис. 3

Наклонный и горизонтальный снимки пересекутся по линии $h_c h_c$, проходящей через точку нулевых искажений «с» перпендикулярно линии главной вертикали (рис. 4)

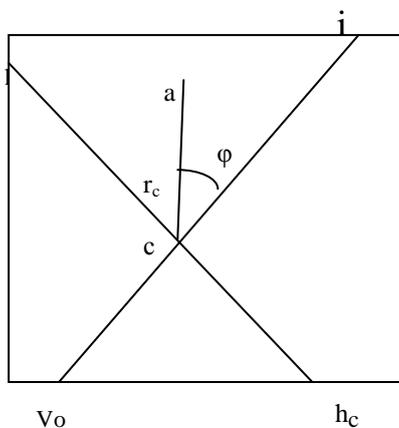


Рис. 4

В результате точки изображения изменят положение на наклонном снимке. Величина смещения δ_α зависит от положения точек на снимке, угла наклона α , фокусного расстояния f аэрофотоаппарата. Данная зависимость выражается формулой 2.1. (для углов наклона до 3°)

$$\delta_\alpha = - (r_c^2 \cos\phi \sin\alpha) / f \quad (2.1)$$

где: r_c – расстояние от точки нулевых искажений «с» до точки на изображении;
 ϕ – угол, отсчитываемый от направления $сi$ главной вертикали до направления на искомую точку.

Аргументы r_c , $\cos\phi$ определяют положение точки на снимке (полярные координаты).

Анализируя формулу смещения точки за угол наклона снимка можно сделать следующие выводы:

- смещение точки зависит от её положения относительно линии главной вертикали и удалённости от точки нулевых искажений – чем ближе к линии главной вертикали и чем дальше от точки «с», тем больше величина смещения;

- на линии нулевых искажений $h_c h_c$ смещения точек за влияние угла наклона снимка равны нулю (из формулы видно, что угол φ при положении точки на $h_c h_c$ равен 90° , $\cos\varphi = 0$, следовательно $\delta_a = 0$);

- направление смещения точки зависит от знака $\cos\varphi$: если точки находятся между линией $h_c h_c$ и точкой i точки смещаются по направлению к точке нулевых искажений «с»; если точки находятся между линией $h_c h_c$ и точкой V_o точки смещаются по направлению от точки нулевых искажений «с». Максимальное смещение при равных расстояниях r_c будет для точек расположенных на главной вертикали.

Смещение точек за влияние угла наклона приводит к тому, что длина линий между соответственными точками на наклонном и горизонтальном снимке будет неодинаковой. Это означает, что в различных частях наклонного снимка масштаб изображения неодинаков (рис.5).

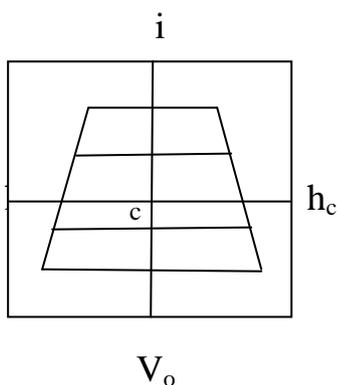


Рис. 5

На линии $h_c h_c$ масштаб(его называют главным) равен масштабу горизонтального снимка и определяется по формуле $1/m = f/H$.

В частях снимка, находящихся ближе к точки i , масштаб изображения мельче (знаменатель масштаба m численно больше).

В частях снимка, находящихся ближе к точки V_o , масштаб изображения крупнее (знаменатель масштаба m численно меньше).

Масштаб в какой-либо части снимка называют частным масштабом. Из нескольких частных масштабов, определяемых в различных частях снимка, вычисляют средний масштаб снимка $m_{ср}$.

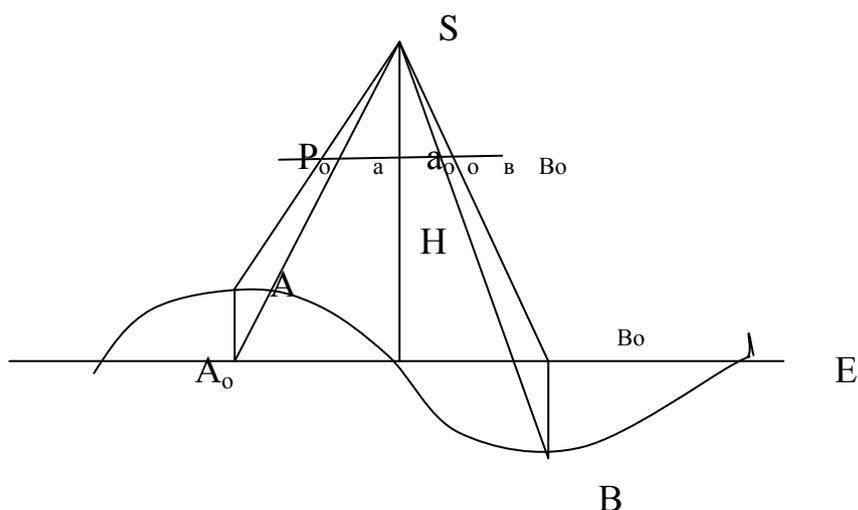
При определении по снимку длин линий можно использовать средний масштаб, если разность между средним и частными масштабами Δm не вызывает искажения конечного результата. Если разномасштабность наклонного более допустимой, следует применять частный масштаб для данной части

снимка. Например, если погрешность определения длины линии задаётся $\Delta L/L = 1/100$, то это означает, что $\Delta m/m_{cp}$ должно быть $\leq 1/100$.

Влияние рельефа местности на геометрические свойства горизонтального снимка.

Для анализа влияния данного фактора допустим, что снимаемая местность имеет положительные и отрицательные превышения относительно средней секущей плоскости. Угол наклона снимка $\alpha = 0^\circ$.

На рис.6 показан горизонтальный снимок P_0 неровнинной местности, высота аэросъёмки H над средней секущей плоскостью E . Вследствие того, что снимок горизонтальный точки o, c, n совпадают.



В
Рис.6

Из рис. видно, что точка местности A , расположенная выше плоскости E на величину превышения h_A изобразилась на снимке в точке a . Расстояние aa_0 есть смещение точки a на снимке, вызванное положительным превышением точки A местности. Аналогично расстояние bb_0 – смещение точки b на снимке, вызванное отрицательным превышением точки B местности. Смещение точек за рельеф происходит по направлению к точке надира «n» или от точки «n»: при положительных превышениях точек местности соответственные точки снимка смещаются от точки надира, что приводит к увеличению масштаба изображения. При отрицательных превышениях происходит обратное - точки аэроснимка смещаются к точке надира, что приводит к уменьшению масштаба.

Формула (2.2) показывает аналитическую зависимость величины смещения точки за рельеф от положения её на снимке, превышения h на местности, высоты съёмки H :

$$\delta_h = rh/H \quad (2.2)$$

где: r - расстояние от точки надира «n» до точки снимка.

Из формулы видно, что:

1. Смещение за рельеф δ_h равно нулю, если: точка местности не имеет превышения относительно средней секущей плоскости $h=0$, или совпадает с точкой «n», то есть $r=0$;

2. Чем больше превышение h и r тем больше смещение за рельеф;

3. Величина смещения за рельеф уменьшается с увеличением высоты фотографирования H . Поэтому для уменьшения влияния рельефа на смещение точек, вызывающего разномасштабность в пределах снимка, съёмку рельефной местности целесообразно проводить с большей высоты, увеличивая при этом фокусное расстояние АФА (для сохранения заданного масштаба съёмки).

Выполненный геометрический анализ двух основных факторов, влияющих на геометрию снимка, показывает, что при измерительных работах на снимках необходимо учитывать изменения масштабов в пределах площади снимка.

В процессе цифровой фотограмметрической обработки снимков в целях создания ортофотопланов, кадастровых планов и т.п., влияние угла наклона снимка и рельефа местности устраняются.

2.2. Основные средства, применяемые при обработке аэрофото-снимков

Аппаратные средства цифровой обработки снимков

Цифровая фотограмметрическая обработка снимков может производиться на персональных компьютерах (PC) с последними поколениями процессоров Intel; персональных рабочих станциях (PC Workstation – PC WS); RISK – UNIX рабочих станциях (UNIX WS). Выбор того или иного аппаратного средства зависит от вида и объёмов работ и используемого материала.

Профессиональная работа со снимками осуществляется на UNIX рабочих станциях, включающих, как правило, несколько мощных процессоров с большой ёмкостью памяти на жёстком диске и высокой тактовой частотой.

Персональные рабочие станции – это настольные ЭВМ, сравнимые по функциональности и производительности с UNIX рабочими станциями, а по стоимости – с обычными персональными компьютерами. PC WS появились в качестве новой категории аппаратных средств в 1996 году. Они заняли промежуточное положение между персональными компьютерами и UNIX рабочими станциями.

Основой аппаратных средств являются компьютеры, важнейшими характеристиками которых, с точки зрения потребителя, можно считать тактовую частоту процессора, ёмкость жёсткого диска и его быстродействие. Рост значений этих характеристик увеличивает стоимость компьютера. Поэтому при выборе аппаратного средства важно найти оптимальное соотношение между его стоимостью и требуемыми функциональными возможностями.

Программное обеспечение

Внедрение способов цифровой фотограмметрии и, особенно, её переход на использование персональных компьютеров позволили самим пользователям осуществлять фотограмметрическую обработку снимков. Теперь нет необходимости в дорогостоящих и сложных оптико-механических приборах и высококвалифицированных кадрах для работы на них. Термин “обработка

снимков” вытесняется термином ”работа со снимками”. Этому способствуют два фактора.

Во-первых, доступность и возможности компьютерной техники позволяют выполнить весь процесс фотограмметрической обработки снимков самими пользователями, а не только немногочисленными специализированными организациями.

Во-вторых, профессиональные пакеты программ, обладая логичной структурой, удобством пользовательского интерфейса, стали доступны для работы специалистам различных прикладных областей. Фотограмметрическое программное обеспечение имеет свои специфические особенности. Это прежде всего необходимость работы с огромными по объёму. Чёрно-белый снимок камеры МСК-4 при размере пикселя 6 м на местности будет иметь объём файла примерно 380 Мбайт. Чёрно-белый снимок формата 230x230мм после сканирования с разрешением 7мкм занимает 2.5Гбайта памяти. Для фотограмметрической обработки снимков требуется в 2-5 раз больше дискового пространства, чем занимает обрабатываемый снимок.

Для работы с большими объёмами файлов используются специальные форматы данных: иерархические, блоковые и др. Иерархическая структура представляет собой пирамидные слои. Это серии цифровых изображений одного и того же снимка, полученных с различной разрешающей способностью. От слоя к слою разрешающая способность уменьшается в 2 – 4 - 8 раз и т.д.

Сблокированная структура – совокупность блоков – небольших квадратных участков изображения с прямым доступом к каждому из них.

Использование специальных форматов данных решает одну из проблем работы с оцифрованными снимками – вывод записанного растрового изображения на экран дисплея. Проблема возникает из-за того, что на экране обычно можно разместить 2048x1536 пикселей, размер же снимка может составлять значительно больше. Часто обрабатываемый снимок изображается в двух окнах. В одном окне – весь снимок с уменьшенной разрешающей способностью (прореженный), в другом окне – фрагмент (блок) оригинального снимка. Все действия оператора отображаются в обоих окнах.

Современные пакеты программ обработки снимков разработаны таким образом, чтобы хранить не результаты обработки, а исходные снимки и алгоритмы, позволяющие в нужный момент получить нужный результат.

Это объясняется следующим. Во-первых, каждое преобразование ведёт к потере исходной информации и заранее, как правило, неизвестно, насколько важна эта потеря. Во-вторых, быстродействие современных компьютеров и высокая стоимость дисковой памяти делают экономически выгодным повторять при необходимости операции с исходным изображением, чем заполнять память преобразованными изображениями.

Фотограмметрическое программное обеспечение подразделяется на два больших класса: программы обработки одиночных снимков и программы стереофотограмметрической обработки.

Устройства ввода-вывода изображений

Цифровые технологии фотограмметрической обработки снимков предусматривают использование специального комплекса технических средств – цифровых фотограмметрических рабочих станций (ЦФРС), включающих устройства ввода-вывода изображений и вычислительный комплекс.

Поскольку исходным материалом для технологий цифровой фотограмметрической обработки в большинстве случаев остаются аэрофотоснимки, их необходимо преобразовать в цифровой вид. Цифровое изображение может быть представлено в компьютере в двух вариантах: растровом и векторном.

Получение **растрового** изображения - поэлементная запись исходного изображения в трёхмерном коде: плановые координаты точки на изображении (x ; y) и закодированная оптическая плотность или цвет этой точки. Техническими средствами, осуществляющими растровое цифровое изображение, являются сканеры, сам процесс цифрового изображения сканером называется сканированием. Если сканированное полутоновое изображение визуализировать на экране дисплея, снова получим полутоновое изображение.

Рассмотрим подробнее процесс формирования раstra.

На каждом шаге сканирования светочувствительные элементы ПЗС – линейки считывают информацию с элементарных площадок сканируемого изображения. Центр площадки называется **точкой позиционирования**. **Растром** изображения называется упорядоченное множество точек позиционирования.

Процесс формирования раstra можно представить в следующей последовательности:

ПЗС – линейка, жёстко связанная с объективом перемещается вдоль оси Y . В идеальном случае точки позиционирования располагаются в узлах регулярной сетки квадратов и растр имеет строго прямоугольную форму. В каждой точке позиционирования кодируется среднее значение оптической плотности элементарной площадки оригинала.

На практике мы имеем дело не с идеальным, а с искажённым растром. Точки позиционирования искажённого раstra не лежат в узлах сетки квадратов. Приблизить реальный растр к идеальному можно двумя способами – совершенствуя конструкцию сканера, повышая точность юстировки его узлов или создавая на основе калибровки сканера математическую модель искажений, используемую в дальнейшем для коррекции раstra.

Первый путь ведёт к значительному удорожанию сканеров (приблизительно в 10 – 40 раз).

Основными техническими характеристиками сканеров являются: позиционная точность; линейная разрешающая способность; энергетическая разрешающая способность (у цветных сканеров глубина цвета).

П о з и ц и о н н а я т о ч н о с т ь сканера характеризует степень нарушения подобия сканируемого и отсканированного изображений и представляет собой максимальную величину расхождений в положении точек реального и идеального растра. Она во многом зависит от его конструкции и измеряется в микрометрах.

Л и н е й н а я р а з р е ш а ю щ а я с п о с о б н о с т ь показывает величину элементарной площадки сканирования и измеряется в dpi (количество пикселей в дюйме изображения). Разрешающая способность 600 dpi означает, что на один дюйм (25,4 мм) длины изображения приходится 600 элементарных площадок сканирования (пикселей), т.е. размер одного пикселя 0,042 мм.

Э н е р г е т и ч е с к а я р а з р е ш а ю щ а я с п о с о б н о с т ь сканера зависит от вида приёмника излучения. У фотодиодов она выше, чем у ПЗС – линеек.

Г л у б и н а ц в е т а характеризует максимальное количество цветов, различаемых сканером, и измеряется в битах на точку растрового изображения. Глубина цвета 24 бит/точку превосходит возможности человеческого глаза.

В настоящее время лучшие аэрофотоаппараты с компенсацией продольного и углового сдвигов изображения могут обеспечить получение снимков с линейной разрешающей способностью $80 - 100 \text{ мм}^{-1}$. Во избежание потери информации при сканировании фотоснимков, необходимо использовать сканеры с линейной разрешающей способностью, по крайней мере, вдвое большей, чем исходный снимок. Цифрование с таким разрешением при обработке снимков крупных форматов представляет значительную трудность, поскольку требуется большой объём памяти. Поэтому широко применяется так называемое "on line" цифрование" с изменяющейся разрешающей способностью. Высокая разрешающая способность необходима при работе в зонах координатных меток, опорных точек и т.п.; более низкая достаточна при наборе пикетов для ЦМР или ЦМС.

В зависимости от конструкции и принципа действия различают планшетные, барабанные и протяжные (роликовые) сканеры.

Устройства, позволяющие вывести на печать цифровую информацию, называются плоттерами или принтерами. П л о т т е р ы выводят изображение на широкоформатные материалы (бумагу, плёнку, кальку). Для вывода малоформатных изображений используют принтеры.

По принципу построения изображения различают векторные и растровые плоттеры. В векторных плоттерах пишущими элементами являются фломастеры, рапидографы, ручки. Они перемещаются по полю выводимого изображения и рисуют различные линии. Растровые плоттеры так же, как и

принтеры, формируют изображение построчно в одном направлении. Векторные плоттеры в фотограмметрии практически не применяются.

В растровых плоттерах используются различные способы печати. В связи с этим они подразделяются на электростатические, термовосковые, лазерные, струйные и др. наиболее широко в настоящее время применяются струйные плоттеры. Печатающая система этих плоттеров состоит из картриджей, заполненных чернилами, и струйной головки. Струйная головка имеет вид матрицы, состоящей из крохотных сопел, через которые капельки чернил из картриджей выдавливаются на носитель. Существует два основных вида струйной печати: термопечать и пьезоэлектрическая. Термопечать осуществляется горячими чернилами, пьезоэлектрическая – холодными. В связи с этим разрешающая способность пьезоэлектрической струйной печати достигает 2000 dpi, в то время как термопечать может обеспечить максимальную разрешающую способность 720 dpi.

2.3. Системы координат, применяемые в фотограмметрии

В фотограмметрии обычно используют следующие системы координат.

Для определения положения точки на снимке применяют правую плоскую прямоугольную систему координат снимка $o'x'u$. Началом системы координат является точка o' – точка пересечения прямых, соединяющих так называемые координатные метки снимка 1-2 и 3-4, находящиеся на серединах сторон снимка. Ось x совпадает с прямой 1-2, а её положительное направление – с направлением полёта. Ось u перпендикулярна оси x и проходит через o' . Координаты точек (x,u) , измеренные в системе координат снимка, называют плоскими координатами.

Взаимное положение точек местности определяют в пространственной фотограмметрической системе координат. Это правая система координат. Начало системы координат и направления координатных осей выбирают произвольно. Часто начало системы координат совмещают с центром проекции $S – SXYZ$ или с какой-либо точкой местности $M – MXYZ$. Плоскость XU принимают горизонтальной или параллельной плоскости снимка.

Положение точек местности определяют в левой геодезической системе прямоугольных координат Гаусса – $O^G X^G Y^G Z^G$. Начало геодезической системы координат O^G находится в точке пересечения осевого меридиана данной зоны и экватора. Плоскость $X^G Y^G$ – горизонтальна. Ось Y^G направлена на восток, ось X^G – на север. Условная геодезическая система координат может иметь началом любую точку местности, а её оси сонаправлены соответствующим осям системы координат Гаусса.

2.4. Элементы ориентирования одиночного снимка, полученного топографическими АФА

Различают элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования определяют положение центра проекции S относительно снимка. Ими являются координаты точки S в пространственной системе координат снимка. Поскольку проекцией точки S на плоскости снимка является главная точка o , то их плановые координаты x и y в системе координат снимка совпадают, аппликацией точки S является расстояние S_o , т.е. фокусное расстояние АФА – f . Таким образом, элементами внутреннего ориентирования снимка являются координаты главной точки снимка x_o, y_o и фокусное расстояние АФА f . Эти элементы известны с высокой точностью и записаны в паспорте АФА. Например, $f=100,020$ мм; $x_o = -0,012$ мм; $y_o = +0,023$ мм.

Элементы внутреннего ориентирования снимка формируют связку проектирующих лучей, существовавшую при съемке. Ее положение в пространстве определяют элементы внешнего ориентирования снимка. Их шесть. Это три линейных элемента – геодезические координаты центра проекции $S (X_S; Y_S; Z_S)$ и три угловые элемента наклона и поворота снимка:

α - продольный угол наклона снимка

ω - поперечный угол наклона снимка

α - угол поворота снимка.

Следует заметить, что для всех снимков, полученных данным АФА, элементы внутреннего ориентирования можно считать известными постоянными величинами. Однако, элементы внешнего ориентирования у каждого снимка свои и, как правило, неизвестны.

2.5. Аналитическое трансформирование аэрофотоснимков

Конечной целью фотограмметрической обработки снимков является преобразование их в заданную картографическую проекцию местности. В Российской Федерации, как известно, такой проекцией является конформная проекция Гаусса-Крюгера.

В фотограмметрии под трансформированием понимается преобразование аэро- или космических снимков, полученных в большинстве случаев в центральной проекции, в ортогональную или какую-либо иную картографическую проекцию.

Суть аналитического трансформирования заключается в преобразовании координат точек снимка в координаты соответствующей

щих точек местности с использованием строгих математических зависимостей.

Три пространственные геодезические координаты точки местности $A(X^Г, Y^Г, Z^Г)$ связаны с плоскими координатами точки a снимка $(x; y)$ с помощью элементов ориентирования снимка.

Если элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка известны с необходимой точностью, то для любой точки местности, изображенной на снимке, можно составить два независимых уравнения связи координат вида. В этих уравнениях искомыми величинами будут геодезические координаты точки местности $X^Г, Y^Г, Z^Г$.

2.6. Определение элементов ориентирования аэрофотоснимка – обратная фотограмметрическая засечка

Аналитическое трансформирование (решение прямой фотограмметрической засечки) возможно при условии, что элементы ориентирования снимка известны.

Элементы внутреннего ориентирования, как правило, известны. Они определяются при калибровке АФА с точностью 0,001 мм и записываются в его паспорт.

Элементы внешнего ориентирования снимка можно определить различными способами. Они делятся на две группы.

Первую группу составляют способы определения элементов внешнего ориентирования снимков в полете с помощью специальных приборов. Например, координаты центров проекций находят по показаниям GPS - приемников, установленных на борту летательного аппарата. Угловые элементы внешнего ориентирования определяют с помощью инерциальных систем навигации. Координаты центров проекции в этом случае определяют с точностью 10-20 см, а угловые элементы с точностью 3-4".

Способы второй группы позволяют определять элементы внешнего ориентирования снимков по опорным точкам. **О п о р н ы м и т о ч к а м и** (опознаками) называются точки с известными геодезическими координатами. Опорные точки могут быть плановыми – для них известны только плановые координаты $(X; Y)$; высотными – с известной высотной координатой; плано-высотными – с тремя известными координатами $(X; Y; Z)$. Определение элементов внешнего ориентирования снимков с использованием опорных точек называется **о б р а т н о й ф о т о г р а м м е т р и ч е с к о й з а с е ч к о й** или задачей по ориентированию снимка. Она решается аналитически с использованием уравнений связи координат точек снимка и местности.

$$X^Г = X_S^Г + (Z^Г - Z_S^Г) \frac{a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f}$$

$$Y^Г = Y_S^Г + (Z^Г - Z_S^Г) \frac{b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f}$$

В правых частях уравнений связи содержатся все шесть искомым элементов внешнего ориентирования снимка. Для одной опорной точки с геодезическими координатами $(X^Г; Y^Г; Z^Г)$ и измеренными координатами $(x; y)$ ее изображения на снимке можно составить два независимых уравнения связи с шестью неизвестными величинами $X_S^Г; Y_S^Г; Z_S^Г; \alpha; \omega; \alpha$. Чтобы однозначно определить все шесть элементов внешнего ориентирования, необходимо объединить в систему не менее шести независимых уравнений, содержащих искомые элементы. Для этого требуется не менее трех планово-высотных опорных точек.

Для решения обратной фотограмметрической засечки с контролем используют четыре и более опорных точек, расположенных по углам снимка. Увеличение числа опорных точек позволяет также производить отбраковку грубых измерений.

Задача по определению геодезических координат точки местности по измеренным координатам ее изображения на снимке называется п р я м о й ф о т о г р а м м е т р и ч е с к о й з а с е ч к о й .

При аналитической обработке одиночного снимка помимо элементов внутреннего и внешнего ориентирования необходимо иметь высотную координату $Z^Г$ точки местности.

Существует несколько способов задания высоты точки местности для решения прямой фотограмметрической засечки.

Если требуется вычислить плановые координаты небольшого количества точек, то высоты этих точек могут быть определены по имеющимся планам с горизонталями при отождествлении на них этих точек.

В случае равнинной местности всем точкам присваивают одинаковую высоту $Z_{ср}$, равную средней отметке снимаемой местности. Возможность использования этого способа определяется предварительным расчётом допустимых перепадов высот снимаемой местности.

Действительный перепад высот на снимаемой местности можно определить по существующим планам с горизонталями. Если он меньше допустимого, то местность можно считать равнинной, и всем точкам местности присвоить одинаковую высоту $Z_{ср}$.

В случае, когда перепад высот превосходит допустимую величину, создают цифровую модель рельефа (ЦМР). При решении прямой фотограмметрической засечки высоты точек местности определяют посредством ЦМР.

Точность определения плановых геодезических координат $X^Г; Y^Г$ точки местности зависит от точности задания высотной координаты $Z^Г$. Таким образом, одиночный снимок даёт возможность вычислять плановые геодезические координаты $X^Г; Y^Г$ точек местности, если известны элементы ориентирования снимка и имеется информация о рельефе местности.

2.7. Цифровые модели рельефа

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – это цифровое представление земной поверхности, как непрерывного явления, описывающее её с определённой точностью. Под ЦМР понимают множество точек с известными геодезическими координатами $(X^Г; Y^Г; Z^Г)$ и правило определения высоты $Z^Г$ любой другой точки, не входящей в это множество. Точки с известными геодезическими координатами в данном случае принято называть высотными пикетами. Правило определения высоты называют правилом интерполяции высот или аналитической моделью рельефа (АМР).

Методы построения цифровых моделей рельефа различаются по схемам расположения высотных пикетов и по способам интерполяции высот в промежутках между ними.

По схемам расположения высотных пикетов ЦМР делятся на регулярные, полурегулярные и структурные.

В регулярных моделях высотные пикеты расположены в узлах сеток квадратов, прямоугольников или равносторонних треугольников. Недостатком этих моделей является то, что наиболее значимые точки рельефа, находящиеся на линиях тальвегов и водоразделов, перегибах скатов могут оказаться между узлами сетки и не отобразиться на ЦМР. В связи с этим, важно выбрать оптимальный шаг сетки, так как с его увеличением растут погрешности ЦМР, а с уменьшением возрастает объём ЦМР, время и средства на её создание.

В полурегулярных моделях высотные пикеты располагают на поперечниках к заданным линиям. Пикеты могут находиться на поперечниках либо на одинаковых расстояниях друг от друга, либо на перегибах скатов. Полурегулярные ЦМР в основном используют при проектировании трасс линейных сооружений (дорог, линий электропередач, нефте- и газопроводов и т.п.)

Для наиболее правильного описания характера рельефа меньшим количеством высотных пикетов создают структурные ЦМР. В этих моделях положение высотных пикетов определяется структурой рельефа – они выбираются в его характерных точках.

Координаты высотных пикетов, используемых для построения ЦМР, могут быть получены в результате полевых геодезических измерений, по топографическим картам, по результатам воздушного и космического лазерного сканирования, путём стереофотограмметрической обработки снимков.

Для определения отметок точек, находящихся между высотными пикетами, применяют различные способы линейного и нелинейного интерполирования.

Цифровые модели рельефа используют при изготовлении ортофотопланов, для создания оригинала рельефа в горизонталях и как самостоятельный слой в геоинформационных системах (ГИС).

2.8. Понятие о процессах, обеспечивающих преобразование снимков в цифровые модели и планы

Планово-высотная привязка аэрофотоснимков

Фотограмметрическая обработка, как одиночного снимка, так и пары снимков предполагает наличие опорных точек. Опорные точки позволяют производить трансформирование одиночных снимков и геодезическое ориентирование пространственных моделей местности. Геодезические координаты опорных точек можно получить с помощью геодезических измерений в поле или фотограмметрическим методом.

Процесс опознавания на снимках точек местности и определение координат этих точек геодезическими методами называется *привязкой аэрофотоснимков*. В качестве опорных точек выбирают надёжно идентифицируемые на снимках точки местности. Привязка, обеспечивающая каждый снимок или каждую стереопару опорными точками в количестве, необходимом для фотограмметрической обработки, называется *сплошной*. В противном случае привязка называется *разреженной*.

Привязка аэрофотоснимков состоит из нескольких этапов: подготовки материалов; составления проекта привязки; рекогносцировки и закрепления на местности опорных точек; полевых геодезических измерений; вычислительных работ; оформления материалов и сдачи работ.

Подготовка материалов включает подбор комплектов контактных или увеличенных снимков и репродукций накидного монтажа на объект работ. На репродукцию накидного монтажа переносят пункты геодезической сети с имеющихся топографических карт.

Составление проекта привязки аэрофотоснимков производится на репродукции накидного монтажа. Как правило, при разреженной привязке опорные точки располагают рядами поперёк аэрофотосъёмочных маршрутов. Расстояние между опорными точками рассчитывается и зависит от масштаба создаваемого плана, высоты сечения рельефа, параметров аэрофотосъёмки и выражается количеством базисов фотографирования.

В процессе *рекогносцировки и закрепления на местности* опорных точек опознаются и накалываются на снимки существующие пункты триангуляции государственной сети, выбирается окончательное положение каждой опорной точки и уточняется метод её геодезического определения. В качестве опорной точки выбирают такую точку местности, которая надёжно идентифицируется на всех перекрывающихся снимках. Погрешность опознавания опорной точки на местности не должна пре-

вышать 0,1 мм в масштабе создаваемого плана. Каждой опорной точке присваивается номер.

Далее проводят геодезические измерения с помощью современных электронных тахеометров и GPS- аппаратуры.

В результате вычислительных работ, получают геодезические координаты опорных точек.

Для каждой трапеции государственной разграфки, землепользования или населённого пункта формируют техническое дело, в которое входят все материалы полевых и камеральных работ: репродукции накидного монтажа, снимки с оформленными опорными точками, полевые журналы, каталоги геодезических координат и т.п.

Пространственная аналитическая фототриангуляция

Фототриангуляцией называется способ определения координат точек местности фотограмметрическими методами. Фототриангуляцию развивают по снимкам одного или нескольких маршрутов. В зависимости от этого различают одномаршрутную (маршрутную) и многомаршрутную (блочную) фототриангуляцию. В процессе фототриангуляции определяют три пространственные координаты.

Определяемые точки – точки, ради которых развивается фототриангуляция – получают в её процессе геодезические координаты. Определяемые точки в дальнейшем могут использоваться в качестве опорных при фотограмметрической обработке одиночного снимка - определении элементов внешнего ориентирования, или обработки пары снимков.

Часть 3. Дешифрирование материалов аэро- и космических съемок

Дешифрирование материалов аэро- и космических съемок - процесс получения семантической информации об объектах расположенных на земной поверхности. Дешифрирование входит технологическим этапом при создании картографических материалов, а также является самостоятельным процессом получения информации о качественных и количественных свойствах объектов, изучаемых по их аэро- или космическому изображению.

3.1. Классификация дешифрирования

Крупной градацией в классификацию дешифрирования является разделение по методам получения семантической информации. В основе деления по методам лежит соотношение участия человека(дешифровщика) и компьютера. Данное соотношение являются основой технологического процесса дешифрирования. Выделяют следующие методы: визуальный, машинно-визуальный, автоматизированный и автоматический. По технологии выполнения можно выделить следующие основные методы дешифрирования:

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;

машинно-визуальный, в котором с помощью компьютера или специализированных устройств выполняют предварительную обработку первичных снимков с целью облегчения их визуального дешифрирования. Способами данного метода могут быть: синтезирование изображений, квантование уровней видеосигналов, фильтрация изображения и др.;

автоматизированный, в котором интерпретационная обработка снимков выполняется машиной в диалоговом режиме — оператор 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;

автоматический, в котором интерпретационная система решает отложенные задачи без вмешательства оператора.

Дешифрирование можно классифицировать по содержанию информации, определяемой её тематической направленностью: топографическое или специальное. При топографическом дешифрировании выявляют и отображают на материалах АКС элементы земной поверхности, подлежащие нанесению на топографические планы и карты. При специальном дешифрировании отображению подлежат объекты, относящиеся к сфере интересов решаемых тематических задач: почвенное, геологическое, земельно-кадастровое и т.п.

Объём и детализация содержания получаемой при дешифрировании информации регламентируется соответствующими инструкциями и наставлениями.

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 ис-

пользуют вспомогательные материалы (карты, данные о юридических границах землепользования 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 превосходит машину в решении логических задач. Он может на основе ограниченной информации, используя 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. (феномен восприятия). 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 отличаются от индивидуальных зданий в сельском поселении не по абсолютным размерам их изображения, а по относительным. Для этого не требуется даже знания масштаба изображения (рис.7).



Рис. 7. Снимок сельского поселения. Вверху слева — животноводческая ферма; внизу — пастбище; *К* — копани для водопоя

Участки пашни с повышенным увлажнением поверхности или кормовых угодий с более мощным травостоем выделяются не по абсолютному значению оптической плотности, а по ее локальному изменению. То же можно сказать и о выявлении участков со смытыми или подверженными дефляции почвами.

В дешифрировании отдельных объектов обычно выделяют три ступени: обнаружения, опознавания и определения характеристик.

3.2. Дешифрировочные 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 натуральных 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 - **п р я м ы е д е ш и ф р о в о ч н ы е** признаки: форма и размер объектов в плане и по высоте; общий (интегральный) тон черно-белого (ахроматического) или цвет цветного (хроматического) изображений, а также текстура изображений.

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.



Рис. Снимок различно используемых земель:

1 — пашня; 2 — сенокос по редколесью; 3 — сенокос с кустарником; 4 — сенокос чистый; 5 — усадьбы; 6 — парк с аллеей; 7 — молодой сад; 8 — садозащитная лесополоса

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, обуславливающие 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 кроны отдельных деревьев, а при высоком разрешении съемочной системы и укрупнении масштаба съемки — изображением также элементов кроны (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 те-

чение 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 деления их на какие-либо группы. Изображение на дешифрируемом участке воспринимается человеком как единая модель местности. На основе результатов анализа модели со-

здается предварительная гипотеза о сути объекта (явления). Правильность подтверждается или отвергается (иногда многократно) с помощью дополнительных признаков.

3.3. Материалы съёмки, используемые при визуальном дешифрировании

Производительность дешифрирования и качество получаемых результатов в значительной степени зависят от вида дешифрируемых материалов, их информационных свойств, удобства использования при стереонаблюдении и досъемке не изобразившихся объектов, точности регистрации результатов и др.

Для дешифрирования используют фотоснимки и другие изображения в исходном масштабе, увеличенные изображения, фото-схемы, стереофото-схемы, фотопланы, ортофотопланы и различные сочетания перечисленных материалов.

Контактные фотоснимки являются основным, наиболее дешевым и быстро изготавливаемым материалом. По ним и визуализированным изображениям, полученным с помощью нефотографических съёмочных систем, решают многие задачи сельскохозяйственного назначения (картографические, поисковые, оперативного управления и др.). Кадастровые фото- и телевизионные снимки удобны для стереоскопического наблюдения и выполнения простейших стереофотограмметрических определений высот объектов, уклонов эрозионно опасных участков местности и др. Материалы многозональных съёмок используют для получения синтезированных изображений¹.

Зональные снимки используют и индивидуально с отбором наиболее информативных из них.

Основные трудности использования первичных изображений: недостаточная дешифрируемость их при создании планов и карт; сложность регистрации подлежащих дешифрированию малых по размерам объектов; досъемка не изобразившихся объектов.

Увеличенные изображения обладают большей дешифрируемостью и позволяют повысить точность дешифрирования границ объектов. Очевидно, что с увеличением снимков будет сокращаться и площадь одновременно анализируемого пространства при стереоскопическом и нестереоскопическом наблюдении их.

Фотосхемы позволяют расширить обзорность, сократить объем работ по согласованию результатов дешифрирования на смежных снимках. Если необходимо, то их изготавливают из увеличенных снимков. С их помощью оперативно решают многие информационные задачи, например при различных видах мониторинга, поисковых работах. Одномаршрутные фото-схемы незаменимы при аэровизуальном дешифрировании в малообжитых регионах. Недостаток фотосхем — сложность стереоскопического наблюдения.

Стереофотосхемы восполняют недостаток фотосхем. Они позволяют анализировать рельеф на больших территориях. Получаемая информация важна при выполнении почвенных, мелиоративных и других задач, например при различных видах мониторинга, при выявлении закономерностей почвообразования, развития эрозионных процессов и др.

Фотопланы и ортофотопланы свободны от недостатков рассмотренных материалов. Дешифрирование изображений территорий с большим объемом доъемочных работ рационально выполнять именно на этих материалах. Это может случиться, например, при крупномасштабном картографировании поселений с многоэтажной застройкой, большим количеством зеленых насаждений, развитой сетью подземных коммуникаций. Недостатки рассматриваемых материалов — практическое исключение возможности непосредственного стереоскопического наблюдения их и некоторое снижение разрешающей способности.

3.4. Дешифрирование снимков населённых пунктов для целей кадастра и инвентаризации объектов недвижимости

Результаты, получаемые в процессе дешифрирования снимков, используют для создания базовых планов состояния и использования земель, информационных земельно-кадастровых баз данных и геоинформационных систем (ГИС). Планово-картографические материалы и информационные базы данных, хранящиеся на бумажной основе или на электронных носителях, являются основой для ведения Государственного земельного кадастра. Содержащиеся в них сведения используют при регистрации прав собственности, организации постоянного контроля за использованием земель, налогообложении и т. п. Наибольшее внимание Федеральная землеустроительная служба и местная администрация уделяют территориям городов, поселков городского типа и сельским населённым пунктам.

При выполнении работ по дешифрированию руководствуются инструкциями и наставлениями, принятыми в производстве, а также техническим заданием, определяющим требования к содержанию и объему получаемой информации.

Дешифрирование выполняют полевым или комбинированным способом на увеличенных фотоизображениях. Масштаб увеличенных снимков (или их фрагментов) соответствует масштабу создаваемого кадастрового плана. Для сельских населённых пунктов используют масштаб **1:1000—1:2000**, для городов — 1:500... 1:1000.

В границах сельских населённых пунктов и городов подлежат дешифрированию следующие земельные участки:

жилой застройки (земли под многоэтажными строениями и земли между ними, функционально связанные и закрепленные за зданиями и сооружениями, а также территории для их технологического обслуживания);

общественной застройки (земли под учреждениями образования, науки, здравоохранения, культуры, искусства, общественного питания, торговли, гаражами и др.);

земли общественного пользования (улицы, площади, проспекты, дороги, проезды, переулки, парки, лесопарки, бульвары, скверы, набережные, пляжи и др.);

под промышленной, коммунальной и складской застройкой;

транспорта, связи, инженерных коммуникаций (железные и автомобильные дороги, речной транспорт; земли под трубопроводами, линиями электропередач, под сооружениями радиовещания и телевидения и т. д.);

природно-заповедного, природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения;

водного фонда (занятые водными объектами: реками, озерами, водохранилищами, водоохранными зонами, гидротехническими и водохозяйственными сооружениями и другими водными объектами);

сельскохозяйственного назначения (сельскохозяйственные угодья, земли акционерных и фермерских хозяйств, колхозов, муниципальных и подсобных хозяйств, земли под коллективными садами и огородами и т. п.);

запаса;

военных объектов, режимных зон и иные земли;

прочие земли (карьеры, копаные места, каменистые территории и т. п.).

Классификатор объектов может быть расширен или уменьшен в зависимости от поставленной задачи.

Подготовительные работы при дешифрировании снимков. Дешифрирование снимков для целей кадастра и инвентаризации земель имеет свои отличительные особенности, обусловленные спецификой определяемой информации. Поэтому подготовительные работы — наиболее ответственный этап в технологическом комплексе работ. Просчеты, допущенные на этом этапе, могут привести к увеличению материальных и трудовых затрат, сроков выполнения работ и в итоге к увеличению стоимости конечной продукции. На подготовительном этапе выполняют следующие виды работ:

подбирают увеличенные снимки или их фрагменты на участки изучаемой территории;

отграничивают рабочие площади на снимках, подлежащих дешифрированию;

подбирают топографические материалы на участки работ: топографические планы (фотопланы) крупных масштабов $1\text{ м} = 1:500\dots 1:5000$, топографические карты масштаба $1:10\ 000$, $1:25\ 000$ и мельче, копии районных карт масштаба $1:50\ 000$ с нанесенными кадастровыми номерами, специальные карты и планы (почвенные, геоботанические, лесные и т. п.);

получают копии генеральных планов и другой градостроительной документации, перспективные планы развития и правила застройки городов и поселений;

собирают материалы (копии) предыдущих инвентаризаций, документы и материалы по отводу земельных участков, выносу в натуру, установлению и восстановлению границ землевладений, землепользования и поселений;

получают материалы обследований индивидуальных земельных участков и построек, выполненных бюро технической инвентаризации (БТИ), и материалы исполнительной съемки, в которых отражены сведения о землевладельцах, землепользователях;

получают сведения о наличии зон ограничения и обременения по данным организаций, в ведении которых находятся линии электропередач, связи, трубопроводы, коммунальные сети и т. п.;

составляют списки землепользователей (физических и юридических лиц);

собирают на каждое поселение сведения о распределении земель по целевому назначению, оформляют в виде таблиц и заверяют подписью и печатью районной землеустроительной службой и местной администрации;

проводят по данным районной землеустроительной службы разделение объекта на кадастровые зоны, массивы и кварталы;

согласуют существующие и проектные границы поселений в архитектурно-планировочных управлениях (отделах).

Технология дешифрирования снимков при кадастровых работах и инвентаризации земель состоит из двух этапов: камеральной подготовки и полевого обследования территории. На первом этапе, используя материалы подготовки, дешифрируют все объекты, подлежащие отображению на базовом плане. При этом наносят границы тех объектов, дешифрирование которых не вызывает сомнения, а также границы поселений, кадастровых зон, массивов, кварталов. На втором полевом этапе опознают объекты, достоверность дешифрирования которых в камеральных условиях была низкой, а также обследуют все камеральные дешифрированные объекты. Выполняют досъемку не изобразившихся объектов. Комбинированный способ позволяет уменьшить объемы чертежных работ в полевых условиях, сократить время полевых работ при одновременном повышении достоверности, полноты и точности результатов дешифрирования. Полевой этап дешифрирования выполняют опытные специалисты с участием представителей местных администраций или рай(гор)комземов.

На увеличенных снимках (фрагментах) по согласованным на этапе подготовке материалам накалывают и обозначают поворотные точки границ населённых пунктов и границ кадастровых зон, массивов, кварталов. Их нанесение уточняют в полевых условиях в присутствии представителя местной администрации. В случае согласованного изменения границы ее новое положение вычерчивают сплошной линией (красного цвета), а старую границу аккуратно зачеркивают и делают пояснительную запись в журнале полевого дешифрирования. Достоверность установления и нанесения границ подтверждают на каждом дешифрированном снимке (фрагменте) подписями и печатями представителей администрации, председателя рай(гор)комзема или главного архитектора района (города).

Дешифрирование границ землевладений, землепользования — ответственная, сложная и юридически значимая часть полевых работ. Положение поворотных точек и межевых знаков границ участков определяют в натуре

и опознают (или уточняют) на снимках совместно с представителем местной администрации и, желательно, в присутствии землевладельца, землепользователя. При этом определяют и наносят на снимки границы участков по их *фактическому* использованию. Непосредственно опознаваемые поворотные точки наносят на увеличенные снимки с точностью 0,1 мм. Если поворотные точки не изобразились на снимке или плохо распознаются, то для их нанесения выполняют линейные промеры от ближайших трех четких контурных точек. Результаты измерений и абрис заносят в журнал полевого дешифрирования. Чтобы перенести результаты измерений на снимок, определяют масштаб в данной зоне снимка (частный масштаб зоны). В компьютерных технологиях обработки снимков при кадастровых съемках и инвентаризации земель применяют два способа отображения неизобразившихся объектов по результатам полевых измерений. В первом способе объекты наносят на изображение, выведенное на мониторе компьютера, после фотограмметрических преобразований снимков. Во втором случае фотограмметрически преобразованные снимки печатают на принтере или плоттере. Получают од-номасштабные изображения на бумажной основе, а далее по результатам промеров неизобразившиеся объекты наносят в полевых условиях.

В границах земельных участков показывают жилые дома и капитальные строения. При этом должно выполняться условие — положение здания и сооружения определяется по его основанию (цоколю). В зависимости от вариантов изображения построек применяют различные приемы их нанесения на крупномасштабных снимках.

При наличии внутри землевладения участка, принадлежащего другому землевладельцу, определяют и согласовывают границы каждого с выделением земель общего пользования (проезды, проходы, земли технологического назначения и т. п.).

В присутствии землевладельца заполняют декларацию о факте использования земельного участка физическим или юридическим лицом. В декларации записывают анкетные данные, адрес и кадастровый номер, юридические документы, указывающие на право владения земельным участком, вид собственности на землю и ее целевое назначение, площадь участка по документам, вычерчивают схему участка и т. п. Декларацию подписывает землевладелец, а информацию, занесенную в нее, используют в дальнейшем при создании кадастровых баз данных.

В случае выявления спорных границ в полевом журнале и в акте согласования границ отмечают существо заявленного спора, а сами границы показывают пунктирной линией со слов землевладельцев.

Для повышения точности кадастровых планов и результатов инвентаризации земель, выполняемых по увеличенным снимкам, в состав работ по дешифрированию включают линейные промеры. Их делают вдоль фасадных линий земельных участков, между поворотными точками границ землевладений, землепользования, а также отмеряют капитальные здания и сооружения. Линейные измерения выполняют с точностью 0,1 м.

Дешифрирование линейных объектов (улиц, проездов, автомобильных и железных дорог, различных трубопроводов, линий электропередач и связи) имеет свои особенности. Большинство линейных объектов имеют полосы отчуждения (отвода) или охранные зоны, которые подлежат дешифрированию и обозначению соответствующим условным знаком. Объекты, расположенные в охранных зонах, дешифрируют в обязательном порядке, а находящиеся в полосах отвода — по дополнительным требованиям.

При дешифрировании улиц выделяют:

проезжую часть по линии бордюрного камня, по ширине твердого покрытия или по факту использования;

тротуары, располагающиеся между фасадной линией и проезжей частью улицы;

газоны, находящиеся между проезжей частью улицы и тротуаром;

канавы.

В границах населённых пунктов дешифрируют шоссе, бульвары, проспекты, проезды, тупики, включая сооружения на них (например, остановки общественного транспорта, трансформаторные подстанции и т. п.). При наличии в поселениях названий улиц, площадей, бульваров, нумерации построек их наносят на дешифрируемый материал.

Профилированные дороги (шоссе, автострады) дешифрируют по ширине твердого покрытия с указанием его типа и ширины полосы отвода. Дешифрированию подлежат находящиеся на них сооружения.

Грунтовые дороги дешифрируют за пределами застроенной территории.

Железные дороги дешифрируют в границах полосы отвода.

Границы полосы отвода и охранных зон определяют на основании правоустанавливающих документов или по материалам земельного отвода.

Садово-дачные кооперативы и товарищества, земли, предоставленные жителям поселения во временное пользование, земли под застройкой гаражами, сараями и т. п. дешифрируют одним общим контуром с указанием кадастрового номера.

В границах населённых пунктов дешифрируют по дополнительным требованиям выходы подземных инженерных коммуникаций (смотровые колодцы, выходы подземных переходов, трубопроводов), наземные инженерные коммуникации и сооружения на них.

Качество дешифрирования определяют полевым контролем и при окончательной приемке работ. Для этого проверяют 15...30 % объема выполненных работ. Контролируют точность нанесения границ объектов, для чего выборочно промеряют между поворотными точками границы земельных владений, определяют достоверность и полноту семантической информации о землевладельцах, землепользователях.

По результатам дешифрирования формируют «Дело по дешифрированию», в которое входят дешифрированные увеличенные аэрофотоснимки (фрагменты), фотопланы или ортофотопланы; журналы полевого

обследования, декларация о факте использования земель физическими или юридическими лицами, акты полевого контроля

Способ определения положения построек на дешифрируемых снимках при инвентаризации объектов недвижимости

Контуры жилых домов и капитальных построек на дешифрируемых снимках должны соответствовать положению их фундаментов. Однако фундаменты в большинстве случаев по всему периметру не отображаются — они бывают закрыты самим строением, его крышей, расположенной рядом растительностью и др. Дополнительная проблема возникает при выполнении дешифровочных работ на снимках территорий с многоэтажной застройкой — здесь здания могут закрывать собой другие подлежащие дешифрированию объекты.

При работе со снимками, на которых смещение крыш за высоту зданий больше установленной нормы, введение поправок в положение крыш может быть выполнено различными способами. Рассмотрим суть аналитического способа.

На снимках накальвают изобразившиеся углы основания здания g_0, a_0, b_0 (рис.8) и измеряют расстояние от каждого угла до главной точки дешифрируемого снимка. В строгом варианте расстояния измеряют от точки надира. Затем вычисляют смещения изображения углов крыш по формуле. Высоту до основания крыши здания h определяют на этапе полевого обследования. Вычисленные смещения используют как поправки в положение углов крыши на снимке по направлению к его главной точке. Полученные точки $a_0, b_0, k_0, d_0, l_0, g_0$ будут углами несмещенной за высоту крыши дешифрируемого здания. Как правило, здания или постройки имеют свес крыши, что определяет большую площадь их изображения по отношению к фундаменту. Если свес крыши более допустимого, то необходимо введение поправки в положение контура здания.

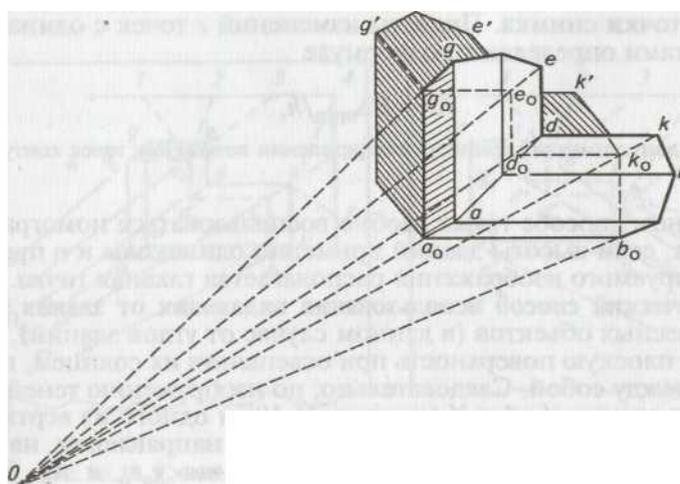


Рис.8 Схема определения положения основания здания при дешифрировании крупномасштабных снимков

3.5. Досъёмка не изобразившихся на снимках объектов при дешифрировании

На снимках могут не изобразиться некоторые из подлежащих дешифрированию объектов. Для нанесения на дешифрируемые материалы этих объектов – досъёмке, используют простейшие, обеспечивающие достаточную точность, способы. В случае дешифрирования ортофотопланов, изображение на которых приведено к единому, обычно стандартному, масштабу, можно использовать любые геодезические способы с одновременным фиксированием на ортофотоплане полученных результатов.

При значительном объеме досъёмочных работ дешифрируют копии изготовленных фотопланов (ортофотопланов).

При дешифрировании снимков исключается возможность применения угломерных способов досъёмки. Используют способы линейных измерений (створов, перпендикуляров, засечек и их комбинаций). Так как в различных частях снимки за влияние угла наклона и рельефа могут быть разные масштабы, то для переноса результатов досъёмки на снимок необходимо использование в каждой его части (зоне) *частного масштаба*. Для определения частного масштаба пользуются результатами измерения двух соответственных базисов на снимке и местности. Концами их служат надёжно идентифицируемые точки. На снимке они накальваются. Погрешность идентификации и накалки не должна превышать 0,1 мм. Размер базисов должен быть примерно таким же, что и максимальные по длине линии, используемые при досъёмочных работах. Уменьшение длины базисов приведет к снижению точности этих работ. Использование двух базисов позволяет контролировать результаты определения масштаба (исключает грубые ошибки), выявить предельную разномасштабность по различным направлениям в зоне и оценить возможную точность выполнения метрических действий с помощью среднего значения частного масштаба. Очевидно, что базисы не должны иметь общих фиксируемых точек. На гиросtabilизированных снимках разномасштабность возникает в основном вследствие влияния рельефа местности. Поэтому при работе на такой местности один из базисов следует расположить вдоль, а другой — поперек основного направления ската участка. Базисы при этом окажутся примерно взаимно перпендикулярными. Если плечи относительно точки их пересечения будут примерно симметричными, то среднее значение частного масштаба будет в этой точке.

На равнинной местности взаимное положение базисов желательно сохранить тем же. Возможное равенство масштабов по двум базисам в данном случае еще не свидетельствует о том, что перспективные искажения изображения на данном снимке незначительны. Для выяснения степени влияния наклона снимка на его разномасштабность в зоне следует использовать третий базис с диагональным направлением относительно основных базисов.

За окончательное значение знаменателя частного масштаба принимают среднее из двух (трех) определений.

Базисы на снимке измеряют с помощью измерителя и масштабной линейки, на местности — рулеткой. Точность измерения с помощью рулетки достаточна.

Наиболее удобное средство измерения базисов в натуре — ручные лазерные безотражательные дальномеры («лазерные рулетки»). Дальность измерения с их помощью до 200 м и более. Погрешность измерения 1,5...3 мм.

3.6. Стереоскопический эффект, используемый при визуальном дешифрировании

Необходимость в использовании технических средств при визуальном дешифрировании возникает в целях: оптического увеличения изображения, стереоскопического наблюдения дешифрируемых материалов.

Для оптического увеличения анализируемых изображений используют набор луп. Кратность их увеличения подбирают эмпирически. Повышение кратности обычно влечет за собой уменьшение поля зрения лупы. Поэтому их используют в основном для обнаружения и опознавания малых по размерам объектов (водоразборных колонок, маркированных перед съемкой поворотных пунктов границ землепользования и т. п.) или индикаторов, с помощью которых определяют функциональное назначение зданий, сооружений (наличие печных труб при выделении жилых построек в сельском населённом пункте, бочек на складе топливно-смазочных материалов и др.).

Точность дешифрирования возрастает при использовании стереоскопического эффекта. Для получения стереоскопического эффекта необходимо выполнение следующих условий:

- наличие пары снимков, полученных с концов базиса (пара перекрывающихся аэроснимков соответствуют данному условию);
- взаимное ориентирование пары снимков, при этом базис фотографирования параллелен главному базису;
- рассматривание снимков должно выполняться отдельно- левый глаз должен видеть только левый снимок, правый глаз –правый снимок. Раздельное восприятие изображений достигается различными способами.

Стереоскопически наблюдать пару снимков можно, при некоторой тренировке, без специальных приборов. Стереоскоп облегчает наблюдение и, кроме того, позволяет более полно извлечь содержащуюся в снимках информацию за счет увеличения изображения — большинство стереоскопов снабжено увеличительными линзами или более сложными оптическими устройствами. Дешифрируемость снимков при их стереоскопическом рассматривании возрастает также вследствие более полного использования геометрических дешифровочных признаков объектов —объёмного представления изображения объектов.

Стереоскопическое наблюдение снимков упрощает и ускоряет процесс нанесения границ возвышающихся объектов, бровок балок и линий резких изменений крутизны склонов. Поэтому использование стереоскопов рекомендуется даже при полевом дешифрировании.

Простейшее приспособление для стереоскопического наблюдения снимков — стереоочки, снабженные оптическими клиньями для дивергенции оптических осей глаз и соответственно увеличения расстояния между рассматриваемыми снимками. Стереоочки можно использовать с линзами. Диаметр поля зрения стереоочков 11...13 см при увеличении $1,2...2^x$.

Удобны для наблюдения снимков в поле карманные стереоскопы, например П-5 с диаметром поля зрения около 5 см при увеличении 2^x или топопрет с диаметром поля зрения 6 см при увеличении $2,8^x$.

Стереоскопическое изображение можно получить при рассматривании изображений на мониторе компьютера различными способами.

Анаглифический способ заключается в следующем: на мониторе изображение левого и правого снимков окрашивают программными средствами в различные цвета, например красный и зелёный. Для их наблюдения используют очки с соответственно окрашенными светофильтрами. Фильтры обеспечивают раздельное восприятие изображений левым и правым глазом.

При *поляризационном способе* левое и правое изображение поляризуются компьютером во взаимно перпендикулярных плоскостях. Для наблюдения используют очки с соответствующими фильтрами – поляризаторами.

Применяют также *способ поочерёдной подачи изображений* на экран. Изображение левого снимка формируется на чётных строках экрана, а правое – на нечётных. Происходит «сложение» двух изображений, вследствие чего изображение на экране выглядит нерезким. Для стереоскопического рассматривания оператор использует затворные жидкокристаллические очки, которые включаются синхронно с подачей на экран соответственно левого или правого снимков. Частота подачи сигнала от каждого снимка должна быть достаточно высокой (60-75 Гц на каждый глаз). Это определяет технические требования к видеокarte системного блока и монитору компьютера (используют мониторы на основе кинескопа).

При полевом способе дешифрирования в настоящее время успешно применяются технологии с использованием КПК или ноутбуков с малыми размерами монитора. Преимущества заключаются в том, что в процессе визуального анализа возможно увеличение изображения, изменение фотографического качества, что повышает точность отображения границ объектов. Кроме этого нанесение границ и условных знаков выполняется программными средствами, что повышает скорость и качество отображения результатов дешифрирования.

3.7. Общие вопросы технологии визуального дешифрирования

Во всех видах дешифрирования, выполняемых в инженерных целях (картографирование, инвентаризация угодий и объектов и т. п.), можно выделить общие технологические процессы — ограничение рабочих площадей дешифри-

руемых материалов, сводка результатов дешифрирования. Рассмотрим технику выполнения этих процессов.

Ограничение рабочих площадей снимков, фотосхем и других дешифрируемых материалов выполняют с целью исключения случаев пропусков или повторного дешифрирования территорий. Границы рабочих площадей на снимках и других материалах при этом должны проходить по идентичным точкам смежных изображений. На снимках равнинной и слабовсхолмленной местности, особенно в случае использования при съемке узкоугольных съемочных систем, границы будут практически прямолинейными. Для их фиксации достаточно использовать точки, расположенные примерно в пересечениях мнимых линий, проходящих по середине продольных P_x и поперечных P_y перекрытий снимков. В этих условиях появляется возможность дешифрирования только четных или нечетных снимков. Внутримаршрутные перекрытия при этом будут около 20 %, рабочие площади увеличатся вдвое. Это позволит сократить объем работ по сводкам результатов дешифрирования и оформлению дешифрированных снимков. Остальные снимки используют как вспомогательные при стереоскопическом наблюдении снимков дешифрируемых.

С увеличением рельефа изображенной на снимках местности точки, расположенные на прямолинейной границе одного снимка, будут все больше отклоняться от соответственной прямой линии смежного снимка. Допустимое значение отклонения зависит от контурной ситуации в зоне прохождения границы и вида дешифрирования. Если отклонение окажется недопустимым, можно использовать два основных варианта выхода из создавшегося положения. Первый — границы рабочей площади расширяют на максимальное отклонение. Очевидно, что при этом вдоль границ окажутся дублирующиеся участки и объем дешифровочных работ несколько увеличится. Второй — общие точки разграничиваемых снимков выбирают на главных перегибах земной поверхности вдоль основного направления границы, используя при этом стереоскоп. Границы в этом варианте окажутся ломаными, но избыточное дешифрирование исключается.

Ограничение рабочих площадей крупномасштабных снимков поселений при выполнении инвентаризационных работ требует выполнения дополнительного условия — сохранения на каждом снимке целостности изображения участков всех землепользователей. Поэтому границы рабочих площадей проводят вдоль улиц, переулков, по границам землепользования и т. п. с минимальным уклонением от срединных линий перекрытия снимков.

Ограничению рабочих площадей снимков и других, предназначенных для дешифрирования материалов, обычно предшествует процесс нанесения на них предварительного положения границ территории, в пределах которой выполняют дешифровочные работы. Такими границами могут быть рамки трапеций принятой разграфки, границы землепользования сельскохозяйственных и других предприятий, разделительные линии между отдельными дешифровщиками. И только после выполнения этого про-

цесса приступают к ограничению рабочих площадей каждого снимка, фотосхемы и других материалов.

Правила ограничения рабочих площадей фотосхем примерно те же, что и на снимках. Если местность равнинная, по углам фотосхем примерно на середине их перекрытия выбирают хорошо опознающиеся точки изображения. Через них карандашом проводят разграничительные прямые линии на обеих фотосхемах. Затем определяют значение отклонения соответственных точек, лежащих на линии одной из фотосхем, от линии, проведенной на другой фотосхеме. Обычно отклонения бывают невелики. Но с увеличением рельефа отклонения могут оказаться недопустимыми, особенно в случае монтажа фотосхем по соответственным точкам. Тогда на одной из фотосхем граница может быть оставлена прямолинейной, а на другой она будет состоять из звеньев. Точки, фиксирующие концы этих звеньев, выбирают на прямолинейной границе в местах стыковки снимков обеих фотосхем и идентифицируют визуально на смежной фотосхеме. После этого границы вычерчивают тушью.

Сводку результатов дешифрирования выполняют по границам смежных рабочих площадей дешифрируемых материалов, вдоль рамок трапеций или границ землепользования предприятий. Цель сводки — согласование результатов классификации объектов, определение их качественных и количественных характеристик по границам смежных рабочих площадей, а также исключение пропусков объектов. Правильность инструментального нанесения на дешифрируемые материалы не изобразившихся объектов контролируют промерами от двух-трех надежно идентифицируемых на смежных изображениях точек. Желательно, чтобы эти точки располагались возможно близко от контролируемого объекта и по разные стороны от него.

Работы по внутренней сводке выполняет исполнитель по завершении дешифрирования очередного снимка (фотосхемы и др.). С соседними исполнителями сводки проводят как в процессе работы, так и после окончания ее. Если смежный объект дешифрирован ранее, исполнитель на подготовительном этапе изготавливает на восковке выкопировку (или ксерокопию) ситуации в полосе порядка 2 см вдоль границы и по ней выполняют сводку.

Завершив работу по сводке, исполнитель записывает вдоль границы номер снимка (фрагмента), с которым выполнена сводка, а также когда и кем.

Часть 4. Применение материалов аэро- и космических съёмок

4.1. Основные задачи, решаемые по материалам аэро- и космических съёмок

Задачи, решаемые с помощью материалов АКС для целей землеустройства, кадастра недвижимости, экологии и мониторинга территорий, можно классифицировать следующим образом.

Создание фотограмметрическими методами цифровых моделей местности, используемых в качестве первого информационного слоя в геоинформационных системах (ГИС). Цифровая модель местности является базовым слоем, из которого с помощью программных средств выделяются слои определённого тематического содержания, например слой рельефа, дорожной сети, жилой застройки, сельскохозяйственных угодий, водных объектов, общественных построек и т.д. Цифровая модель и тематические слои позволяют привязать в геодезическом пространстве смысловые и статистические сведения об объектах местности, хранящихся в информационной базе данных.

Создание базовых планов состояния и использования земель. Базовые планы и карты составляются на территории населённых пунктов, городов, районов, а также на регионы. Масштаб создаваемых планов зависит от требуемой точности метрических данных и информационной нагрузки, необходимой при решении поставленной задачи. Базовый планово-картографический материал отражает специфику природных особенностей и хозяйственного развития изучаемых территорий. Тематические планы создаются для более детального отображения специальной информации. Подобные планы составляют в возможно короткий срок и на них показывают современное состояние компонентов природно-ресурсного и социально-экономического комплексов. Их называют оперативными или дежурными планами (картами).

Базовые и тематические планы служат для:

межевания, инвентаризации и кадастровой оценки земель различного назначения;

оценки эффективности использования земель сельскохозяйственного профиля, городских территорий и других направлений;

обеспечения земельно-кадастровой информацией;

проектирования перспективного развития территорий населённых пунктов, городов, промышленных зон и т.п.;

выполнения проектно-изыскательских работ при проектировании инженерных коммуникаций. Для подобных целей также используются первичные модели. На аэроснимках, фотосхемах и ортофотопланах могут быть нанесены проектные направления трубопроводов, линий электропередач и других линейных объектов;

реконструкции и развития дорожной сети;

выявления и оценки состояния подземных коммуникаций, трубопроводов, линий электропередач, зон подтопления и т.п. При этом информацию получают по материалам нефотографических съёмки (тепловых, радиолокационных, лазерных);

информационного обеспечения планирования и управления земельными ресурсами;

решения экономических и правовых вопросов, связанных с обеспечением межведомственного взаимодействия при формировании объектов недвижимости, регистрации прав на них и получении сведений об их использовании и состоянии;

информационной поддержки рынка земли и недвижимости и др.

Выполнение государственного мониторинга земель.

Мониторинг и прогнозирование экологических изменений земель,.

Материалы космических съёмки нашли широкое применение в различных областях хозяйственной деятельности человека. Космические снимки позволяют получать многообразную информацию о состоянии объектов и явлений на поверхности Земли.

Широкое применение космических снимков определяется существенными достоинствами способа их получения:

возможность выполнения космических съёмки любого района Земли;

изображение на снимке территории соответствующей нескольким сотням или тысячам квадратных километров, что позволяет проводить анализ интегральной информации и выявлять закономерности изучаемого явления на обширных пространствах;

большой захват снимаемой территории при значительных скоростях полёта летательного аппарата позволяет произвести съёмку всей земной поверхности в течение короткого промежутка времени. Для некоторых спутниковых съёмочных систем в течение суток;

периодичность космической съёмки. На один и тот же участок поверхности Земли могут быть последовательно получены изображения с большим или меньшим временным интервалом;

экономическая эффективность. Стоимость космической съёмки единицы площади значительно меньше по сравнению с аэросъёмкой.

Метрические и изобразительные свойства космических снимков, определяемые характеристиками съёмочных систем и спецификой производства космической съёмки, позволяют решать следующие задачи:

глобальные изучения поверхности Земли: исследования мирового океана, изучение береговых линий морей, создание модели рельефа, определение формы и размеров Земли и т.п.;

изучение природных ресурсов Земли, особенно в труднодоступных районах;

создание по космическим снимкам мелкомасштабных(1:m = 1:10000-1:25000 и мельче) топографических и тематических карт, а также базовых планов и карт использования земель;

изучение экологических последствий деятельности человека и природных явлений: загрязнений при освоении нефтяных и газовых залежей, загрязнений почвы, водных поверхностей и воздушной среды городов и прилегающих к ним территорий, территорий промышленных комплексов, последствий землетрясений и т.п.;

установление границ крупных административно-территориальных образований (районов, областей, городов, округов, краёв, республик, государств);

учёт и инвентаризация земель крупных административно-территориальных образований;

проведение мониторинга границ перечисленных образований;

оптимизация территориальных условий для формирования и совершенствования рациональной системы землевладений и землепользований в границах района, области, края;

разработка мероприятий по улучшению и восстановлению земель, с учётом совокупного влияния комплексных факторов, действующих на больших территориях;

выявление резервов и создание специальных фондов земель и т.п.

определение границ и качественной оценки земель труднодоступных районов тундры, пастбищ и т.п.

организация больших по площади территорий: районов, областей, городов и больших населённых пунктов;

получение оперативной информации (экспресс - информации) о быстротекающих процессах и явлениях, например, выявление очагов возгорания лесов и динамики распространения пожаров, определения зон затопления при разливе рек, отслеживание движения масс саранчи и поражений посевов и т.п.

Совершенствование съёмочных систем, технологий обработки получаемых изображений, на основе развития компьютерной техники и программного обеспечения, позволяет значительно расширить круг решаемых задач для целей рационального использования земельных ресурсов.

4.2. Технологические схемы создания цифровых моделей местности

Технологическая схема представляет собой последовательность взаимосвязанных технических и организационных процессов, в результате выполнения которых получают цифровую модель местности. При создании моделей местности по материалам аэро- и космических съёмок традиционно выполняются следующие процессы:

разработка технико-экономического проекта;

выполнение аэро- или космической съёмки;

геодезическая привязка снимков;

дешифрирование снимков;

фотограмметрическая обработка снимков и получение цифровых моделей местности.

Каждый из перечисленных процессов имеет свои особенности и способы реализации. Поэтому их сочетание приводит к многообразию вариантов технологий при создании цифровых моделей местности. На выбор технологической схемы, прежде всего, влияет вид конечной продукции: требуемая метрическая точность, содержание и объём семантической информации модели. Существенными факторами, определяющими выбор технологии, являются техническое обеспечение (компьютеры, программы, устройства ввода-вывода), квалификация исполнителей и сроки выполнения работ. Помимо этого учитываются физико-географические и климатические факторы района производства работ. С позиций экономики технология должна обеспечивать минимальные затраты на единицу выходящей продукции, например затраты на создание планово-картографической продукции на один гектар или квадратный километр.

Рассмотрим некоторые технологические схемы получения информационных моделей местности.

Технология создания сельского фотоплана на территории сельских населённых пунктов (предложена профессором Родионовым Б.Н.). Данная технология базируется на теоретическом обосновании и выводах, выполненных в части 2. Сельскими фотопланы называются потому, что они используются для организации и управления сельскохозяйственным производством, обеспечивая достаточную точность определения длин линий и площадей. Технология создания подобных фотопланов предельно проста и экономична. Они изготавливаются и передаются пользователю в кратчайшие сроки после аэрофотосъёмки. Суть технологии заключается в минимизации влияния угла наклона снимка и рельефа при аэрофотографировании. Аэрофотоснимки получают с самолётов ТУ-134СХ, обеспечивающих без гиросtabilизирующих установок углы наклона не более 1 градуса, с высоты 10000м аэрофотоаппаратами с фокусным расстоянием объектива 1000мм. Полученные снимки увеличивают до масштаба выпускаемых сельских фотопланов равного 1:2000. Печать осуществляется на листах бумаги размером 50x60 или 60x60 см. Один такой лист покрывает на местности участок площадью 120 или 144 га. Для большинства регионов центральной европейской части России в пределах такой площади редко встречается разность высотных координат более 40м, то есть отклонение от средней секущей плоскости не более 20м. При таких высотах участков местности и высоте аэрофотографирования 10000м влиянием рельефа можно пренебречь. При значительном рельефе размер листа фотоплана уменьшают так, чтобы на местности, изображённой на нём, разность высот была не более заданной величины. Каждый лист масштабируется отдельно. Точность получаемых таким способом фотопланов не ниже 1/100. На этом процесс фотограмметрической обработки заканчивается. Пользователи, а ими являются сотрудники местных администраций, райкомземов, управлений архитектуры и т.п., получают для работы материалы, соответствующие современному состоянию территории и достаточной точности.

Сельские фотопланы называют также свободными, так как они изготавливаются без опорных точек, имеющих геодезические координаты. Поэтому на них нет сетки геодезических координат и рамок трапеций государственной разграфки. Разграфку листов фотопланов проводят в соответствии с границами населённого пункта и кварталов застройки. На лицевой стороне каждого листа указывают направление на север и средний масштаб 1:2000, название населённого пункта и порядковый номер листа, когда изображение населённого пункта размещается на нескольких листах. На оборотной стороне приводят схему взаимного расположения листов. Для обеспечения более высокой точности измерений следует выпускать сельские фотопланы в масштабе 1:1000 и 1:500, для чего потребуется выполнение аэрофотосъёмки в более крупных масштабах. Разумеется, при этом значительно возрастут материальные и трудовые затраты.

Сельские фотопланы могут служить основой для создания кадастровых планов. При небольших навыках работы с фотоизображением с помощью сельских фотопланов сотрудники администраций могут определять линейные и площадные размеры участков, решать спорные вопросы о границах соседних земельных участков, устанавливать и восстанавливать границы, определять самозахваты земель и использование земель не по назначению, проводить инвентаризации земель и т.п.

Т е х н о л о г и я создания базовых планов состояния и использования земель сельских населённых пунктов на основе обработки фрагментов увеличенных снимков. Рассмотрим два варианта данной технологии. Эти варианты различаются последовательностью выполнения этапов дешифрирования и фотограмметрических преобразований.

В первом варианте дешифрирование предшествует фотограмметрической обработке. Для этого после аэрофотосъёмки выполняют увеличенную печать фрагментов снимков, с помощью прецизионных фотоувеличителей на недеформируемой фотографической бумаге. Таким образом, дешифрирование выполняется на разномасштабных фотоизображениях. Фотограмметрические преобразования дешифрированных снимков проводят для границ дешифрированных контуров в векторной форме.

Во втором варианте аэроснимки (негативы) сканируют, полученные растровые изображения трансформируют, выводят на печать с помощью картографических плоттеров. После этого производят дешифрирование одномасштабных изображений.

Остановимся на содержании отдельных видов работ данной технологической схемы.

На подготовительном этапе осуществляется сбор планово-картографических материалов на территорию работ, изучается наличие пунктов геодезической сети, рельеф, дорожная сеть, водные объекты, природно-климатические особенности района работ и т.п. В соответствии с требуемой точностью создаваемых планов выполняется расчёт параметров аэрофото-

съёмки, выбираются типы аэрофотоаппаратов, сроки производства аэрофотосъёмочных работ.

Планы населённых пунктов изготавливают в масштабе 1:500 – 1:2000, аэрофотосъёмку же производят в масштабах в 5-10 раз мельче. Технические характеристики отечественных аэрофотоаппаратов и плёнок позволяют выдерживать соотношение съёмочного масштаба и плана до 5 крат. Применение съёмочных средств и материалов зарубежных фирм увеличивает это соотношение до 10 и более крат. Фокусное расстояние объектива АФА выбирается, возможно, большим и соответственно съёмка выполняется с больших высот.

Документами, используемыми при составлении проектов и графиков выполнения основных видов работ, являются: договор с заказчиком, календарный план сдачи продукции, аэроснимки и репродукции накидного монтажа новой аэросъёмки. При планировании используют схемы геодезической сети, каталоги координат пунктов геодезической сети, существующие планы и карты, материалы аэрофотосъёмок прошлых лет и др. Технический проект составляется опытными высококвалифицированными специалистами. В проекте рассчитываются трудовые и денежные затраты по каждому виду камеральных и полевых работ и составляются графики их выполнения. На графиках указывают трапеции или участки и сроки выполнения работ. Графики позволяют установить взаимосвязь между отдельными видами работ, оптимально распределить специалистов, осуществлять контроль сроков выполнения и сдачи продукции заказчику.

Изготовление фрагментов увеличенных снимков производится с помощью специальных прецизионных проекционных приборов, имеющих оптические системы с высокой разрешающей способностью и малой дисторсией. В качестве таких увеличителей могут быть использованы фототрансформаторы, например Rectimat. Увеличенные фрагменты печатают с небольшим перекрытием, обеспечивающим нахождение в них общих для фрагментов снимка опорных точек. Выбранные точки будут использованы в дальнейшей обработке для объединения изображений в единый электронный базовый план.

Общий подход к привязке снимков рассмотрен в параграфе 2.8. Привязка фрагментов увеличенных снимков имеет некоторые методические особенности. В соответствии с наставлениями по созданию базовых планов, первоначально производится создание опорной межевой сети (ОМС) в данном населённом пункте. Для этого на местности закрепляют опорные межевые знаки (ОМЗ), координаты которых определяют в общегосударственной или условной системе. Среднеквадратическая погрешность положения межевого знака относительно пунктов государственной геодезической сети не более 0,1 мм в масштабе создаваемого плана. Средняя квадратическая погрешность взаимного положения опорных межевых знаков составляет не более 0,05 мм в масштабе создаваемого плана. К ОМЗ осуществляется геодезическая привязка фрагментов увеличенных снимков. Опорные точки располагаются на увеличенных фрагментах снимков по границе изображенного на них

поселения, а также в зонах перекрытия фрагментов. Для повышения точности и надёжности фотограмметрической обработки снимков количество опорных точек увеличивают до 6-8. При значительных уклонах местности для учёта влияния рельефа опорные точки размещают внутри участка населённого пункта, как правило, координируя углы кварталов, однозначно идентифицируемых на изображении.

В случае, когда базовые планы создаются в условной системе координат и нет необходимости их перевычисления в государственную геодезическую систему координат, возможно применение камеральной привязки снимков. Для этого используют старые планы и снимки новой аэрофотосъёмки. Масштаб используемых планов должен обеспечить требуемую точность определения координат опорных точек. На данных материалах намечают и идентифицируют опорные точки, затем по старым планам определяют их геодезические координаты и составляют каталоги координат. Такой способ привязки снимков уступает по точности полевой привязке. Однако затраты на камеральную привязку снимков или их фрагментов существенно меньше по сравнению с полевым способом.

Технологии дешифрирования, ввода изображения, фотограмметрической обработки одиночных снимков и фрагментов увеличенных снимков, объединение (сшивка) снимков или фрагментов рассмотрены в соответствующих разделах.

Редактирование электронного плана предусматривает в основном устранение погрешностей ввода изображения. Ввод изображения, как уже рассмотрено ранее, осуществляется с помощью дигитайзера или сканера. В первом случае получают векторное изображение в системе координат дигитайзера. Во втором случае от растрового изображения, полученного при сканировании снимков (или фрагментов), переходят к векторному. Этот процесс называют векторизацией. Первичное векторное изображение имеет пропуски, разрывы контуров, различные шумы (дублирование линий, образование малых замкнутых фигур в точках пересечения и т.п.). Для устранения погрешностей используют специальный программный редактор и ручную коррекцию. На этом же этапе по результатам полевых обмеров на экране монитора наносят не изобразившиеся при аэрофотосъёмке объекты.

Перенос результатов дешифрирования заключается в следующем. Используя дешифрированные увеличенные фрагменты снимков, материалы полевого обследования (декларации, полевые журналы) и иную информацию, оператор присваивает каждому контуру электронного плана семантическую характеристику. Для этого оператор из программного классификатора вызывает обозначение определенного класса объектов, устанавливает курсор на обучаемый контур и, нажатием кнопки «мыши», завершает операцию. Классифицированный контур окрашивается в соответствующий цвет или заполняется условными знаками. Выполнив подобную операцию с каждым контуром, составляют экспликацию земель в границах населённого пункта. Сумма площадей земель по классам и площадь поселения в его границах должны быть равны.

В результате выполнения рассмотренных технологических этапов создаётся базовый план. При сдаче заказчику базового плана оцениваются следующие показатели:

- точность метрической информации (сравниваются геодезические координаты или длины, полученные с плана и в результате полевых измерений);
- достоверность семантической информации;
- сводный баланс земель в границах поселения;
- отражение фактической ситуации в отношении сложившихся границ и использования земельных участков.

После создания базового плана приступают к организации банка (базы) земельно-кадастровой информации. Базовый план при этом является картографической основой и предназначен для пространственного размещения земельно-кадастровой информации. Перечень сведений, подлежащих сбору и отражению в информационной базе, определяется нормативно-техническими документами и (или) техническим заданием.

Результатами работ, выполняемых в соответствии с рассмотренной технологической схемой, являются:

- кадастровые планы на населённые пункты (планшеты с разграфкой в масштабах 1:500 – 1:2000);
- планы отдельных земельных участков (с указанием владельца, фактической площади, длин линий, румбов сторон участка, смежников);
- база земельно-кадастровой информации.

Материалы могут быть представлены заказчику на электронном носителе или на бумажной основе. Для исключения погрешностей при печати, тиражирование на бумажном носителе выполняется с помощью прецизионных плоттеров.

Технологическая схема создания базовых планов по второму варианту имеет преимущества перед ранее рассмотренной схемой. В ней отсутствует фотографическая печать фрагментов увеличенных снимков. Камеральное дешифрирование выполняется на экране монитора, что позволяет увеличивать изображение, изменять его контрастность, повышая проработку деталей в тенях, и более надёжно идентифицировать поворотные точки границ земельных участков. При полевом дешифрировании используется одномасштабное частично дешифрированное фотографическое изображение, полученное в результате компьютерного увеличения цифрового изображения. Одномасштабность изображения позволяет точнее наносить неизобразившиеся объекты или их элементы по данным линейных промеров. Отпадает необходимость ведения полевого журнала измерений. При создании плана по рассмотренной технологической схеме снижаются затраты и ускоряется выпуск конечной продукции.

Технологическая схема создания ортофотоплана способом цифровой стереофотограмметрической обработки снимков представлена на рис 9. В данной схеме технической

базой является автоматизированная система кадастрового картографирования Intergraph.

Отличительной особенностью данной технологии является использование стереоскопической обработки снимков, при которой в полной мере учитывается рельеф местности. Методы цифровой фотограмметрии позволяют организовать процесс изготовления ортофотопланов с требуемой

точностью, но меньшими материальными, трудовыми и временными затратами.

Рассмотрим основные этапы создания ортофотоплана.

Полевая м а р к и р о в к а представляет собой процесс установления на местности искусственных опорных знаков(опознаков). Маркировка искусственными опознаками выполняется на местности, где нет естественных контуров уверенно опознаваемых на снимках. Эта работа выполняется до аэрофотосъёмки. На местности роют неглубокие канавы, наносят линии известью или используют иные материалы. Форма опознака может быть различной: крест, квадрат, У-образная форма и т. п. Размер знака зависит от масштаба получаемых снимков. Маркировку осуществляют

в заранее намеченных зонах,удовлетворяющих требованиям фотограмметрической обработки снимков. Для облегчения нанесения границ маркируют сохранившиеся поворотные пункты границ землепользований. Масштаб аэрофотосъёмки, высота фотографирования рассчитываются таким образом, чтобы обеспечить необходимую точность определения плановых и высотных координат.

При р а з р е ж е н н о й п р и в я з к е снимков опорные точки располагают в углах и в центре маршрута или блока. Блок может быть составлен из 50-100 снимков и более.

Фотограмметрическая обработка включает: сканирование снимков и создание библиотеки цифровых изображений на магнитных носителях, ввод необходимых для обработки снимков, маршрутную или блочную фототриангуляцию, создание цифровой модели местности, ортофототрансформирование, изготовление электронного ортофотоплана. Потребителю ортофотоплан передаётся в растровой или векторной форме на магнитном или бумажном носителе.

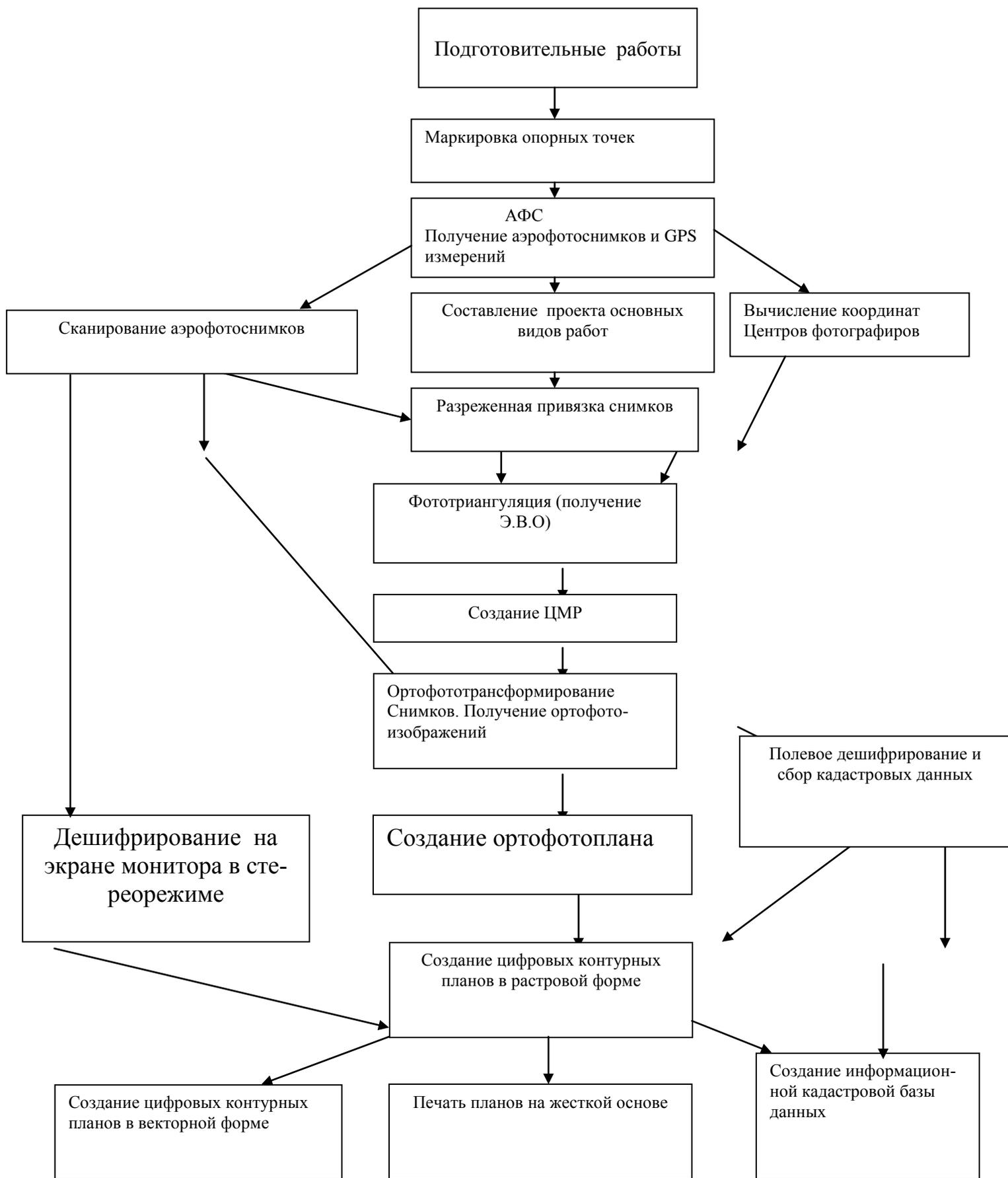


Рис.9. Технологическая схема создания ортофотоплана и кадастрового плана по материалам АФС

4.3. Применение аэро- и космических снимков при организации территорий

Материалы аэро- и космических съёмок используется для установления (восстановления), изменения, технического и юридического оформления границ административно-территориальных образований – поселений, городов, областей и т.п. Координаты поворотных пунктов их границ определяются с помощью фотограмметрического метода.

Использование фотограмметрического метода при установлении границ землепользований позволяет сократить трудоёмкие полевые работы и время их проведения.

Существуют различные варианты установления границ по материалам аэро- и космических съёмок. Рассмотрим для примера общую схему одного из вариантов.

На участок, выделенный под землепользование (землевладение), имеется ортофотоплан. На основании решения местных органов управления и администрации об организации данного землевладения имеются сведения о площади участка, положении и схема его границ. На мониторе компьютера, где хранится электронный ортофотоплан, методом последовательного приближения положения поворотных точек намечаются на фотоизображении границы землепользования, добиваясь соответствия юридической и фактической площади проектного участка. При этом программными средствами контролируется заданная площадь. После создания проекта на мониторе автоматически получают координаты поворотных точек границ участка.

Затем создаётся проект выноса в натуру границ землепользования (землевладения). На каждую поворотную точку создаётся абрис с результатами линейных измерений (прямые засечки, способ перпендикуляров, створов и т.п.) от чётких контурных точек на изображении до данной точки. Используя масштаб ортофотоплана, каждую поворотную точку выносят в натуру и закрепляют соответствующим знаком на местности.

Восстановление границ землепользования (землевладения) выполняется в том случае, когда в натуре утрачены поворотные точки.

При восстановлении границ используют каталоги координат поворотных точек, полученных из материалов ранее проведённого установления границ. При использовании электронных ортофотопланов координаты поворотных точек вводятся с клавиатуры компьютера и отображаются условными знаками на фотоизображении. Перенос точек в натуру производится аналогично установлению границ.

Материалы аэро- и космических съёмок могут служить основой для разработки схем районной и градостроительной планировки. Для этих целей могут быть использованы фотосхемы, изготовленные из приведённых к заданному масштабу снимков, и ортофотопланы. На этих материалах отображают: границы всех землепользований, каналы осушительных и оросительных сетей, промышленные предприятия, поселения, фермы и производственные комплексы, энергетические и инженерные сети и соору-

жения, линии связи и т.д. Для градостроительной планировки успешно применяют современные формы представления информационной модели местности -3D изображения, позволяющие рассматривать территорию с различных ракурсов.

Аэро- и космические снимки применяются для изучения состояния сельскохозяйственных культур, разработок методов и приёмов рационального использования земель и ведения сельскохозяйственного производства. С помощью космических снимков отслеживается состояние полей, что позволяет своевременно и выборочно вносить необходимые и дорогостоящие удобрения. Это повышает эффективность воздействия вносимых удобрений и улучшает экологическую обстановку.

По снимкам проводится анализ производства сельскохозяйственной продукции. Дистанционный способ значительно сокращает сроки, затраты и повышает точность получения информации о количестве произведённого продукта (пшеницы, картофеля, кукурузы и т.д.).

Использование космических снимков для обследования лесных массивов в нашей стране приносит огромный экономический эффект. Своевременное определение, например, локальных возгораний позволяет на раннем этапе осуществлять противопожарные мероприятия. Мониторинг даёт возможность оценить качественное состояние лесов, выявить несанкционированные вырубki, определить площади гарей, разработать комплекс мероприятий по репродукции лесных массивов и т.п.

4.4. Применение данных космических съёмok при чрезвычайных ситуациях

В настоящее время космические снимки применяются для оценки, моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. По снимкам изучаются природоопасные явления, с целью снижения риска возникновения ЧС. Сведения используются для принятия решений организационного и технического характера для ликвидации последствий негативного явления (моделирование последствий ЧС, определение зон досягаемости специалистов и оптимизации маршрутов их следования и т.д.). Система космического мониторинга состоит из:

аппаратно-программного комплекса, осуществляющего приём, регистрацию и обработку изображений, передаваемых с космических летательных аппаратов;

базы данных, состоящей из оперативных и архивных космических изображений, а также полученных на их основе планово-картографических материалов.

Сравнение оперативной информации с базой данных позволяет государственным и местным органам службы МЧС, совместно с органами управления, контролировать территорию и в случае ЧС ликвидировать последствия. В качестве примера рассмотрим в общем виде подход прогнозирования развития паводковой обстановки при разливе рек. Подобная информация позво-

ляет принимать оптимальные решения по оказанию помощи населению и оценке ущерба. По космическим снимкам выявление паводковой обстановки на реках может выполняться с помощью визуального метода анализа изображения и автоматизированного (цифрового) метода обработки изображений. На космических снимках, поступающих по радиоканалу на пункты приёма, визуально определяются участки разлива, места появления заторов льда, границы снежного покрова в бассейнах рек. Для этого используются как зональные, так и синтезированные изображения. Цифровой метод применяется для оперативного определения степени и площади затопления территорий. При этом производят совмещение разновременных снимков, текущего и опорного, соответствующего времени нормального состояния русла реки. Используя специальный алгоритм цифровой обработки, по изменениям на изображении выделяются границы разлива, вызванные паводком. Приведённые примеры лишь малая часть широкого спектра использования космических снимков.

Эффективность применения материалов космических съёмок для решения различных хозяйственных задач зависит от их качества и оперативности доставки потребителю, а также от наличия простых в использовании и доступных программных средств. Чтобы извлекать необходимую тематическую информацию при разработке программных средств должны учитываться особенности получения космических снимков, включая тип сенсора, его геометрические и радиометрические характеристики, способ построения изображения, орбитальные параметры и форматы данных. Помимо существования тематических программных средств обработки космической информации в рамках современных геоинформационных систем, как правило, заложены модули фотограмметрических преобразований и цифровой интерпретации космических снимков. Расширение доступа, возможность приобретения или заказа через Internet позволит различным пользователям применять космические снимки для решения разнообразных прикладных задач.

4.5. Методика обновления планов и карт с использованием материалов новой аэрофотосъёмки

Метрическая и смысловая информация, содержащаяся на фотопланах, ортофотопланах и графических планах, с течением времени устаревает. Подобное старение происходит в результате естественных или антропогенных изменений объектов земной поверхности, в результате чего возникает несоответствие содержания планов и карт современному состоянию картографируемой территории. Другой причиной старения является введение новых нормативных документов (инструкций, условных обозначений и т.п.) или новой системы координат. Для поддержания информации на современном уровне на планы и карты наносят появившиеся изменения. Процесс внесения изменений в содержание планов и карт называют обновлением или дежурным сопровождением. При обновлении наносят вновь появившиеся объекты и удаляют исчезнувшие элементы ситуации.

Обновление выполняется геодезическим или фотограмметрическим методом.

Геодезический метод заключается в том, что в поле план на бумажной основе сличают с натурой. Положение вновь появившихся объектов определяют путём простых геодезических измерений (линейных промеров, линейных засечек и т.п.) от имеющихся на местности и плане контурных точек. В дальнейшем на экране монитора курсором по результатам линейных измерений отмечается положение определяемых объектов. При большом количестве изменений выполняют измерения геодезическими инструментами или наземными GPS. Затем по результатам измерений наносят на электронный план появившиеся объекты. Для этого с помощью клавиатуры компьютера вводят геодезические координаты поворотных точек появившихся на местности объектов. Геодезический метод обеспечивает высокую точность. Используется при малых локальных изменениях ситуации на местности.

Фотограмметрический метод заключается в том, что обновляемый план камерально сличают с материалами новой аэрофотосъёмки, на которых определяют изменения, дешифрируют вновь появившиеся объекты и после полевой проверки наносят изменения на план. Данный метод применяют для обновления планов на большие территории.

Конкретный вариант организации работ по обновлению планов определяется многими факторами: техническим обеспечением, экономичностью, оперативностью выполнения работ и т.п.

Цифровые способы фотограмметрической обработки снимков упрощают работы по обновлению планов. Существующие компьютерные программы позволяют экономично и качественно выполнить ввод изменившейся ситуации на обновляемый план. Наиболее простой способ представляет собой «врезку» фрагмента снимка с изменившейся ситуацией. Для этого по периметру фрагмента идентифицируются 5-6 точек дешифрованного снимка и плана, используемых в качестве опорных. Площадь фрагмента выбирается так, чтобы местность, изображённая на нём, была плоской. Точность координат идентифицированных (опорных) точек определяется точностью, с которой они занесены в базовый электронный план. Погрешность опознавания на снимке не должна быть более 0,1мм. При значительных изменениях ситуации, когда невозможно надёжно опознать на обновляемом плане опорные точки по периметру фрагмента снимка, применяют методы фототриангуляции. Используя идентифицированные точки как концы базисов, вычисляется коэффициент масштабирования для данного фрагмента снимка. Изображение фрагмента снимка, приведённое к масштабу обновляемого плана, занимает положение в геодезическом пространстве на электронном плане.

Периодичность аэрофотосъёмки, выполняемой для обновления планов и карт, определяется скоростью и степенью старения имеющейся в них метрической и смысловой информации. **Скорость** старения зависит от интенсивности преобразований происходящих на картографируемой территории и характеризует количество изменений за единицу времени. **Степень**

старения выражает отношение количества изменившихся объектов к общему количеству объектов на данной территории. Этот критерий может быть определен по данным регистрации ежегодного изменения земельного фонда в пределах изучаемой территории, а также с помощью методик оценки старения планов и карт. Выявление происшедших изменений может выполняться визуально или автоматически с помощью специализированных компьютерных программ. Для этого осуществляется ввод в компьютер, где хранится обновляемый план, материалов новой аэрофотосъемки. В соответствии с программой производится сопоставление старой и новой информации. Оператор осуществляет контроль и уточнение результатов.

Обновление может выполняться в двух вариантах: периодически и непрерывно.

При периодическом обновлении предусматривается уточнение содержания планов и карт через определённый промежуток времени. Для обжитых районов срок обновления составляет 3 года, для прочих районов - 5 лет и более.

Для непрерывного обновления базовых планов используются материалы геодезических измерений, выполняемых при отводе земель, инвентаризации, купле-продаже или по материалам новых аэрофотосъёмок, проводимых различными ведомствами.

Аэрофотосъёмку производят с помощью аэрофотоаппаратов, имеющих объективы с фокусным расстоянием $f = 200-500$ мм. Продольное и поперечное перекрытия снимков при съёмке могут быть стандартными. Выбор благоприятного времени выполнения аэросъёмочных работ зависит от характера обновляемой информации. Например, для обновления базовых планов поселений съёмка выполняется в безлиственный период – ранняя весна или поздняя осень.

4.6. Использование аэрофотоснимков при составлении проектов рекультивации нарушенных земель

К нарушенным землям относят земли, утратившие свою хозяйственную ценность в результате негативного изменения почвенного покрова, гидрологического режима и рельефа. Нарушения могут быть вызваны природными или антропогенными явлениями. Производственная деятельность человека – разработка карьеров для добычи полезных ископаемых, строительство гидроэлектростанций, дорог, трубопроводов и т.п. – приводит к существенным изменениям земной поверхности.

Для устранения негативных последствий производят рекультивацию нарушенных земель. Под рекультивацией земель понимают комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель.

Для определения характера и объёмов работ по рекультивации разрабатывают технический проект и экономические обоснования. Основой для составления технического проекта служат крупномасштабные планы. При из-

готовлении планов изолированных и небольших по площади карьеров, торфяных разработок применяют наземные методы: геодезическую, лазерную съёмку. При использовании фотограмметрического метода съёмку выполняют калиброванными малоформатными цифровыми фотоаппаратами. При рекультивации земель значительных территорий топографическая основа для проектных работ изготавливается фотограмметрическими методами по материалам аэрофотосъёмок. Материалы получают путём проведения специальных аэрофотосъёмочных работ или используют материалы государственных или ведомственных аэрофотосъёмок, параметры которых позволяют получать планы требуемой точности.

Параметры аэрофотосъёмки (высота и масштаб фотографирования, фокусное расстояние АФА) определяются следующими соображениями. В большинстве случаев составление проектов рекультивации земель выполняется на топографической основе масштабов 1:1000 – 1:5000. При этом точность планового положения элементов ситуации и рельефа определяется средними квадратическими погрешностями:

для топографических планов масштаба 1:1000 в погрешность в плане 0,5м, по высоте – 0,1м; для топографических планов масштаба 1:5000 соответственно в плане 2,5м и 0,2 по высоте.

Основным методом создания топографических планов рекультивируемых земель в настоящее время является метод цифровой стереофотограмметрической обработки снимков. При этом расчёт параметров аэрофотосъёмки осуществляется исходя, прежде всего, из требований к точности высотных координат элементов объекта съёмки. Точность получаемых высот элементов местности определяется высотой и базисом фотографирования. *Методика расчёта параметров АФС изложена в прилагаемой лабораторной работе.*

Погрешность идентификации и измерения координат точек снимка зависит от его качества, определяемого, как рассмотрено ранее, свойствами АФА, аэрофотоплёнки, качеством производства аэрофотосъёмки, от разрешающей способности сканированного изображения, точностью наведения курсора и т.д. Для определения масштаба фотографирования будем полагать точность измерения координат равной удвоенной разрешающей способности сканированного изображения. Например, при сканировании с разрешением 1250 dpi, что соответствует 0,02мм, точность измеренных координат равняется 0,04мм. Для нашего примера получаем масштаб фотографирования для создания плана 1:М=1:1000 не мельче 1:m = 1:12500. По рассчитанной высоте и масштабу фотографирования выбирается аэрофотоаппарат с необходимым фокусным расстоянием. В данном случае для аэрофотосъёмки применяется АФА с $f=70$ мм.

На отдельные рекультивируемые участки местности создаются планы, как правило, в условной системе координат. Соответственно привязка снимков выполняется в той же системе координат. Опорные точки могут быть использованы для переноса проекта в натуру.

В результате цифровой стереофотограмметрической обработки снимков получают цифровую модель местности. В дальнейшем цифровая модель

может быть использована в специализированных программах, обеспечивающих автоматизированное проектирование рекультивации земель.

4.7. Использование материалов аэро- и космических съёмки при создании геоинформационных систем

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности стремительно развиваются информационные технологии. В общем понимании информационная технология включает теорию, методы, средства, системы, направленные на сбор, обработку и использование информации. Существуют специализированные пространственные информационные системы для работы с информацией об объектах, явлениях и процессах, имеющих определённое место в координатном пространстве. Такие системы принадлежат к классу географических информационных систем, обозначаемых сокращённо ГИС. При организации и управлении территорий, ведении кадастра и мониторинга земель применяются геоинформационные системы, которые представляют собой модель пространственного размещения объектов местности с соответствующей смысловой (атрибутивной) информацией о каждом из них. ГИС представляет собой инструмент для принятия практических решений определённой тематической направленности на основе всеобъемлющей информации, хранящейся в её среде. Геоинформационные технологии – процесс организации, связи, манипулирования, анализа и представления пространственных данных.

ГИСы имеют различную организацию, поэтому круг и сложность решаемых задач также широк и разнообразен. Например, можно ограничиться получением статистической информации о конкретном землевладении и регистрации земельной собственности, или выполнить анализ глобальных проблем, связанных с сохранением экологического равновесия в зонах деятельности предприятий. С помощью ГИС может выполняться мониторинг народонаселения, производства сельскохозяйственной продукции, последствий природных катастроф, оптимизация маршрутов движения общественного или личного транспорта, расположения площадок под промышленное или жилищное строительство, проложения трубопроводов, линий электропередач, дорог и т.п.

Любая геоинформационная система состоит из пяти основных компонентов:

- аппаратные средства (Hardware);
- программное обеспечение (Software);
- данные (Data);
- исполнители;
- методы.

А п п а р а т н ы е с р е д с т в а представляют собой различные типы компьютеров. Это могут быть отдельные персональные компьютеры и связанные в единую сеть, посредством мощного сервера.

Программное обеспечение ГИС позволяет выполнять различные операции по вводу, хранению, анализу и визуализации пространственной информации. Программы включают отдельные составляющие: модуль ввода картографической информации и действий с ней; систему управления базой данных; программу запроса пространственной информации, её визуализации и анализа, графический пользовательский интерфейс для оперативного доступа к хранящейся информации. В некоторых ГИС используется дополнительное программное обеспечение для решения специальных задач, например, для автоматического проектирования или тематического углубленного статистического анализа.

Данные, хранящиеся в информационной базе, являются наиболее важным компонентом ГИС. Прежде всего, это планово-картографическая основа, получаемая пользователем с помощью программного обеспечения самой ГИС или приобретённая у других производителей данной продукции. Создание планов и карт в рамках самой ГИС может осуществляться по материалам наземной геодезической съёмки или фотограмметрическим методом, по аэро- и космическим снимкам. Смысловую и статистическую информацию получают из соответствующих организаций и подразделений в виде отчётов, таблиц, картограмм и т.п. При работе со снимками основную информацию получают в процессе дешифрирования. В ГИС объединяются данные о пространственном положении объектов с атрибутивной информацией о них, при этом существующие в её среде системы управления базой данных (СУБД) позволяют систематизировать сведения, управлять информационными потоками и использовать их для решения конкретных задач.

Исполнители, работающие с программными средствами ГИС, разрабатывают стратегию оптимального использования возможностей системы при реализации поставленной задачи. Квалификация исполнителей определяется знаниями компьютерных технологий, аэро- и космической съёмки, фотограмметрии и дешифрировании, геодезии, картографии и в направлениях областей исследования, например землеустройстве, кадастре или планировке населенных пунктов.

Методы представляют собой сочетание оптимально составленного плана работы, соответствующего специфике конкретной решаемой задачи и возможностями геоинформационной системой. Выбор метода, строгость его организации и исполнения определяет успех и эффективность применения ГИС.

Как уже рассматривалось ранее, современные геоинформационные системы, как правило, имеют подсистемы обработки аэро- и космических фотографических или нефотографических (радиолокационных и тепловых) снимков. Получаемые в результате ортофототрансформирования изображения являются основой для создания базовых топографических планов и карт, которые в свою очередь представляют собой в ГИС базу для пространственного размещения информации. Преобразование цифровых изображений может выполняться не только в прямоугольную систему координат, но практически в любую из применяемых в картографии. В процессе создания ортофото-

изображений программными средствами улучшается качество изображений: производится выравнивание по оптической плотности, повышается проработка деталей в тенях, изменяется контрастность изображений, изменяется цвет изучаемого класса объектов и т.п. Улучшение качества изображения способствует повышению точности фотограмметрической обработки и интерпретации изображений.

ГИС могут быть специального назначения для решения довольно узкого тематического круга задач или многофункциональные, применяемые для сбора, анализа информации и составления оптимальных проектов широкого спектра человеческой деятельности.

4.8. Понятие о 3D изображении

Цифровую модель местности можно визуализировать в виде традиционного планово-картографического материала, а также в виде трёхмерного пространственного изображения, так называемого 3D изображения. (3-dimensional (англ.) – трёхмерный).

В современном понимании 3D изображение – это изображение трёхмерных объектов на плоскости, дающее максимально возможное представление об их пространственных формах и размерах. Существует большое разнообразие проекций (ортогональная, аксонометрическая, изометрическая и др.), позволяющих изображать пространственные объекты на плоскости.

Привычной для человеческого восприятия является центральная проекция, поскольку изображение окружающего нас мира строится на сетчатке глаза человека именно по законам центральной проекции, которую иначе называют перспективой. Как уже рассматривалось в части 2, законы перспективы позволяют нам судить о глубине пространства. Более удалённые объекты изображаются мельче, чем находящиеся вблизи, к тому же могут быть частично или полностью ими закрыты.

Примером изображения трёхмерных объектов на плоскости в центральной проекции является фотоснимок этих объектов, полученный кадровым фотоаппаратом. Удачно выбранный ракурс, т.е. точка фотографирования и угол зрения, позволит извлечь максимум информации о форме, размерах и взаимном расположении объектов.

Современные технологии цифровой обработки аэрофотоснимков позволяют получать визуализированное изображение местности, аналогичное фотографическому, в любом ракурсе.

3D изображение создаётся на основе ранее построенной цифровой модели рельефа и ортофотоснимков. 3D изображение можно назвать макетным фотоснимком, поскольку его получают не фотографированием, а компьютерной графикой.

3D изображения позволяют осуществлять трёхмерную интерполяцию какого-либо признака. Исходной информацией для трёхмерной интерполя-

ции служит нерегулярная сеть пунктов, в которых проведены измерения некоторого признака (уровня кислотности почв, содержания СО в воздухе и т.п.). Программа интерполяции создаёт математическую модель поведения исследуемого признака на заданном участке. С помощью данной модели рассчитываются наиболее вероятные значения признака в любой точке пространства, формируются изоповерхности, представляющие собой геометрические места точек с одинаковыми значениями признака.

Кроме того, 3D изображения дают возможность построить любое сечение: горизонтальной, вертикальной или иной плоскостью. Также возможно построение сечения произвольной поверхностью. Подобные построения позволяют исследовать поведение интерполируемого признака на данных сечениях.

3D изображения широко используют в городском кадастре и градостроительстве, экологическом мониторинге, при изучении эрозионных процессов, при рекультивации нарушенных земель, т.е. в тех областях, где измерения проводятся в трёхмерном пространстве.

4.9. Мониторинг недвижимости дистанционными методами

4.9.1. Характеристика подсистем мониторинга объектов недвижимости

Система мониторинга недвижимости в общем виде состоит из назёмной, авиационной и космической подсистем. При мониторинге недвижимости каждая из подсистем обеспечивает получение определённой информации, соответствующей тематики, геометрической и смысловой точности. Решение комплексных задач может решаться при использовании комбинаций соответствующих подсистем.

К о с м и ч е с к а я п о д с и с т е м а используется для федерального регионального мониторинга земель на территориях площадью тысяча и более квадратных километров. Состоит из:

- космических летательных аппаратов;
- бортовой аппаратуры дистанционного зондирования;
- средств передачи информации, получаемой при зондировании;
- средств приёма, регистрации и хранения информации на специальных пунктах, расположенных на Земле;
- технических и программных средств отраслевой и межотраслевой обработки получаемой информации.

В космической подсистеме используются КЛА, съёмочные и технические средства, разрабатываемые специально для решения задач государственного мониторинга земель и экологического мониторинга территорий. Также могут использоваться спутники и бортовая аппаратура, принадлежащие различным другим ведомствам. Для обеспечения комплексного многоцелевого мониторинга земель на борту космического аппарата устанавлива-

ются несколько съёмочных систем, работающих в различных спектральных зонах: фотоаппаратура, многозональные сканеры, радиолокаторы и другие.

Для реализации космического мониторинга земель разрабатывается комплексный план космических съёмок, включающий следующие сведения: тип используемого космического летательного аппарата; типы съёмочных систем, требуемая периодичность съёмок; объекты съёмки с указанием географических координат границ. План космических съёмок формируется на основе заявок, поступающих от фирм и организаций, осуществляющих мониторинг земель.

А в и а ц и о н н а я п о д с и с т е м а используется для проведения мониторинга на региональном и локальном уровнях.

Съёмки проводятся с высотных (тяжёлых), средневысотных и низколетающих (лёгких) воздушных аппаратов.

Высотные летательные аппараты: ТУ-134СХ, АН-30, ИЛ-20 и другие средства, применяются при съёмке достаточно больших площадей. Они оборудованы комплексами автоматического самолётовождения, использующие для навигации данные GPS аппаратуры. Самолёты подобного класса, представляют собой летающие лаборатории, на которые устанавливается комплекс различной аппаратуры дистанционного зондирования.

Например, с самолета ТУ-134СХ может выполняться съёмка:

многозональной сканерной системой, обеспечивающей получение информации в цифровом виде в нескольких спектральных зонах (в том числе и тепловом интервале);

радиолокационной станцией бокового обзора «Нить-С1СХ» - длина волны радиоизлучения 3см, полоса обзора земной поверхности с высот съёмки 3,5 и 6,5 км соответственно 15 и 37,5 км, масштабы радиолокационных изображений 1:М=1:100000-500000;

аэрофотоаппаратами типа ТАФА-10, MRB, многозональной аэрофотокамерой МСК-4 и другими.

Средневысотные самолёты АН-2, АН-28, ВСХС и другие используются для проведения аэрофотосъёмки, аэровизуальных наблюдений, съёмок с использованием видеоаппаратуры.

Низколетающие летательные аппараты используются для проведения локального мониторинга земель. В настоящее время широко применяются мотодельтопланы и беспилотные дистанционно управляемые ЛА. Например, на малом дистанционно управляемом летательном аппарате (МДПЛА) устанавливаются съёмочные системы для регистрации пассивного излучения в спектральном интервале (0,5-14 мкм).. Также проводится аэрофотографирование в крупных масштабах малыми аэрофотоаппаратами типа АФА-39 или цифровыми профессиональными камерами.. Управление полётом и съёмкой выполняется на высоте до 3000м и крейсерской скорости ЛА до 100-110 км/час. Навигация обеспечивается установкой на ЛА компактных спутниковых систем позиционирования..

Подсистема наземных наблюдений предназначена для сбора наземной информации, обеспечивающей систему мониторинга земель. Функции данной подсистемы заключаются в следующем:

определение основных показателей и характеристик категорий земель, сбор информации о состоянии земель для решения тематических задач;

обеспечение дистанционного мониторинга земель опорной информацией для организации баз данных. Данная информация используется при обучении интерпретационных систем (автоматизированный метод дешифрирования). Выполняется оценка дешифрирования материалов аэро- и космических съёмки.

калибровка технических средств дистанционного зондирования, учёт влияний атмосферы, географическая (геодезическая) привязка материалов аэро- и космических съёмки, организация пунктов первичной обработки данных, подготовка экспресс- информации.

Сбор наземной информации производится непосредственно на объекте изучения (полевой способ) или в лабораторных условиях (камеральный способ). Состав показателей и методики наземных наблюдений основаны на специфике объектов мониторинга и предусматривают информационное обеспечение органов земельного кадастра и управления земельными ресурсами. Показатели определяются с учётом дальнейшей обработки материалов дистанционного зондирования и содержания необходимых тематических сведений для земельно-кадастровой службы.

Наземные наблюдения проводятся на тестовых участках, соответственно локального, регионального и федерального значения. Основным критерием выбора тестового участка (полигона) является представительность (репрезентативность) объектов, гарантирующая достоверность получаемой информации. Тестовые участки выбираются на основании изучения многолетних статистических данных: климатических показателей, категорий земель и состояний земельного фонда, наличия и интенсивности эрозии, заболачивания, засоления, загрязнения почв, размещения транспортных и промышленных предприятий, состояния водных объектов и т.п. Район, располагающий группой представительных тестовых участков, определяется как базовый.

4.9.2. Общие вопросы технологии мониторинга недвижимости дистанционными методами

Методика мониторинга земель может быть представлена в виде определённых последовательных действий отвечающих смыслу понятия «мониторинг» - периодическое, с некоторым временным интервалом, получение информации об изучаемом объекте или явлении, анализе и прогнозировании его развития. Полученные данные учитывают при разработке управленческих и технических мероприятий.

Проведение мониторинга земель включает несколько укрупнённых процессов, обеспечивающих получение необходимой информации: разработка общей стратегии исследования; сбор фоновых материалов; выбор про-

граммного и технического комплекса; получение периодических материалов дистанционного зондирования; сравнение, анализ и прогнозирование изучаемых объектов и явлений.

Разработка общей стратегии исследования является подготовительным этапом мониторинга земель. На район изучения производится подбор всех фондовых материалов, включая, материалы аэро- и космических съёмок прошлых лет, планово-картографический материал, результаты различных обследований территории, статистический материал и т.п. На основе анализа фондовых данных выявляется динамика изменений объекта исследования, что позволяет определить оптимальную периодичность проведения съёмок. Иерархический уровень мониторинга (федеральный, региональный или локальный) предъявляет требования к точности и генерализации конечной информации. Определяется способ дистанционного зондирования (наземный, авиационный или космический) и тип съёмочной аппаратуры.

Задачи, решаемые при мониторинге земель, относятся к разряду создания различных тематических информационных слоев, т.е. созданию информационной земельно-кадастровой базы данных. Эффективность процедур работы с огромными количествами получаемой информации, доступность к этой информации, возможность её визуализации, обмена внутри базы и экспорта – импорта в другие информационные системы и т.п. определяет выбор конкретной, используемой при данном мониторинге геоинформационной системы.

Производство наземных, аэро- или космических съёмок является наиболее важным этапом мониторинга земель. Съёмки производятся в определённые на подготовительном этапе периоды времени. Космические съёмки выполняются на основании заявок, в которых помимо дат съёмок указывается тип используемой аппаратуры, спектральная зона съёмки, формат представляемых результатов и т.п. Наземные и воздушные съёмки проводят специализированные фирмы и предприятия, в соответствии с разработанными техническими заданиями в целях мониторинга земель.

Материалы аэро- и аэрокосмических съёмок в основном представляют собой двумерные изображения, полученные фотографическими и нефотграфическими съёмочными системами. Изображения подвергаются фототрической обработке и дешифрированию, с целью получения топографических и тематических планов, карт заданных масштабов, а также их электронных аналогов в ГИС в виде соответствующих геоинформационных слоёв. Результаты определений характеристик земель, полученных специальной измерительной аппаратурой, наносятся на топографическую основу для пространственной привязки. По нанесённым данным выделяются границы распространения изучаемого параметра земель.

Используя фондовые материалы и материалы новых съёмок, программными средствами ГИС производится сравнение разновременных данных. В результате их анализа выявляются изменения в положениях границ, площадей, качественного состава, использования и правового статуса

категорий земель. Особо выделяются экологические изменения земель, вызванные техногенными процессами.

В таблице 4 приведена общая схема мониторинга земель по данным аэро- и космических съёмов.

Таблица 4

Общая схема мониторинга земель по данным аэро- и космических съёмов

Этапы технологической схемы мониторинга	Основные операции	Содержание операций
Подготовительный этап	Разработка основных технологических циклов	Оценка состояния и динамики изменения категорий земель. Выбор условий проведения съёмов, типа и параметров съёмочных систем
Проведение аэро- и космических, наземных съёмов	Получение двух-, трёх-Мерных изображений, результатов измерений	Первичная обработка результатов съёмов.
Наземное обеспечение Дистанционного мониторинга	Выбор тестовых участков	Получение количественных характеристик категорий земель
Получение метрической и смысловой информации	Ввод растровых и векторных изображений фотограмметрическая обработка, дешифрирование изображений	Трансформирование изображений в заданную проекцию, получение семантической информации
Сопоставление фондовых и новых данных	Сравнение растровых, векторных изображений и данных наземных наблюдений. Количественная оценка связи метрической информации и данных наземных наблюдений	Синтезирование разновременной информации. Выявление изменений метрических и качественных характеристик, правового положения земель. Статистический анализ взаимосвязи наземных и дистанционных данных
Формирование выходных данных и документов	Вывод цифровых моделей местности, электронных ортофотопланов, геоинформационных слоёв, текстовых, табличных и графических материалов; Формирование базы данных	Хранение разновременной информации тиражирование электронных и твёрдых копий

Экстраполяция полученных результатов позволяет осуществлять **прогнозирование** динамики изучаемых процессов.