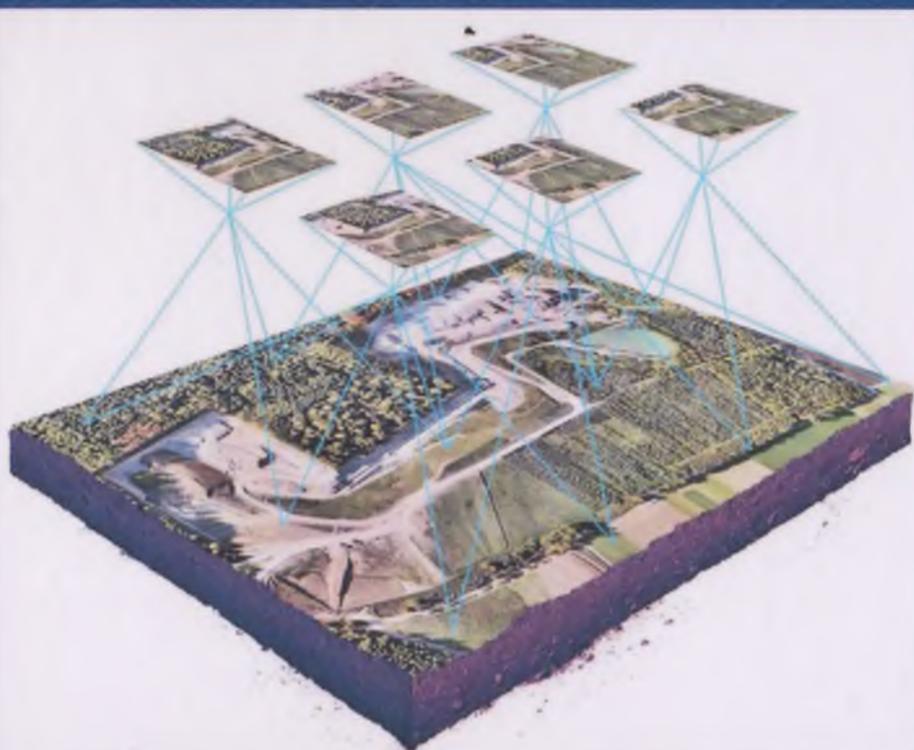


О.Г. Щукина

# ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УЧЕБНИК



26.1.98  
У-91  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УЗБЕКИСТАНА

ЩУКИНА О.Г.

**ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ  
И ДИСТАНЦИОННОЕ  
ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ**

5311500-Геодезия, картография и кадастр (по отраслям)

Ташкент  
“Shafoat Nur Fayz”  
2021

**УДК 528.71:004(07)**

**ББК 26.12я7**

**Щ 91**

**Шукина О. Г.**

Цифровая фотограмметрия и дистанционное зондирование земли [Текст]: учебник / О.Г. Шукина. - Ташкент: "Shafoat Nur Fayz", 2021. - с. 216.

Данный учебник написан в соответствии с типовой программой курса «фотограмметрия и методы дистанционного зондирования Земли» для студентов направления образования «геодезия, картография и кадастр» и посвящен цифровой фотограмметрии, науке, изучающей цифровые способы определения пространственного положения, формы и размеров объектов по их цифровым фотографическим изображениям, основная задача которой заключается в установлении математической зависимости между координатами объекта на местности и координатами этого же объекта на двух или более снимков.

**Ответственный редактор:**

**Мубараков Х.-** к.т.н., доц. кафедры «Геодезия и геоинформатика» НУУз

**Рецензенты:**

**Мусаев И.М.** – к.т.н., доц. кафедры «Геодезия и геоинформатика» ТИИИМСХ

**Мирмахмудов Э.Р.** - к.ф.-м.н., доц. кафедры «Геодезия и геоинформатика» НУУз

Учебник рекомендован к изданию решением Научно методического совета Национального Университета Узбекистана им. Мирзо Улугбека от

**ISBN 978-9943-7604-3-1**

© О.Г. Шукина 2021 г.

© Изд. "Shafoat Nur Fayz" 2021 г.

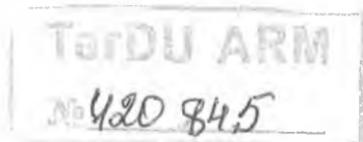
## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время, в процессе перестройки аэрофото-геодезического производства, большое внимание уделяется развитию цифровых методов создания карт, планов, ортофотопланов с привлечением современных компьютерных технологий, технических средств и аэрокосмической информации.

В результате бурного развития цифровых технологий выявлены основные достоинства цифровой фотограмметрии, которые отображены в данном учебнике.

В данной работе систематизировано представлены теория и технология создания карт, планов, ортофотопланов с использованием современных технических средств и цифровых аэрофототопографических фотокамер, которые позволяют получить высококачественные аэрофотоснимки, полученные с различных летательных аппаратов. Подробно рассмотрена технология обновления устаревшей картографической основы методами цифровой фотограмметрии.

Дано подробное описание цифровых фотограмметрических станций как отечественного, так и западного производства, их роль и преимущество перед аналоговой фотограмметрией, а также рассмотрены современные ГИС технологии в цифровой фотограмметрии, на примере ГИС Карта Рапогата.



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в процессе перехода всего аэрофотогеодезического производства на цифровые технологии и цифровые методы обработки как аэрокосмической информации, так информации, полученной с беспилотной летательной аппаратуры, большое внимание уделяется развитию цифровых методов картографирования территории.

Цель данного учебника состоит в изучении и освоении студентами теоретических основ и приобретения практических навыков по использованию современных цифровых методов и цифровых технических средств фотограмметрии применительно к получению топографической информации о местности.

Цифровая фотограмметрия понимается как новое направление в фотограмметрии, которое основывается на цифровых изображениях, в отличие от общеизвестной фотограмметрии, базирующейся на фотоснимках.

В отличие от аналоговой и аналитической фотограмметрии в цифровой фотограмметрии метрическая и семантическая информация для сфотографированного объекта выводится не по фотографическому изображению при помощи измерений аналоговой или аналитической аппаратурой, а по цифровому изображению, введённому в компьютер и полученному непосредственно цифровой камерой или путем сканирования снимка, полученного фотокамерой. Системы (оборудование и программное обеспечение), применяемые в цифровой фотограмметрии, обеспечивают не только измерительные процессы, но и могут заменить традиционное фотограмметрическое оборудование, такое как, например: устройство для маркировки и перенесения опорных точек на фотоснимки; моно или стереокомпараторы; аналоговые или аналитические стереоаппараты.

Системы, применяемые в цифровой фотограмметрии, позволяют полностью выполнять или обеспечивать выполнение фотограмметрических процессов, включая: фототриангуляцию; создание модели рельефа или местности; составление элементов ситуации; картографические и репродукционные задачи; издание карт. Таким образом, цифровые системы позволяют выполнять все процессы создания карт после проведения соответствующих предварительных работ (аэросъёмка и определение координат опорных пунктов).

Цифровые технологии, ставшие одной из примет современности, все глубже проникают в различные сферы человеческой деятельности. Не могли они не затронуть и аэросъёмку. Цифровые аэрокамеры заняли прочные позиции в перечне продукции многих производителей. Использование таких камер не только удобно, но в ряде случаев экономически оправдано, хотя и имеет свою специфику.

Цифровая фотограмметрия будет расширять пределы применения фотограмметрического продукта вследствие легкости обработки и использования готовых компьютеров.

Будущее, несомненно, за цифровой фотограмметрией, которая во многих странах полностью заменила аналоговую, а в некотором смысле и аналитическую фотограмметрию. Цифровая фотограмметрия утвердилась как производственная технология.

## Глава 1.

# ПОНЯТИЕ О ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

### 1.1. Фотограмметрия и области её применения

Фотограмметрия позволяет определить по снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, а также его площадь, объём, различные сечения на момент съёмки и изменения их величин через заданный интервал времени. Название дисциплины происходит от греческих слов *photos* (свет), *gramma* (запись) и *metreo* (измеряю), что в вольном переводе означает измерение изображений объектов, записанных с помощью света. Если хотят подчеркнуть, что при измерении использовалось объёмное изображение объекта, то на основе греческого слова *stereo* (пространственный) такие измерения называют стереоскопическими или стереофотограмметрическими. Фотограмметрическая обработка снимков имеет следующие преимущества:

1) большая производительность труда благодаря тому, что измеряются не сами объекты, а их изображения. По снимкам объекта можно получить цифровую информацию о нём такой густоты, какой практически невозможно достичь при непосредственных промерах;

2) высокая точность измерений, т.к. съёмка объектов выполняется прецизионными фотокамерами, и снимки обрабатываются строгими методами с помощью компьютеров;

3) цифровую и графическую информацию об объекте можно получить, не вступая с ним в контакт, когда объект недоступен для человека или находится в среде, опасной для его жизни;

4) возможность получения в короткий срок информации о состоянии всего объекта и отдельных его частей;

5) возможность изучения не только неподвижных, но и движущихся объектов, а также скоротечных или медленно проходящих процессов;

6) оператор-фотограмметрист находится в благоприятных для человека камеральных условиях. Фотограмметрия имеет тесные связи с другими дисциплинами - математикой, программированием, геодезией, картографией, электронной техникой, точным приборостроением, авиацией, космонавтикой, физикой, химией.

Фотограмметрию используют в различных областях науки, техники и производства, например:

- для определения деформаций сооружений и их отдельных частей, происходящих в ходе эксплуатации и с течением времени;

- для определения характеристик движущихся объектов;

- при изысканиях железных и автомобильных дорог, трасс трубопроводов, линий электропередач и других линейных объектов;

- при гидротехнических, гляциологических, геологических, географических изысканиях и исследованиях;

- при реставрации памятников архитектуры, скульптурных монументов, уникальных предметов; - для фиксации и составления плана дорожно-транспортного происшествя или места преступления;

- для определения по снимкам, полученным в электронном микроскопе, характеристик микрорельефа;

- для лечения сетчатки глаз и установки контактных линз, изготовления зубных протезов, изучения внутренних органов человека и его внешней формы;

- при пошиве одежды с учётом индивидуальных особенностей строения тела человека; - в военно-инженерном деле по снимкам определяют координаты ориентиров и целей, траекторию, скорость и другие параметры полёта снаряда, ракеты и других летящих объектов, составляют цифровые

модели местности для обеспечения полёта низко летящих ракет и летательных аппаратов;

- снимки, полученные с искусственных спутников Земли, используют для составления прогнозов погоды, научного прогнозирования месторождений полезных ископаемых, изучения океанов и морей, определения характеристик снегового покрова, анализа сельскохозяйственного производства и охраны природной среды.

- широкое применение фотограмметрия получила при картографировании поверхности Земли, Луны, Венеры, Марса и других небесных тел. Можно привести и другие примеры использования фотограмметрии.

## 1.2. Основные события в фотограмметрии

Появлению фотограмметрии предшествовал многовековой период возникновения и совершенствования графического способа получения перспективных изображений местности и преобразования их в план. Для этого использовалась камера-обскура (темная), являвшаяся прообразом фотокамеры. Описания работы с ней имеются в трудах Леонардо да Винчи (Leonardo da Vinci, 1500 г.) и немецкого астронома и математика И.Кеплера (J.Kepler, 1611 г.). Для удобства работы на свету была разработана камера-клара (светлая). Швейцарец М.А.Каппелер (M.A.Cappeler) в 1725 г. нарисовал две панорамные картины с целью составления карты горного массива Пилатус. Для этого он впервые использовал принцип пространственной засечки, названной впоследствии фотограмметрической. В 1759 г. немецкий математик И.Г.Ламберт (I.H.Lambert), используя принцип пространственной засечки, изложил теоретические основы перспективных изображений объектов. В 1791-1793 гг. на основе этих разработок французский гидрограф Ш.Ф.Ботан-Бопре (Ch.F.Beautemps-Beaupre) провел съёмку камерой-клара тер-

риторий Вера Круз и Ван Дименсленд и составил планы с помощью разработанного им способа иконометрии (от греческого слова *eikon* - изображение). Однако требовался способ закрепления для длительного хранения изображения, полученного в камере-обскура. В 1839 г. француз Л.Ж.Дагер (L.J.Daguerre) и англичанин Ф.Талбот (F.Talbot) объявили о разработанных ими способах получения фотоизображений в камере-обскура, а английский астроном Д.Гершель (J.Herschel) впервые применил термин фотография. Дальнейшие достижения в фотографии и создании мобильных фотокамер открыли дорогу появлению фотограмметрии.

В 1852 г. французский топограф, инженер-майор Эме Лосседа (Aime Laussedat) первым в мире выполнил фотосъёмку местности с целью создания по снимкам её плана. С этого года начинается история фотограмметрии, хотя это название появилось позже. Т.к. съёмка производилась для топографических целей, её называли фототопографической. В 1858-1859 гг. под руководством Э.Лосседа с учётом набранного опыта была изготовлена первая в мире съёмочная система, приспособленная для наземных фототопографических съёмок и названная фототеодолит. Его конструкция представляла собой сочетание фотокамеры и теодолита. В 1858 г. французский фотограф Ф.Турнашон (F.Tournachon), публиковавший свои статьи под псевдонимом Надар (Nadar), первым в мире выполнил фотосъёмку местности с воздушного шара. Он взял привилегию на воздушную фотосъёмку с целью определения границ земельных участков. Однако, столкнувшись со сложностями преобразования снимков в план, ограничился выполнением и рекламированием воздушной фотосъёмки. В 1858 г. немецкий архитектор А.Мейденбауэр (F.Meydenbauer) использовал фотосъёмку для составления планов зданий и тем самым положил начало прикладному применению фотограмметрии, в данном случае в архитектуре. Он же в 1867 г. пред-

ложил название фотограмметрия. В России 18 мая 1886 г. первую фотосъёмку с воздушного шара произвел поручик А.М.Кованько (впоследствии генерал-лейтенант). В этом же году В.И. Срезневский создал первый в России фотоаппарат, предназначенный для воздушной фотосъёмки и являющийся прототипом аэрофотоаппарата. Этим фотоаппаратом 6 июля 1886 г. Л.Н.Зверинцев произвел фотосъёмку с воздушного шара, управляемого А.М. Кованько. Они пролетели от Санкт-Петербурга до Кронштадта и отметили возможность изучения по воздушным фотоснимкам рельефа дна. В 1887-1889 гг. немецкий профессор К. Коппе (С.Корре) создал фототеодолит, у которого впервые в мире на прикладной рамке были установлены координатные метки, которые закрепили на снимке координатную систему. В начале 90-х годов 19 века инженер-поручик В.Ф.Найденов (впоследствии полковник, профессор Военно-инженерной академии (ВИА)) начал проводить работы с целью созданию планов местности по воздушным фотоснимкам и в 1907 г. написал первый русский учебник "Измерительная фотография и применение её к воздухоплаванию". В 1891 г. инженер путей сообщений Н.О.Виллер впервые в России применил наземную фотосъёмку при изысканиях железных дорог на Кавказе. В 1892 г. немец Ф.Штольц (F.Stolze) предложил для стереоскопических измерений снимков способ мнимой марки, который впоследствии стали использовать в большинстве стереофотограмметрических приборов, в том числе и на современных цифровых фотограмметрических системах. В 1895-1896 гг. Ф.Н.Чернышев и академик Б.Б.Голицын провели наземные фототопографические съёмки на Новой Земле. В отчёте Б.Б.Голицын отметил, что по сравнению с мензульной съёмкой этот вид съёмки имеет преимущество во времени выполнения съёмки и в количестве измеряемых точек с одной постановки инструмента. В конце 1896 г. и начале 1897 г. инженер МПС Р.Ю.Тиле находился в заграничной командировке, в

которую его послали с целью изучения разработок в области фототопографии. Собранная информация была им издана в 1897 г. в трёх номерах журнала МПС, а затем в 1898 г. в брошюре "Практическая фототопография (фотограмметрия)". Сам Р.Ю.Тиле был назначен заведующим фототопографическими работами МПС. В 1908-1909 гг. он издал трёхтомную монографию "Фототопография в современном развитии", в которой впервые в России в единой связности описал историю развития фотограмметрии, её теоретические основы, съёмочное и обрабатывающее оборудование, применение фотограмметрии в различных областях деятельности человека. В 1898 г. для съёмки с воздушного шара поручик С.А.Ульянин создал фотокамеру под названием "телеаппарат", который в то время был наиболее совершенным и использовался в течение долгого времени. В 1901 г. научный сотрудник немецкой фирмы Carl Zeiss К.Пульфрих (С.Pulfrich) разработал конструкцию стереокомпаратора, который был первым и самым высокоточным оптико-механическим стереофотограмметрическим прибором в течение 20 века. Кроме того, было положено начало существованию стереофотограмметрии. В 1908 г. австрийский военный топограф Э.Орель (E.Orel) на основе стереокомпаратора разработал конструкцию первого стереофотограмметрического прибора для составления топографических карт по наземным фотоснимкам и дал ему название "автостереограф". В сотрудничестве с К.Пульфрихом прибор был усовершенствован и под названием стереоавтограф. Серийно выпускался фирмой Carl Zeiss в разных модификациях до 70-х гг. 20 века. В 1910 г. в России были выполнены первые опытные фотосъёмки с самолёта лётчиками Севастопольской школы; С.А.Ульянин создал первый в России фотоаппарат, предназначенный для съёмки с борта самолёта; С.М.Соловьев опубликовал брошюру "О стереофотограмметрии". В 1911 г. прошли первые испытания и с 1913 г.

началась эксплуатация первого в мире полуавтоматического плёночного аэрофотоаппарата полковника В.М.Потте. Конструкция этого аэрофотоаппарата была в то время лучшей в мире, и у нас он использовался до конца 20-х гг. В 1915 г. в Германии М.Гассер (M.Gasser) сконструировал двойной проектор, который был первым фотограмметрическим прибором для создания топографических планов и карт по аэрофотоснимкам. Однако он не нашел применения, т.к. не было использовано стереоскопическое наблюдение и измерение снимков. Этот прибор положил начало созданию нового класса приборов - универсальных стереофотограмметрических приборов (УСП), которые позволяли оператору выполнить все процессы, связанные со съёмкой плановой и высотной частей топографической карты по аэроснимкам. В начале 20-х годов в Германии был создан автокартограф, у которого наблюдение и измерение снимков производились с использованием стереозрения. В 1917 г. в России Р.В.Животовский написал "Курс аэрофотограмметрии", что указывает на смену термина "воздушная фотосъёмка" на аэрофотосъёмку. В России в 1920 г. Н.М.Алексапольский начал чтение курса по фотограмметрии в Московском межевом институте (ММИ), а в 1921 г. на геодезическом факультете ВИА. В 1925 г. под руководством Н.М. Алексапольского в ММИ была организована кафедра фотогеодезии (с 1939 г. фотограмметрии). Он же с 1932 г. был первым начальником кафедры фотограмметрии в ВИА. Н.М. Алексапольский был энтузиастом внедрения аэросъёмки в топографическое производство и своими работами способствовал развитию контурно-комбинированной съёмки. Совместно с П.П.Соколовым Н.М.Алексапольский разработал фототрансформатор МГИ. В разработку теории фотограмметрии и фотограмметрического приборостроения, кроме упомянутых соотечественников, свой вклад внесли Ф.В.Дробышев, А.С.Скиридов, Н.Я.Бобир, Н.Н.Веселовский, Н.А.Урмаев, М.Д.Кон-

шин, Г.В.Романовский, А.Н.Лобанов, В.Б.Дубиновский, Р.П.Овсянников, Е.И.Калантаров и др.. Ф.В.Дробышев создал линейку для построения координатной сетки, стереометр для рисовки горизонталей по стереопаре, стереограф для создания топографических карт по стереопарам аэроснимков и другие приборы. А.С.Скиридов получил авторские свидетельства (1927, 1929, 1933 гг.) на автоматическое вычерчивание горизонталей путём сравнения перемены плотностей фотоизображений вокруг соответственных точек на левом и правом фотоснимках. Только появление компьютеров позволило решить данную проблему. Н.Н.Веселовский был в числе первых, кто выполнял опытные производственные работы по аэросъёмке городов в крупных масштабах. Разработанные в ходе выполнения всех этих работ методики легли в основу подобных последующих съёмок. Н.А.Урмаев в 1941 г. опубликовал "Элементы фотограмметрии", где изложил теорию фотограмметрии с использованием векторной алгебры. Эта работа, стала основой для написания учебников и монографий по фотограмметрии. Труды М.Д.Коншина способствовали разработкам теории и технологии дифференцированного метода создания топографических карт. Его теория обработки аэроснимков с преобразованными связками проектирующих лучей позволила создать в середине 50-х гг. отечественные УСП: стереопроектор (Г.В.Романовский, Е.И.Калантаров и др.), стереограф (Ф.В.Дробышев). А.Н.Лобанов, В.Б.Дубиновский, Р.П.Овсянников своими работами способствовали внедрению в нашей стране аналитических методов обработки снимков с использованием вычислительной техники. Г.В.Романовский и Е.И.Калантаров разработали автоматизированный стереокомпаратор СКА с инструментальной точностью 2 мкм. В 1957 г. канадский фотограмметрист Ю.В.Хелава (U.V.Helava) на 1-м Международном фотограмметрическом съезде предложил создать аналитиче-

ский фотограмметрический прибор. Первый в мире образец этого прибора, созданный фирмами OMI (Италия) и Bendix (США) под названием AP-1 (analytical plotter), был продемонстрирован в 1960 г. Конструкция прибора состояла из измерительного блока, в качестве которого был использован стереокомпаратор, компьютера и координатографа (графопостроителя). Программное обеспечение составил Ю.В.Хелава. Это было началом перехода фотограмметрии на использование компьютерной техники. В 90-е годы 20 века произошел полный переход на компьютерные технологии и цифровую обработку снимков, полученных различными съёмочными системами. Компьютер с программным пакетом полной обработки снимков стал цифровой фотограмметрической системой. Появился термин цифровая фотограмметрия и новые виды картодокументов - цифровая карта, цифровой ортофотоплан, цифровая модель местности, цифровая модель рельефа. Был создан высокоточный фотограмметрический сканер, преобразующий в цифровую форму снимки, полученные с помощью аналоговой фотокамеры, с сохранением их геометрических, фотометрических и точностных характеристик. Аналоговые фотокамеры уступают место цифровым фотокамерам, позволяющим вводить снимки в компьютер без использования сканера.

Цифровая фотограмметрия позволяет определить по цифровым снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, а также его площадь, объём, различные сечения на момент съёмки и изменения их величин через заданный интервал времени.

### **1.3. Понятие о цифровом изображении**

Цифровые изображения получают двумя способами, один из которых предполагает сканирование полученных в

процессе аэрофотосъемки аэронегативов, а второй – непосредственно во время аэрофотосъемки, с использованием цифровых съёмочных систем (сенсоров). В обоих случаях цифровое изображение формируется с помощью фотодиодов, либо приборов с зарядовой связью (ПЗС) в форме ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки с примерно одинаковыми техническими возможностями. При использовании ПЗС – матрицы кадр изображения формируется по схеме, аналогичной фотокамере, в фокальной плоскости которой, вместо фотопленки располагается ПЗС-матрица. Применение ПЗС – линейки предполагает сканирование местности или изображения параллельными маршрутами.

Сканирование фотоснимков выполняется с помощью оптико-электронных приборов – сканеров различных конструкций, из которых в топографо-геодезическом производстве применяются только фотограмметрические сканеры. Фотограмметрические сканеры предназначены для преобразования фотографического изображения снимка (негатив, диапозитив) в цифровое изображение.

В общем случае все изображения могут быть представлены в различных формах, в зависимости от способа их получения, принятой модели и структуры данных.

Аналоговая форма изображения предполагает его получение каким-либо образом на физическом носителе - на бумаге, фотобумаге, фотопленке и др. и используется с незапамятных времен. Во многих случаях такая форма является основной, особенно там, где важна юридическая значимость изображения, либо если оно необходимо для использования в нестационарных условиях. Ниже, на рис.1.1 показан фрагмент аэрофотоснимка, выполненного аналоговой АФА, где явно выражена зернистость изображения. Аналоговые аэрофотоснимки, как правило были черно-белые.



Рис.1.1 Фрагмент аэрофотоснимка, выполненного аналоговой АФА

Цифровая форма изображения возникла в связи с потребностью его представления в памяти электронных вычислительных машин. В настоящее время она является одной из основных и связана не только с хранением, но и получением и обработкой изображения (рис.1.2).



Рис.1.2 Фрагмент аэрофотоснимка, выполненного цифровой АФА.

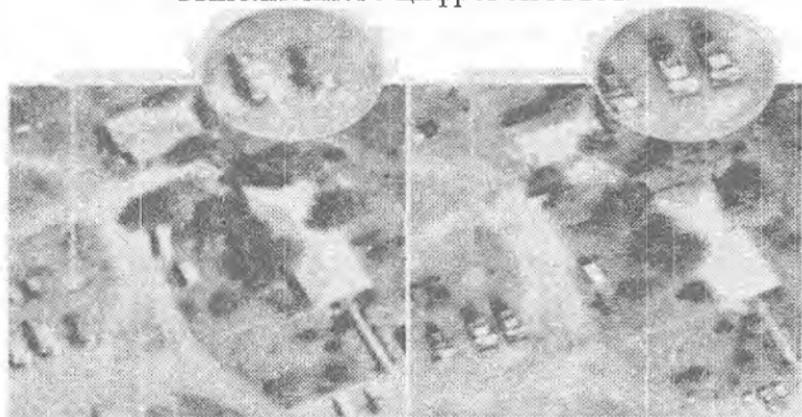


Рис.1.3 Фрагменты снимков, полученных цифровым (справа) и аналоговым аэрофотоаппаратом (слева) с близкими оптическими характеристиками

На примере выше показанных аэрофотоснимков, очень четко прослеживается качество изображения цифровых аэрофотоснимков, как цветного изображения, так и черно-белого.

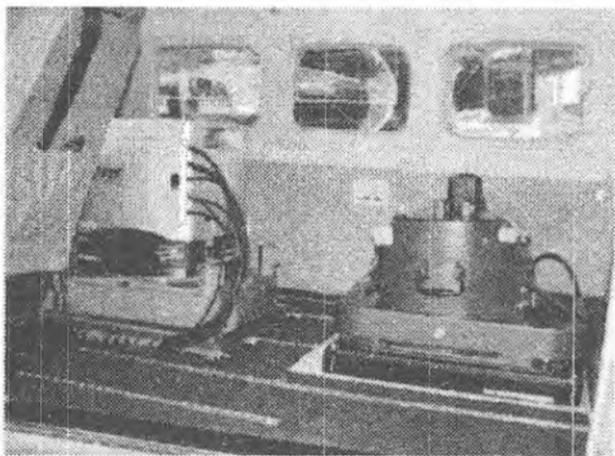


Рис.1.4 Цифровой (DMS II) и аналоговый (RC-30) аэрофотоаппараты с близкими оптическими и габаритными характеристиками

Цифровое изображение – это матрица чисел, каждый элемент которой соответствует значению яркости объекта на местности. Чтобы преобразовать аналоговое изображение в цифровое нужно выполнить его сканирование.

Векторная форма цифрового изображения находит применение в цифровой картографии; в фотограмметрии векторная форма цифрового изображения используется при создании цифрового оригинала.

Растровая форма цифрового изображения предполагает представления его в виде некоторой матрицы, соответствующей плоскости исходного изображения и состоящей из квадратных ячеек одинакового размера, являющихся наименьшими адресуемыми элементами. Каждый такой элемент, называемый пикселом (пикселем), соответствует определенному участку исходного изображения и характеризуется набором оптических параметров – цветом, яркостью и т.п.

В фотограмметрии под цифровым изображением понимают его растровую форму, полученную непосредственно в процессе съёмки с помощью цифровой камеры, либо путем сканирования соответствующего аналогового изображения (аэронегатива). На цифровых изображениях координаты измеряются в пикселах, а значит точность измерений будет зависеть от размера пиксела. Размер пиксела – разрешающая способность цифрового изображения. Растровое изображение характеризуется геометрическим и радиометрическим разрешением.

Геометрическое разрешение цифрового изображения определяет линейный размер пиксела и представляется либо его линейной величиной (в метрах, если размер отнесен к местности, или в мкм, если речь идет о снимке), или числом точек на дюйм (dpi). Величина геометрического разрешения определяет качество изображения, точность вычислительной обработки, возможности увеличения и др. В соответствии с требованиями действующей инструкции по фотограмметрическим работам размер элемента геометрического разрешения цифрового изображения, полученного путем сканирования аэронегатива, определяют с учетом нескольких критериев, в частности:

- требуемой точности определения плановых координат точек

$$\Delta x_y = 0.5 V_s M / m = 0,5 V_s / K t$$

- требуемой точности определения высот точек

$$\Delta z = 0.5 f V_z / (b m)$$

- сохранения разрешающей способности исходного снимка

$$\Delta r = 0.4 / R$$

- обеспечение требуемого разрешения графических ортофотопланов

$$\Delta p = 70 M / m = 70 / K$$

Где,  $M$  и  $m$  — знаменатели масштабов создаваемого плана и аэроснимка соответственно

$V_s, V_z$  — требуемая точность определения плановых координат и высот точек в метрах

$R$  — разрешающая способность исходного снимка (линий на мм)

$f$  и  $b$  — фокусное расстояние съёмочной камеры и базис фотографирования в масштабе снимка (мм)

значения  $V_s, V_z$  принимаются равными 0.2 мм в масштабе плана и 1/5 сечения рельефа соответственно.

При  $M=2000, m=10\,000, f=100\text{мм}, b=70\text{мм}$  при  $R=40$  линий на мм и  $h=1.0\text{ м}$  будем иметь:  $\Delta x_u=20\text{мкм}, \Delta z=14\text{ мкм}, \Delta r=10\text{мкм}, \Delta p=14\text{мкм}$ .

При учёте всех вышеперечисленных критериев сканирование следует выполнять с разрешением 10 мкм или 2600 dpi.

Радиометрическая характеристика определяет число уровней квантования яркости исходного изображения и фотометрическое содержание элемента изображения (одноцветное, полутоновое, цветное, спектральнозональное).

Для обозначения яркости элемента изображения весь диапазон полутонов от белого до черного делится на  $2^n$  частей (2, 4, 8, ..., 256, ...), называемых уровнями квантования. Радиометрическое разрешение изображения обозначают числом бит на пиксел (т.е. показателем степени  $n$ ).

В бинарном изображении используются два уровня квантования, и в нём представлены только белый и чёрный цвета. В полутоновом изображении используется 256 уровней квантования.

Цветное изображение формируется с использованием той или иной палитры путём смешивания основных и дополнительных цветов в пропорциях, соответствующих уровням их квантования. Цветные снимки земной поверхности создаются с использованием палитры RGB, в которой

цвета и их оттенки передаются путём смешивания трёх основных цветов: красного (RED), зелёного (Green) и синего (Blue). Так сочетание красного цвета с зелёным даёт жёлтый цвет, зелёного с синим – голубой, синего с красным – оранжевый, а всех трёх цветов – белый.

#### 1.4. Стереопара и стереоскопическая модель

Использование восприятия человеком глубины при наблюдении и измерении снимков основано на том, что снимки построены по тем же законам перспективной, центральной проекции, что и изображения на сетчатках глаз. Два снимка, на которых изобразился один и тот же объект, называют стереоскопической парой или сокращённо стереопарой.

Предположим, что из двух точек  $S_{Л}$  и  $S_{П}$  (рис. 1.5), отстоящих друг от друга на расстоянии, равном главному базису  $b_g$ , были получены снимки  $P_{Л}$  и  $P_{П}$  фотокамерой с фокусным расстоянием  $f$ , равным расстоянию наилучшего зрения  $d_0$ .

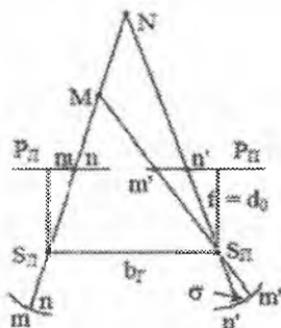


Рис.1.5

Если эти снимки установить перед глазами человека в такие же положения, в которых они находились во время съёмки, то точки снимков, являющиеся изображениями

Где,  $M$  и  $m$  знаменатели масштабов создаваемого плана и аэроснимка соответственно

$V_s, V_z$  –требуемая точность определения плановых координат и высот точек в метрах

$R$ - разрешающая способность исходного снимка (линий на мм)

$f$  и  $b$  –фокусное расстояние съёмочной камеры и базис фотографирования в масштабе снимка (мм)

значения  $V_s, V_z$  принимаются равными 0.2 мм в масштабе плана и 1/5 сечения рельефа соответственно.

При  $M = 2000, m = 10\ 000, f = 100\text{мм}, b = 70\text{ мм}$  при  $R = 40$  линий на мм и  $h = 1.0\text{ м}$  будем иметь:  $\Delta x_y = 20\text{мкм}, \Delta z = 14\text{ мкм}, \Delta r = 10\text{мкм}, \Delta p = 14\text{мкм}.$

При учёте всех вышеперечисленных критериев сканирование следует выполнять с разрешением 10 мкм или 2600 dpi.

Радиометрическая характеристика определяет число уровней квантования яркости исходного изображения и фотометрическое содержание элемента изображения (одноцветное, полутоновое, цветное, спектрзональное).

Для обозначения яркости элемента изображения весь диапазон полутонов от белого до черного делится на  $2^n$  частей (2,4,8,.....256,.....), называемых уровнями квантования. Радиометрическое разрешение изображения обозначают числом бит на пиксел (т.е. показателем степени  $n$ ).

В бинарном изображении используются два уровня квантования, и в нём представлены только белый и черный цвета. В полутоновом изображении используется 256 уровней квантования.

Цветное изображение формируется с использованием той или иной палитры путём смешивания основных и дополнительных цветов в пропорциях, соответствующих уровням их квантования. Цветные снимки земной поверхности создаются с использованием палитры RGB, в которой

цвета и их оттенки передаются путём смешивания трёх основных цветов: красного (RED), зелёного (Green) и синего (Blue). Так сочетание красного цвета с зелёным даёт жёлтый цвет, зелёного с синим – голубой, синего с красным – оранжевый, а всех трёх цветов – белый.

#### 1.4. Стереопара и стереоскопическая модель

Использование восприятия человеком глубины при наблюдении и измерении снимков основано на том, что снимки построены по тем же законам перспективной, центральной проекции, что и изображения на сетчатках глаз. Два снимка, на которых изобразился один и тот же объект, называют стереоскопической парой или сокращённо стереопарой.

Предположим, что из двух точек  $S_L$  и  $S_P$  (рис. 1.5), отстоящих друг от друга на расстоянии, равном главному базису  $b_g$ , были получены снимки  $P_L$  и  $P_P$  фотокамерой с фокусным расстоянием  $f$ , равным расстоянию наилучшего зрения  $d_0$ .

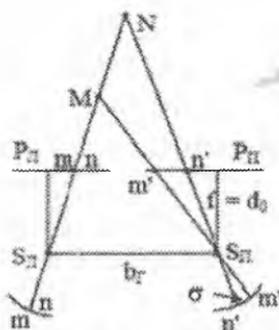


Рис.1.5

Если эти снимки установить перед глазами человека в такие же положения, в которых они находились во время съёмки, то точки снимков, являющиеся изображениями

точек (M, N) объекта, спроектируются на сетчатки глаз (m, n и m', n') человека так, как будто он наблюдает этот объект. Разные отстояния точек M и N вызывают взаимные смещения их изображений на снимках. Эти смещения (m'n') при рассматривании снимков преобразуются в физиологические параллаксы  $\sigma$ , по величине и знаку которых головной мозг строит объёмный образ сфотографированного объекта. Наблюдаемое объёмное изображение называют стереоскопической моделью или стереомоделью. Изображения точки объекта на левом и правом снимках называют соответственными точками. Например, изображения точки M - точки m и m', а изображения точки N - точки n и n'. Реальные условия получения снимков не соответствуют параметрам зрения человека. В результате стереомодель не будет подобна сфотографированному объекту. Её вертикальный масштаб 1:m<sub>v</sub> будет отличаться от горизонтального масштаба 1:m. Соотношение между масштабами определяется формулой:

$$\frac{m}{m_v} = \frac{250}{f}$$

Например, при фокусном расстоянии фотокамеры  $f = 100$  мм стереомодель будет вытянута вверх в 2,5 раза, а при  $f = 350$  мм будет сжата в 0,7 раз. Изменение увеличения наблюдательной системы не изменяет этот коэффициент, т.к. оно одновременно изменяет как горизонтальный, так и вертикальный масштабы. В то же время вытягивание рельефа на стереомодели облегчает его восприятие, а также съёмку рельефа. Другой особенностью стереомодели является то, что она вытягивается в сторону наблюдателя при перемещении головы человека влево-вправо относительно стереопары. Удаление (приближение) стереопары к глазам наблюдателя вызывает растяжение (сжатие) стереомодели. Небольшие развороты снимков относительно друг друга и относительно глаз человека приводят к наклонам и разворотам стереомодели в пространстве. Имеющиеся на снимках

смещения точек, вызванные наклонами снимков и другими причинами, приводят к деформации стереомодели. Суммируя сказанное, нужно отметить, что стереомодель не является строгим подобием сфотографированного объекта. Однако из-за того, что на плановых снимках смещения точек, вызванные разными источниками, имеют сравнительно малые величины, наблюдаемая по этим снимкам стереомодель даёт, в целом, верное представление о рельефе местности. Кроме термина стереомодель, используют другой термин – стереоэффект. Различают прямой, обратный и нулевой стереоэффекты. Прямой стереоэффект возникает при рассматривании левого снимка левым глазом, а правого – правым (рис. 1.6 а, перекрывающиеся части снимков покрыты сетчатым полем). Если снимки поменять местами (рис. 1.6 в), то физиологические параллаксы поменяют знак, и будет наблюдаться обратный стереоэффект, т.е., например, возвышенности будут восприниматься как углубления. Если оба снимка повернуть на  $90^\circ$  и сместить вверх-вниз относительно друг друга (рис. 1.6 б), то будет наблюдаться нулевой стереоэффект, т.е. два плоских изображения сольются в одно плоское. Это объясняется тем, что вдоль глазного базиса установятся ординаты точек, разности которых вызываются разными положениями снимков в пространстве, а не рельефом местности.

Измерения стереопары выполняют при прямом стереоэффекте. Обратный стереоэффект можно использовать при измерении узкой глубокой долины. В этом случае дно долины будет восприниматься как водораздел и чисто психологически марку будет легче наводить на него.

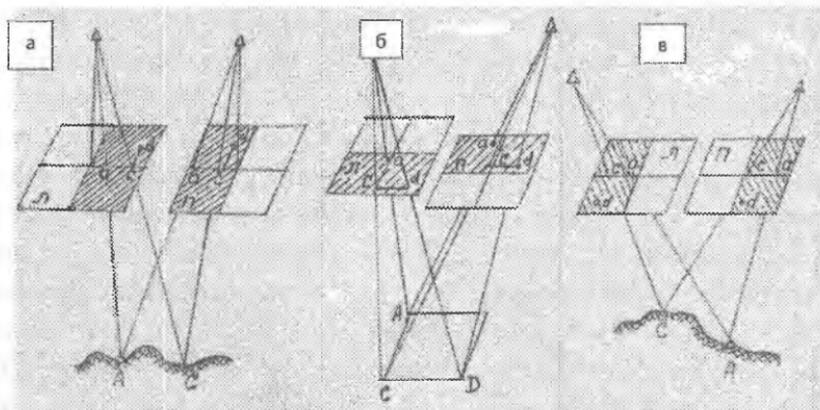


Рис. 1.6 Виды стереоэффекта

- а) прямой стереоэффект
- б) нулевой стереоэффект
- в) обратный стереоэффект

## 1.5. Наблюдения цифровых изображений

Одним из основных условий получения стереоэффекта является требование наблюдения каждого снимка только одним глазом. Пространственное восприятие местности при стереоскопическом рассматривании пары перспективных изображений (аэрофотоснимков), полученных с концов базиса, называется стереоскопическим эффектом, а воспринимаемая при этом мнимая поверхность местности называется стереоскопической моделью.

Как и в случае наблюдения аналоговых снимков, основными способами получения стереоскопического эффекта являются оптический, анаглифический, затворный и др., получившие в компьютерном исполнении новые возможности.

Их реализация учитывает ряд особенностей работы с цифровыми изображениями, в частности: простота геометрических и фотометрических преобразований, формирование изображения на экране монитора с покадровым или построчным режимом выводом, наличие видеопамати и др.

*Оптический способ* стереоскопических наблюдений предполагает вывод зоны стереонаблюдений левого и правого снимков соответственно в левую и правую части экрана. Оба изображения окрашены в естественные цвета, и для их рассматривания и получения стереоскопического эффекта нужно выполнить искусственное разделение соответственных лучей, что достигается применением специальной стерео-приставки, установленной перед монитором. Это обеспечивает возможность наблюдения стереоскопической модели местности и её измерения, минуя неизбежные потери света при использовании некоторых других способов и приспособлений.

*Анаглифический способ* стереоскопических наблюдений не предполагает наличия какого-либо специального оборудования в виде плат или адаптеров, и требует наличия лишь анаглифических очков.

Перекрывающие части левого и правого изображений, образующие зону стереоскопических наблюдений, окрашиваются в дополнительные цвета и выводятся на экран либо по строкам (чётные - левого снимка, а нечётные - правого), либо путём наложения левого на правое. Полученное на экране монитора совмещённое изображение рассматривается через анаглифические очки, стекла которых окрашены в те же цвета, что и соответствующие им изображения снимков. В результате наблюдатель видит пространственную модель местности.

*Затворный способ* получения стереоскопического эффекта основан на специфике представления изображения на экране монитора и предполагает применение специальных затворных (жидкокристаллических) очков с LCD- затворами различных типов, в которых стёкла становятся прозрачными поочередно, в соответствии со сменой видео страниц на экране монитора. Сущность способа заключается в следующем:

Изображения левого и правого снимков формируются на страницах видеопамяти и поочерёдно выводятся на экран монитора. Наблюдения выполняются через очки, представляющие собой пару плоскопараллельных пластин с заключённым между ними слоем жидкого кристалла, который при воздействии на него электрического импульса может изменять интенсивность проходящего через него света так, что в каждый момент времени наблюдатель воспринимает изображение на экране монитора только одним глазом, левым или правым. Смена страниц видеопамяти на экране монитора при помощи специального канала связи синхронизирована с изменением прозрачности пластин затворных очков, так что каждый глаз наблюдателя видит только одно изображение. Для смены прямого стереозффекта на обратный и наоборот нужно изменить фазу, управляющую последовательностью вывода страниц видеопамяти.

*Покадровый (page-flipping) режим* стереонаблюдений предполагает поочерёдный вывод на экран левого и правого изображений синхронно со сменой прозрачности пластин затворных очков, установленных перед левым и правым глазом. Вывод полных изображений обеспечивает получение более высокого качества стереоизображения, но требует для глаз достаточно высокой вертикальной частоты монитора (не менее 120 герц).

*Построчный (interlace) режим* стереонаблюдений предполагает деление кадра на два полукадра с чётными и нечётными строками соответственно. Правое и левое изображения стереопары выводятся на экран поочерёдно в чётном и нечётном полукадре, а синхронизируемые с вертикальной развёрткой монитора затворные очки позволяют наблюдать два изображения одновременно и таким образом проводить стереоизмерения. Необходимым условием комфортной для глаз работы в этом режиме является высокая вертикальная частота монитора (как минимум 75 герц на каждый глаз, т.е.

примерно 150 герц при переключении в интерлейс). Построчный режим применим только к экрану в целом, что приводит к некоторым неудобствам, например, при работе с меню. Другим недостатком является прореживание картинки и, как следствие, снижение разрешения с использованием полукадров.

## **1.6. Преимущества цифровой фотограмметрии**

Используя цифровые технологии в картографическом производстве при создании топокарт, планов, ортофотопланов, сокращается весь технологический процесс, начиная с аэрофотосъёмки, почти в три раза; отпадает необходимость всех фотолабораторных работ, а это в свою очередь ведёт:

- к сокращению расходов на фотоплёнку, химикаты;
- увеличивается производительность труда, так как изменяют не сами объекты, а их изображения, что является немало важным фактором;
- по снимкам объекта можно получить цифровую информацию о нём такой густоты, какой практически невозможно достичь при непосредственных промерах;
- отпадает возможность сканирования аналоговых аэроснимков (на что уходит большое количество времени);
- отсутствие деформации фотоматериала и связанных с ней геометрических искажений аэрофотоснимков;
- более высокое фотометрическое качество: проработка деталей в глубоких тенях;
- отсутствие необходимости внутреннего ориентирования снимков по координатным меткам при фотограмметрической обработке;
- возможность изучения не только неподвижных, но и движущихся объектов, а также скоротечных или медленно проходящих процессов;

-отсутствие следов механических повреждений и пыли на изображении;

-отпадает необходимость выделять большие помещения для хранения топографических основ, составленных на жесткой основе (это как правило карты на алюминиевой основе) хранятся такие карты на внешних носителях;

-возможность создавать любое количество копий;

-быстрое уничтожение таких карт (по сравнению с аналоговыми);

- оператор-фотограмметрист находится в благоприятных для человека камеральных условиях.

Цифровые методы фотограмметрических топографических съёмки на сегодняшний день являются самыми актуальными и прогрессивными методами, потому как это в первую очередь качество, автоматизация, надежность создаваемой продукции и объективность информации.

Применение дистанционных методов зондирования земной поверхности даёт возможность охватить большие по площади территориальные единицы и получить всю необходимую информацию обо всех объектах, находящихся на них. Наличие современных аппаратно-программных комплексов позволяет осуществлять высокоточные измерения по полученным данным.

Стремительный рост мощности вычислительной техники и развитие смежных технологий оказывает сильнейшее влияние на фотограмметрию. Согласно закону Мура мощность вычислительных машин в ближайшие 10 лет возрастет в 100 раз. За это время вырастут возможности получения, хранения, обработки растровых изображений. Возрастет точность инерциальных систем измерения, которая позволит проводить точную геопривязку снимков (внешнее ориентирование) без необходимости уравнивания блока, возрастет точность моделей рельефа, полученных непосредственно в полёте с помощью лазерных lidar технологий. ЦФС позволят

проводить большинство работ в полностью автоматическом режиме с минимальным вмешательством человека на стадии непосредственного контроля результатов.

## ГЛАВА 2. СИСТЕМА КООРДИНАТ И ЭЛЕМЕНТЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ СНИМКА

### 2.1. Элементы внутреннего ориентирования снимка

Началом пространственной прямоугольной системы координат кадрового снимка является центр проекции  $S$  (рис. 2.1). Измерения координат точек объекта на кадровом снимке выполняются в системе координат снимка, которая задается либо координатными метками на аналоговом снимке, либо системой координат матрицы цифровой фотокамеры. На аналоговом снимке (рис.2.1, а) четыре координатные метки располагаются либо посередине каждой стороны снимка, либо в его углах.

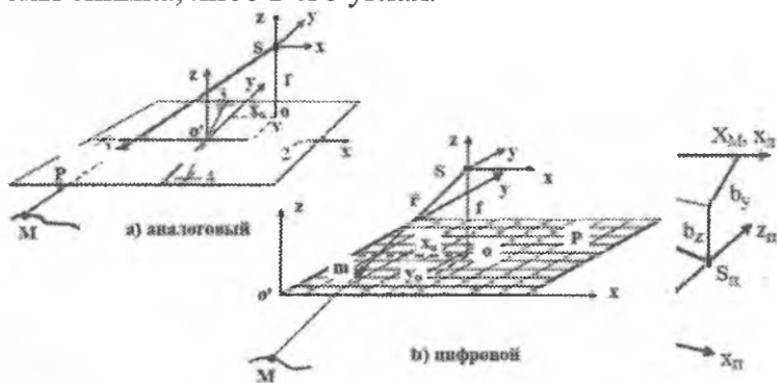


Рис.2.1

Координатные метки имеют вид креста или крестообразных штрихов с точкой посередине. Ось  $x$  снимка проходит через метки 1 и 2 и направлена вдоль полёта носителя. Началом системы координат служит точка  $o'$  пересечения оси  $x$  линией, соединяющей метки 3 и 4. Ось  $y$  проходит через точку  $o'$  перпендикулярно к оси  $x$ , а ось  $z$  - через точку  $o'$  перпендикулярно к плоскости  $xy$ .

Положительное направление оси  $x$  задают от метки 1 к метке 2, оси  $y$  - от метки 4 к метке 3, а оси  $z$  - вверх от плоскости  $xy$ . Для цифрового изображения метки не нужны, поскольку положение каждого пикселя определено в ортогональной системе координат матрицы  $o'xyz$  (рис.2.1,б). Две системы координат снимка  $Sxyz$  и  $o'xyz$  параллельны и имеют параметры смещения относительно друг друга:  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$ , где  $x_0$  и  $y_0$  координаты главной точки  $o$  в системе координат  $o'xyz$ , а  $f$  - фокусное расстояние фотокамеры. Параметры  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$  называют элементами внутреннего ориентирования снимка. Элементы внутреннего ориентирования определяют в процессе калибровки фотокамеры. Также в процессе калибровки определяют параметры дисторсии фотокамеры, которая характеризует нарушение ортоскопии при построении изображения. Дисторсия может быть задана в виде поправок или коэффициентов полинома. Поскольку элементы внутреннего ориентирования определяют в системе координат снимка  $o'xyz$  положение центра проекции  $S$ , т.е. положение точки через которую проходят все проектирующие лучи, то говорят, что элементы внутреннего ориентирования позволяют восстановить связку проектирующих лучей. Поскольку дисторсия описывает свойства проектирующих лучей, то и её также относят к элементам внутреннего ориентирования фотокамеры.

## **2.2. Особенности измерения координат точек на цифровом снимке**

Цифровое изображение представляет собой прямоугольную матрицу, каждый элемент которой – пиксель - имеет свое определенное положение, заданное номером столбца  $j$  и строки  $i$ , которые в силу своей прямоугольной структуры и задают систему координат цифрового изображения (рис.2.2, а). Эта система координат - левая. Начало коор-

динат находится в левом верхнем углу (точка  $c'$ ), где расположен нулевой пиксель.

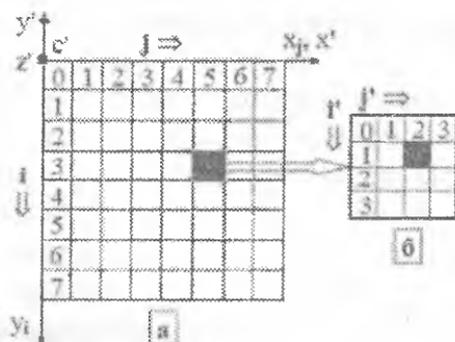


Рис.2.2

Ось  $x_j$  направлена вправо и вдоль неё идёт счёт столбцов  $j$ . Ось  $y_i$  направлена вниз и вдоль неё идёт счёт строк  $i$ . Координаты центра любого пикселя определяются так:  $x_j = j + 0,5$ ,  $y_i = i + 0,5$ , где  $j$  и  $i$  – номера столбца и строки матрицы цифрового изображения. Для закрашенного пикселя ( $j = 5$ ,  $i = 3$ ) координаты будут  $x_j = 5,5$  и  $y_i = 3,5$ . Для перехода от пиксельных координат к метрическим координатам нужно умножить пиксельные координаты на метрический размер пикселя  $\Delta$ , заданный при сканировании снимка или при изготовлении матрицы цифровой фотокамеры.

т.е.

$$x' = \Delta x_j \quad \text{и} \quad y' = \Delta y_i \quad (2.1)$$

Если  $\Delta = 10$  мкм, то метрические координаты закрашенного пикселя будут  $x' = 5,5 \times 10 = 55$  мкм и  $y' = 3,5 \times 10 = 35$  мкм. В ЦФС часто систему координат исходной матрицы цифрового изображения пересчитывают из левой системы в правую, перенося начало системы координат из левого верхнего в левый нижний угол. В результате оси метрических координат будут иметь направления: ось  $x_j$  - вправо, а ось  $y_i$  - вверх. В ЦФС измерения цифрового изображения выполняются на экране монитора путём позиционирования

измерительной марки на точку изображения. При выводе на экран цифрового изображения в масштабе 1:1 (такой вывод ещё называется истинный размер) пиксель исходного изображения совпадает с пикселем экрана монитора. В этом случае, если размер пикселя исходного изображения, например, равен 12 мкм, а размер пикселя экрана монитора - 240 мкм, то отображение изображения на экране монитора соответствует оптическому увеличению 20 крат. При таком увеличении дискретность перемещения измерительной марки равна пикселю и, соответственно, измеренные координаты будут зафиксированы до одного пикселя.

Увеличение точности измерения координат можно достичь за счёт увеличения исходного изображения в  $n$  раз. В этом случае один пиксель исходного изображения отображается в нескольких пикселях экрана монитора, например, при увеличении 2:1 на 4 пикселях монитора, 3:1 на 9 пикселях и т.д. Пропорционально увеличению увеличивается дискретность перемещения измерительной марки, а значит и точность фиксирования координат. Координаты увеличенного изображения определяются по формулам:

$$x_j = j + j' + 0,5n, \quad y_i = i + i' + 0,5n \quad (2.2)$$

На рис. 2.2,б показано, как при увеличении в 4 раза пиксель исходного изображения отображается на 16 пикселях монитора. На исходной матрице закрашенный пиксель имеет нумерацию  $j = 5, i = 3$ . На подматрице закрашенный пиксель имеет нумерацию  $j' = 2, i' = 1$ . Следовательно, пиксельные координаты центра закрашенного пикселя подматрицы будут

$$x_j = 5 + \frac{2 + 0,5}{4} = 5,625, \quad y_i = 3 + \frac{1 + 0,5}{4} = 3,375, \quad (2.3)$$

а метрические координаты при  $\Delta = 10$  мкм будут  $x' = 56,25$  мкм,  $y' = 33,75$  мкм. Однако за счёт увеличения изображения увеличивать точность измерений до бесконечности нельзя. Максимально разумные увеличения 2-3 крата. Дальнейшее увеличение приводит к потере измеряемых

объектов (точек), т.к. на экране появляются изображения пикселей, а изображение объекта размывается. Однако оператору необходимо измерять не пиксели, а объект (некий образ), который складывается из множества пикселей. Достижение подмиксельной точности возможно не только за счёт увеличения изображения. В настоящее время существуют алгоритмы, позволяющие выполнять виртуальный пересчёт матрицы исходного изображения относительно положения измерительной марки, и таким образом увеличивать точность измерений.

### 2.3. Элементы внешнего ориентирования снимка

Положение снимка в пространстве в момент фотографирования определяют элементы внешнего ориентирования. Под понятием снимок надо подразумевать связку проектирующих лучей, восстановленную на этапе внутреннего ориентирования, когда были заданы элементы внутреннего ориентирования снимка  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$  и определено положение центра проекции  $S$  относительно системы координат снимка  $P$ . Если рассмотреть связку проектирующих лучей как «твёрдое тело», то положение твёрдого тела в пространстве в декартовой системе координат определяют 6 параметров. Поскольку связка построена в системе координат снимка, то эти параметры, суть параметры связи двух пространственных прямоугольных систем координат. Таким образом, для ориентирования системы координат снимка относительно системы координат объекта необходимо знать шесть элементов внешнего ориентирования снимка.

На рис.2.3 показана система координат объекта  $OXYZ$ , система координат снимка  $oxuz$ . Вектор  $R_s$  определяет положение центра проекции  $S$  в системе координат объекта. Вектор  $R_m$  определяет положение точки объекта  $M$  в системе координат объекта. Вектор  $R$  определяет положение

точки объекта  $M$  относительно системы координат снимка. Вектор  $r$  определяет в системе координат снимка положение на снимке изображения  $m$  точки объекта  $M$ .

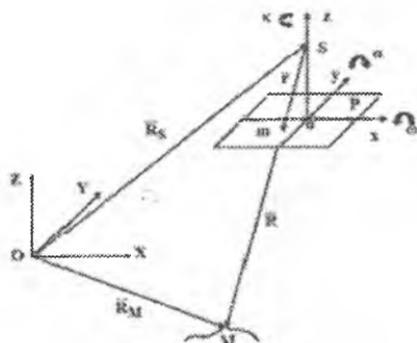


Рис.2.3

Элементами внешнего ориентирования снимка являются координаты  $X_s, Y_s, Z_s$  центра проекции  $S$  в системе координат объекта  $OXYZ$  и углы поворота  $\omega, \alpha, \kappa$  системы координат снимка  $oxuz$  относительно системы координат объекта  $OXYZ$ . Угол поворота  $\omega$  называется поперечным (тангаж для самолета) и определяет вращение вокруг оси  $ox$ , угол поворота  $\alpha$  называется продольным (крен) и определяет вращение вокруг оси  $oy$ , угол  $\kappa$  называется разворотом (снос) и определяет вращение вокруг оси  $oz$ . Координаты точек объекта и их изображений на снимке связаны векторным уравнением, которое называется уравнением коллинеарности:

$$R = SR + R \quad (2.4)$$

или в координатной форме:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_s + (Z - Z_s) \frac{X'}{Z'} \\ Y &= Y_s + (Z - Z_s) \frac{Y'}{Z'} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

где:  $X, Y, Z$  - координаты точки  $M$  в системе координат объекта;

$X_s, Y_s, Z_s$  - координаты центра проекции  $S$  в системе координат объекта;

$X', Y', Z'$  - координаты вектора  $r$  в системе координат объекта, которые определяются по формуле:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

где  $A$  - матрица преобразования координат

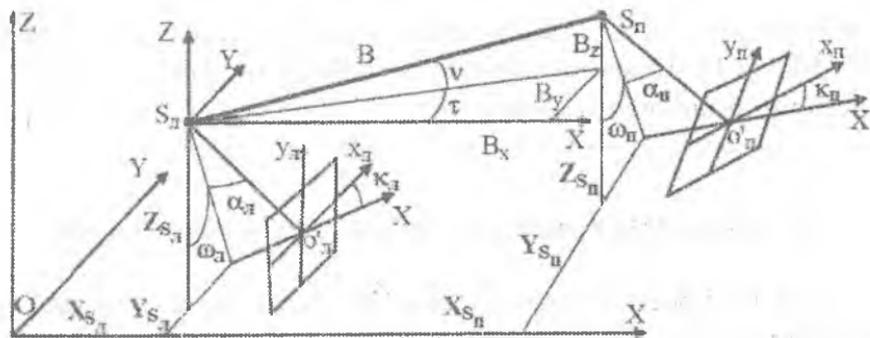
$$\begin{aligned} X &= X_S + (Z - Z_S) \frac{c_{11}(x - x_0) + c_{12}(y - y_0) - c_{13}f}{c_{31}(x - x_0) + c_{32}(y - y_0) - c_{33}f} \\ Y &= Y_S + (Z - Z_S) \frac{c_{21}(x - x_0) + c_{22}(y - y_0) - c_{23}f}{c_{31}(x - x_0) + c_{32}(y - y_0) - c_{33}f} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Если известны элементы внешнего ориентирования снимка  $X_s, Y_s, Z_s, \omega, \alpha, \kappa$  и высоты точек  $Z$ , то по формуле (2.7) можно определить координаты точек объекта. Элементы внешнего ориентирования могут быть определены в результате фотограмметрической обработки снимков по опорным точкам или получены во время съёмки по данным обработки бортовых спутниковых кинематических измерений и измерений инерциальной системы.

### 2.3.1. Элементы внешнего ориентирования пары снимков

Положение пары снимков в координатной системе  $OXYZ$  (рис.2.3.1) объекта определяется 12 элементами внешнего ориентирования: шестью элементами внешнего ориентирования левого снимка и шестью элементами внешнего ориентирования правого снимка:

$X_{Sl}, Y_{Sl}, Z_{Sl}, \omega_l, \alpha_l, \kappa_l, X_{Sp}, Y_{Sp}, Z_{Sp}, \omega_p, \alpha_p, \kappa_p.$  (2.8)



к000

Рис.2.3.1

Координаты правого центра проекции можно вычислить через координаты левого центра проекции и проекции базиса фотографирования  $B$  на координатные оси:  $X_{S\Pi} = X_{SЛ} + BX$ ,  $Y_{S\Pi} = Y_{SЛ} + BY$ ,  $Z_{S\Pi} = Z_{SЛ} + BZ$ . Вычисление базисных составляющих  $BX$ ,  $BY$ ,  $BZ$  производится по формулам:

$$\begin{bmatrix} B_X \\ B_Y \\ B_Z \end{bmatrix} = BA_{v\tau} = B \begin{bmatrix} \cos v \cos \tau \\ \cos v \sin \tau \\ \sin v \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

На основе (2.9) значения углов  $v$  и  $\tau$  можно вычислить по формулам

$$v = \arcsin \frac{B_Z}{B} = \arctg \frac{B_Z}{\sqrt{B_X^2 + B_Y^2}}, \quad \tau = \arctg \frac{B_Y}{B_X}$$

С учётом элементов ориентирования базиса фотографирования 12 элементов внешнего ориентирования (2.8) пары снимков в координатной системе  $OXYZ$  можно записать в виде:

$$X_{SЛ}, Y_{SЛ}, Z_{SЛ}, \omega_l, \alpha_l, \kappa_l, B, v, \tau, \omega_p, \alpha_p, \kappa_p \quad (2.10)$$

В системе координат  $S LXYZ$ , параллельной координатной системе  $OXYZ$ , начало отсчёта координат расположено в центре проекции левого снимка, поэтому  $X_{SЛ} = Y_{SЛ} = Z_{SЛ}$

$= 0$ . В результате для пары снимков в координатной системе  $SlXYZ$  из 12 элементов внешнего ориентирования (2.10) не равными нулю будут девять:

$$\omega, \alpha, \kappa, B, \nu, \tau, \omega_{\Pi}, \alpha_{\Pi}, \kappa_{\Pi}. \quad (2.11)$$

## 2.4. Элементы взаимного ориентирования снимка

При построении модели объекта используется система координат  $SlXmYmZm$ , у которой начало отсчёта координат расположено в центре проекции левого снимка, т.е.  $X_{msl} = Y_{msl} = Z_{msl} = 0$ . Следовательно, в системе координат модели объекта из 12 элементов ориентирования пары снимков не равными нулю будут девять аналогично (2.11). Чтобы отличать их от элементов внешнего ориентирования этих снимков в системе координат объекта, введём индекс "штрих", а базис обозначим буквой  $b$ , т.к. его длина задаётся в масштабе модели, и он называется базисом проектирования.

$$\omega', \alpha', \kappa', b, \nu', \tau', \omega_{\Pi}', \alpha_{\Pi}', \kappa_{\Pi}'. \quad (2.12)$$

Для облегчения построения модели, расположение пары снимков в системе координат модели задают так, чтобы часть элементов ориентирования (2.12) стали также равными нулю. С этой целью используют две системы координат модели: базисную и левого снимка.

**1. Базисная система координат  $SlXmYmZm$**  (рис. 2.4 а) названа так потому, что ось  $Xm$  совмещена с базисом проектирования  $SlSp$ , а ось  $Zm$  расположена в главной базисной плоскости  $Vl$  левого снимка, проведённой через базис  $b$  и главный оптический луч  $SlOl$ . Ось  $Ym$  дополняет систему до правой. В базисной системе координат из элементов ориентирования (2.12) пары снимков равны нулю три угловых элемента ориентирования:

$$\omega' = \nu' = \tau' = 0. \quad (2.13)$$

В результате в базисной системе координат для пары снимков число элементов ориентирования, не равных нулю, сокращается до шести:

$$\alpha_{\Pi}', \kappa_{\Pi}', b, \omega_{\Pi}', \alpha_{\Pi}', \kappa_{\Pi}'. \quad (2.14)$$

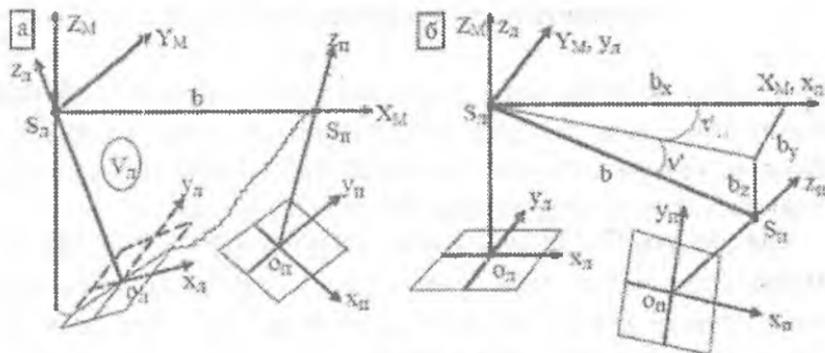


Рис.2.4

**2. Система координат левого снимка  $S_L X_M Y_M Z_M$**  (рис.2.4 б) названа так, потому что она параллельна системе координат  $S_L X_L Y_L Z_L$  левого снимка. У неё ось  $Z_M$  совмещена с осью  $Z_L$ , а оси  $X_M$  и  $Y_M$  параллельны осям  $X_L$  и  $Y_L$ , соответственно. В системе координат левого снимка равны нулю все шесть элементов ориентирования левого снимка:

$$X_{MS_{\Pi}} = Y_{MS_{\Pi}} = Z_{MS_{\Pi}} = \omega_{\Pi}' = \alpha_{\Pi}' = \kappa_{\Pi}' = 0. \quad (2.15)$$

Следовательно, в этой системе координат из элементов ориентирования не равными нулю будет также шесть:

$$b, v', \tau', \omega_{\Pi}', \alpha_{\Pi}', \kappa_{\Pi}'. \quad (2.16)$$

Как видно, в обеих системах координат модели объекта элементы ориентирования (2.14) и (2.16) пары снимков, не равные нулю, состоят из линейного элемента (базиса проектирования  $b$ ) и пяти угловых элементов. Угловые элементы называют элементами взаимного ориентирования пары снимков.

## ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫХ КАМЕР

### 3.1 Понятие о цифровой аэрофототопографической камере

В современном мире цифровой фотограмметрии невозможно обойтись без использования цифровых аэрофото-снимков, которые можно получать с помощью специальных цифровых аэрофототопографических аэрокамер.

**ЦИФРОВЫЕ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАМЕРЫ** - это такие приборы, которые производят сканирование земной поверхности на внешние носители, в результате чего получают цифровые снимки.

Цифровая метрическая камера служит для регистрации пространственных объектов в двух мерном поле датчиками камеры. По сравнению с метрическими фотокамерами, применение цифровых метрических камер позволяет: достичь более высокого радиометрического разрешения-получить цветное изображение; снизить затраты на получение цифрового изображения по сравнению со снимком;

— сократить время, затрачиваемое на сканирование снимка (негативного фильма или диапозитивов);

— быстро получить цифровое изображение (без сканирования снимка).

Датчиками цифровых метрических камер преимущественно являются матрицы типа CCD (Charge Coupled Device). Они имеют маленькие размеры, надежны и стабильны при эксплуатации. Цифровые метрические камеры с такими датчиками называют CD\_матрицами (ПЗС\_ матрицами).

Если на XIX Конгрессе ISPRS в 2000 г., проходившем в Амстердаме (Голландия), полноформатные цифровые каме-

ры представляли только фирмы Zeiss/Intergraph Imaging (Германия/США) и Leica Helava Systems (США), то на XX Конгрессе ISPRS в 2004 г. в Стамбуле (Турция) добавились Vexcel Imaging (Австрия/США), RolleiFototechnic (Германия), Wehrliand Associates (США) и НПП «Геосистема» (Geosystems, Украина). В настоящее время более 20 компаний из различных стран разработали и предлагают цифровые аэрокамеры.

## **3.2. Классификация цифровых камер**

Цифровые камеры (фотоаппараты) можно условно разделить на две большие группы: метрические и неметрические.

Под метрическими цифровыми камерами будем подразумевать такие цифровые фотоаппараты, которые предназначены для получения снимков с целью создания измерительных документов и измерительной информации. Это могут быть топографические карты и планы, цифровая картографическая информация, цифровые модели, кадастровые планы и т.п.

Неметрические цифровые камеры позволяют получать снимки, которые не являются источником измерительной информации. Такие снимки используются в художественной фотографии, для получения иллюстраций, для публикаций в средствах массовой информации, в том числе и в Интернете, для бытового фотографирования и во многих других областях.

### **3.2.1. Метрические цифровые фотоаппараты**

Это фотоаппараты, которые могут использоваться как для воздушного фотографирования (аэрофотосъёмки), так и для наземной цифровой съёмки. *Метрические фотоаппа-*

*раты*, которые применяются при аэрокосмических съёмках, *называют топографическими*. Цифровая фотограмметрия в настоящее время стала практически вытеснять аналоговые и аналитические методы и средства обработки.

Цифровые аэросъёмочные фотоаппараты называют цифровыми аэросъёмочными камерами или системами. Среди них различают среднеформатные и полноформатные камеры. К полноформатным камерам относят такие, разрешение которых составляет порядка 100 Мбайт и более.

Полноформатные цифровые камеры для аэросъёмки появились в 90-х годах. В настоящее время наиболее известными цифровыми фотоаппаратами для аэросъёмки являются камеры четырёх фирм:

камера DMC (Digital Metric Camera, Zeiss/Intergraph Imaging, Германия/США);

камера UltraCam-D (Vexcel Imaging, Канада/США);

камера ADS 40 (Aero Digital System, Leica Geosystems, Швейцария/США);

камера 3-DAS (Digital Aero System, Геосистема, Украина).

Вышеуказанные цифровые камеры отличаются друг от друга не только по конструкции, но и по принципу действия. Принципиальное различие обусловлено применяемыми считывающими устройствами, то есть устройствами, формирующими изображение снимаемой местности. В качестве считывающих устройств в цифровых аэросъёмочных камерах применяются, как правило, устройства на ПЗС (приборы зарядовой связи). Устройства на ПЗС могут быть в виде линеек или матриц. Указанные различия влияют на геометрию формируемых ими изображений. Матричные считывающие устройства позволяют получать цифровые изображения идентичные кадровым снимкам, то есть полученный цифровой снимок является снимком центральной проекции.

При использовании считывающих устройств в виде линеек ПЗС изображение цифрового снимка формируется в результате последовательного поступательного сканирования узкой полосы местности, перпендикулярной направлению полёта. Каждая полоса это проекция линейки ПЗС на местность, поэтому изображение в центральной проекции будет только в пределах такой полосы. Для приведения всего изображения к центральной проекции используются специальные программные комплексы.

Возможности цифровых аэросъёмочных систем определяются параметрами по целому ряду критериев. Такие критерии определяются характеристиками отдельных узлов камеры. К основным критериям относятся:

- размер ПЗС-матрицы или линейки;
- размер элемента ПЗС-матрицы (линейки);
- светочувствительность;
- фокусное расстояние объектива;
- угол поля зрения;

Кроме основного различия между кадровыми АФА и сканирующими, о котором говорилось выше, есть и другие. Важным для фотограмметрической обработки цифровых снимков является наличие перекрытий, т.е. получение стереоизображений.

Кадровые аэросъёмочные системы фиксируют изображение в точках фотографирования, положение которых заранее рассчитано и дают на выходе стандартные снимки центральной проекции, которые впоследствии объединяют в маршрут для дальнейшей обработки. В кадровых камерах стереоскопическое покрытие вдоль маршрута образуется за счёт продольного перекрытия снимков, также как и в аналоговых (рис. 1). Таким образом, при стандартном продольном перекрытии 60% обеспечивается полное двойное перекрытие, достаточное для стереоскопической обработки, и частичное тройное перекрытие. Размер изображения на мест-

ности зависит от параметров аэрофотосъемки: высоты полета, масштаба, фокусного расстояния, физического размера матрицы.

В сканирующих аэросъемочных системах для получения стереоизображений фиксируют сразу три ПЗС-линейки. Одна линейка сканирует местность вперед, вторая – отвесно, а третья – назад. В результате получают изображения одного и того же участка, но под разными углами трижды, что даёт возможность достичь стереоэффекта и как следствие – высокой точности измерений (Рис.2). Это позволяет повысить степень автоматизации процессов при создании цифровых моделей местности, но они слабо применимы для создания крупномасштабных ортофотопланов. Когда необходимо обеспечить точность определения координат 0,10 м и выше. В кадровых камерах, напротив, всегда можно подобрать параметры аэрофотосъемки, обеспечивающие точность вплоть до 0,05 м. В сканирующей камере это недостижимо из-за принципиальной невозможности применения системы компенсации сдвига. Такие камеры прекрасно подходят для оперативного создания ортофотопланов масштаба 1:2000. Для создания инженерных планов в векторном виде масштабов 1:1000–1:500 предпочтительнее использовать кадровые камеры.

### 3.2.2. Неметрические цифровые фотоаппараты

Цифровые неметрические фотоаппараты очень разнообразны по своим характеристикам и возможностям. Все модели можно условно разделить на несколько групп: по цене, потребительским качествам, техническим характеристикам.

Представленная классификация представляет иерархическую структуру по степени оснащённости техническими характеристиками.

Первая категория: простейшие камеры. Такие фотоаппараты отличаются очень ограниченными возможностями. По характеристикам не отличаются от простых плёночных фотоаппаратов. В их конструкции используются светочувствительные сенсоры, разрешения которых в среднем около 1-2 Мпикселов, это достаточно для того, чтобы напечатать фотографии стандартного размера 10x15 см.

Вторая категория: фотокамеры «среднего уровня», на которых сосредоточены основные усилия производителей цифровой фотоаппаратуры. Это самая широкая категория, в которую входят модели, оснащенные сенсорами с разрешением в среднем от 2 до 7 Мп. Такие фотокамеры оборудуются качественными объективами с переменным фокусным расстоянием, что позволяет получать трех-, пяти - кратное увеличение. Полученные изображения можно увеличить и напечатать размером до 13x18 и 15x20 см. Кроме стандартного автоматического режима определения выдержки и диафрагмы многие модели имеют режимы приоритета выдержки или диафрагмы, некоторые ручные настройки.

Третья категория: фотокамеры «высокого класса». Они имеют множество полезных и разнообразных функций и настроек. Такие фотокамеры оснащаются дорогой и высокоточной оптикой и сенсорами с разрешением более 7 Мп. В них предусматривается несколько режимов съёмки, включая полностью ручной режим выбора выдержки и диафрагмы, а также не менее двух методов замера экспозиции. К таким камерам можно подключать внешние вспышки и использовать несколько типов карт памяти.

Камеры высокого класса снабжаются высоко-скоростными ПЗС-матрицами и базовой памятью, играющей роль кэш-памяти. Снимок записывается сначала в неё, а затем, в фоновом режиме, переписываются на карту памяти, одновременно освобождая кэш. Такие фотоаппараты сделаны из металлической рамы, прочной пластмассы.

Четвертая категория: профессиональные цифровые фотокамеры. Это зеркальные камеры, имеющие высококачественную сменную оптику и широкие возможности. Применение в конструкции корпуса металла, в системе питания - литиевых аккумуляторов, в системах камеры - самых передовых технологий позволяет получать высококачественные снимки. Профессиональная цифровая съёмочная техника ближе к плёночной, чем какой бы то ни было другой класс цифровых фотоаппаратов. Для выбора цифрового фотоаппарата следует иметь представление и о его устройстве.

Чтобы использовать неметрический цифровой фотоаппарат для решения измерительных задач, его следует сделать «метрическим». Это метафорическое определение означает следующее.

Фотограмметрическая обработка снимков начинается с измерения координат точек снимков. При этом система координат задаётся координатными метками. В цифровых фотоснимках координатных меток нет. Следовательно, не определено начало системы координат, которое должно быть впоследствии совмещено с главной точкой снимка. Главная точка фотоснимка в цифровых неметрических камерах также не определена. В цифровых неметрических камерах используются объективы с переменным фокусным расстоянием. Для фотограмметрической обработки знание фокусного расстояния снимков является необходимым условием.

Перечисленные выше величины определяют положение центра проекции снимка относительно его плоскости и носят в фотограмметрии название элемент внутреннего ориентирования (ЭВНО) снимков. Следовательно, для неметрического фотоаппарата они неизвестны.

Объективы неметрических цифровых фотоаппаратов имеют, как правило значительную дисторсию, которая при-

водит к существенному искажению идеальной центральной проекции. Другими словами, приводит к нарушениям геометрии снимков.

Таким образом, для того чтобы неметрический фотоаппарат сделать метрическим, необходимо определить ЭВНО и коэффициенты дисторсии. По-иному, необходимо определить основные параметры центральной проекции, в которой получают реальные цифровые снимки выбранным цифровым неметрическим фотоаппаратом. Эта задача решается в процессе калибровки фотоаппаратов.

### 3.2.3. Классификация цифровых аэрофотоаппаратов по размеру результирующего кадра

В таблице 3.1 представлен один из традиционных подходов к классификации цифровых аэрофотоаппаратов, когда в качестве основного критерия используется размер результирующего кадра (аэрофотоснимка), выраженный числом элементов матрицы  $N_x \times N_y$ . Этот подход пришел из классической классификации аэрофотоаппаратов по размеру кадрового окна изменявшегося от 6x6 см до 23x23 см.

Таблица 3.1

Класс аэрофотоаппаратов	Размер результирующего кадра в мегапикселях Мп
Малоформатные	до 64
Среднеформатные	до 90
Суперсреднеформатные	90-140
Крупноформатные	более 150

Малоформатные цифровые камеры активно использовались для аэросъемочных целей до конца 90-х годов прошлого столетия. Сейчас их роль весьма ограничена. Се-

годня они в основном применяются при аэрофотосъёмке на беспилотных аэросъёмочных комплексах (БАС).

Среднеформатные цифровые фотограмметрические камеры сегодня являются основным инструментом получения цифровых геопространственных данных с авиационных носителей. Главным доводом в пользу камер этого типа является их «умеренная» ценовая ниша, компактность, малое энергопотребление и, как следствие, возможность быстрой адаптации к существующим носителям. Такие камеры управляются с использованием обычных персональных компьютеров, которые часто используются и как средства накопления аэрофотоснимков.

Крупноформатные цифровые аэрофотосистемы используются в основном аэрофототопографическом производстве для съёмки значительных по площади участков земной поверхности в целях создания цифровых карт и планов. Эти системы обладают максимальной производительностью, наивысшими геометрическими и радиометрическими свойствами и характеризуются максимальной степенью автоматизации всех этапов аэросъёмочного процесса.

### **3.3. Понятие о матрице цифрового аэрофотоаппарата**

При использовании плёночного фотоаппарата, изображение сохраняется на плёнке, покрытой слоем светочувствительной эмульсии, а в цифровых фотокамерах — на фотоматрицах. Здесь же иллюстрируется принципиальная между аналоговым изображением, которое получают плёночным фотоаппаратом и дискретным, которое даёт цифровой фотоаппарат. Очевидно, что основное различие в этих фотоаппаратах — это способ регистрации изображения.

В остальном устройство цифрового фотоаппарата аналогично плёночному. Основу оптической системы любого фотоаппарата составляют объектив и устройство для визуаль-

ной компоновки кадра — видеоискатель или зеркально-призматическое устройство. Изображение фокусируется в объективе. Световой поток, попадающий в объектив (рис.4), ограничивается диафрагмой. В соответствии с выдержкой определяется скорость срабатывания затвора. За затвором находится матрица, благодаря которой, происходит преобразование полу-ченного изображения в электрические импульсы. С матрицы полученные сигналы поступают в управляющий процессор.

В основе устройства любой цифровой камеры лежит слияние двух технологий - фотографической и электронной. Фотографическая не отличается от технологий, применяемых в плёночных фотоаппаратах. К ней относятся:

- оптическая система;

- механизмы диафрагмирования, фокусировки и экспозиции (затвор);

- системы визирования, подсветки, автоматической установки экспозиционных параметров, вспомогательные системы.

**Матрица** (считывающее устройство - сенсор), запоминающая изображение в цифровой камере, состоит из массива светочувствительных ячеек. Каждая ячейка действует аналогично фотоэкспонометру: она вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный интенсивности попадающего на неё светового потока (независимо от цветовой составляющей).

В большинстве сенсоров каждая ячейка "покрыта" красным, синим или зелёным фильтром (рис. 6). Фильтры собраны в группы по четыре, причём на два зелёных приходится по одному красному и одному синему (такой тип организации фильтров называется "шаблоном Байера"). Это сделано из-за того, что человеческий глаз наиболее чувствителен к зелёному цвету. Каждый фильтр пропускает на светочувствительную ячейку преимущественно свою составляющую

света. Теперь каждая ячейка содержит информацию не только о яркости, но и о цвете отдельного элемента изображения. Преобразовав электрический сигнал в цифровой, появляется возможность его обработки и сохранения на карте памяти.

Для того чтобы создать цветное изображение, программное обеспечение камеры анализирует все три массива полученной цветовой информации, сопоставляет значения соседних ячеек и по сложному алгоритму рассчитывает итоговый цвет каждой ячейки (пикселя) - этот процесс называется цветовой интерполяцией. Также важной характеристикой является количество мегапикселей матрицы (разрешение) - параметр, от которого зависит формат кадра. Разрешение - это способность аппарата передавать мелкие детали изображения. Чем на большее число фрагментов аппарат разбивает изображение, тем точнее он передаёт окружающую действительность на фотографии.

Все современные цифровые фотоаппараты являются цветными. Цветные снимки по своим изобразительным свойствам являются более качественными по сравнению с чёрно-белыми. Однако на изобразительные свойства влияют технические характеристики камер, которые определяют радиометрическое качество цифровых снимков: динамический диапазон, светочувствительность, фотометрическое разрешение, влияние шумов и др. Поэтому, во-первых, следует знать характер воздействия вышеуказанных характеристик на качество цифровых снимков и, во-вторых, при выборе цифрового фотоаппарата учитывать эти характеристики. Кроме того, есть ряд характеристик, от которых зависит геометрия цифровых снимков: проекция снимка, его геометрическое разрешение, фокусное расстояние. В основном эти характеристики определяются свойствами оптической системы и считывающего устройства - матрицы фотоаппарата.

В современных аэрофототопографических камерах можно наблюдать CCD матрицы и матрицы последнего поколения SMOS.

Рассмотрим эти виды матриц.

**Матрица CCD** - (сокр. от англ. *CCD*, «*charge-coupled device*») — специализированная аналоговая интегральная мик-росхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, выполненная на основе кремния, использующая технологию ПЗС — приборов с зарядовой связью.

Принцип действия цифровой фотокамеры состоит в следующем (рис.5): пучок лучей света от объекта съёмки, проходя через линзу (или систему линз) объектива и диафрагму, попадает на матрицу CCD (*Charged Coupled Device*). Матрица CCD (ПЗС, преобразователь свет-сигнал) представляет собой прямоугольную матрицу из светочувствительных элементов. Луч света попадая на чувствительный элемент преобразуется в аналоговый электрический сигнал. Аналоговые сигналы от CCD преобразуются в цифровые, обрабатываются и записываются в память. Преобразование сигналов в цифровую форму производится с помощью аналого-цифрового преобразователя.

Электронная составляющая цифровых фотокамер включает в себя:

- контрольный цветной дисплей цифровой камеры;
- устройство хранения оцифрованных изображений (флэш-память);
- интерфейс синхронизации цифровых данных с ПК;
- светочувствительный сенсор.

Очевидно также, что при выборе цифрового фотоаппарата нельзя не учитывать задачи, которые предстоит при этом решать. Этот фактор также следует отнести к одним из определяющих.

## **CMOS- матрица**

В современных видеокамерах активно используют 2 типа матриц: CMOS и CCD. Матрица CMOS (КМОП) построена на базе CMOS-технологии, которая и дала название этому продукту (complementary metal-oxide-semiconductor, комплементарная структура металл-оксид-полупроводник).

В отличие от CCD-сенсоров, CMOS-сенсоры содержат в себе усилители и аналого-цифровые преобразователи, что значительно снижает стоимость конечного продукта, т.к. он уже содержит все необходимые элементы для получения изображения. Каждый CMOS-пиксель содержит электронные преобразователи. По сравнению с CCD-сенсорами, CMOS-сенсоры обладают большим функционалом и более широкими возможностями интеграции. Из других преимуществ следует также отметить более быстрое считывание, меньшее потребление энергии, высокую сопротивляемость шумам и меньший размер системы.

Матрица CMOS благодаря надёжности, низкой стоимости и гибкой настройке получили широкое применение в нескольких сферах нашей жизни. Прежде всего, в фотографии – камеры телефонов и фотоаппаратов оснащены именно этими матрицами, удовлетворяя потребности пользователя.

Второе место – видеонаблюдение:

- При охране квартир;
- Наблюдении за аэропортом;
- Контроле строительной площадки;
- В офисе;
- В торговом центре;
- На складе;
- Для других объектов с разными условиями эксплуатации.

Матрицы удастся встретить в дорожной (контроль поведения участников дорожного движения), научной сфере, медицине, промышленности.

### 3.4. Цифровая аэрофототопографическая камера UltraCAM X

Рассмотрим одну из наиболее ведущих среди цифровых аэрокамер австрийской компании Vexcel Imaging UltraCAM X:

На рисунке 3.1 показан внешний вид сенсорного блока аэрофотоаппарата UltraCAM X австрийской компании Vexcel Imaging, являющейся на сегодняшний день самой производительной крупноформатной камерой в своем классе.

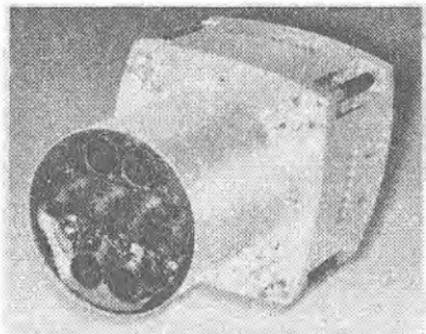


Рис.3.1 Цифровая аэрофототопографическая камера UltraCAM X компании Vexcel Imaging

Интегральный формат цифрового кадра UltraCAM X составляет  $14430 \times 9420$ , т.е. – 136 мегапикселей, что относит его к суперсреднеформатному классу аэрофотоаппаратов. При этом с интервалом фотографирования 1.35 сек. Обеспечивается выдача полноформатных цветных или даже спектральнональных аэрофотоснимков. Признавая, что производительность не единственный технический параметр аэрофотоаппарата, всё же заметим, что он один из самых важных, в том числе и с экономической точки зрения. В этой связи нельзя не отметить, что на сегодняшний день UltraCAM X австрийской компании Vexcel Imaging – самая производительная цифровая аэрофотокамера в мире, суще-

ственно превосходящая своих главных конкурентов – DMC компании Intergraph и ADS-40 компании Leica Geosystem, а также и все другие камеры.

Менее очевидно другое - последняя разработка компании Vexcel по объёму получаемой информации превосходит и многие аналоговые (почти все!), т. е. классические плёночные аэрофотоаппараты. Доказать это совсем нетрудно. Возьмём стандартный аналоговый аэрофотоснимок в форме негатива размером 180x180 мм. Подвергнем его сканированию в фотограмметрическом сканере с шагом в 20 мкм. Можно использовать различные модели фотограмметрических сканеров, но предпочтительно UltraScan5000T компании Vexcel. Независимо от выбора модели сканера, количество информации на один оцифрованный аэрофотоснимок составит:  $M_a = 180 / (20 \times 10^{-3})^2 = 81 \times 10^6$ , т.е. 81 мегапиксель. Сравнивая полученное значение с форматом кадра UltraCamX, который, как указано выше, составляет 136 мегапикселей, убеждаемся, что объём информации у UltraCamX больше в 1,5раза.

В камере UltraCamX используется способ создания комбинированного изображения программно-аппаратными методами посредством установленных четырёх матриц для съёмки в красном, синем, зелёном и ближнем инфракрасном диапазонах и девять матриц для съёмки в панхроматическом диапазоне. Объективы последних девяти матриц расположены вдоль прямой параллельной движению и осуществляют съёмку из одной точки за счёт перемещения самолета (рис.3.2). Таким образом, центр проекции у всех 9 фрагментов общий. Это позволяет получить «честный комбинированный снимок центральной проекции. Для камер UltraCamX изображения, из которых собирается снимок, получены из разных объективов, но съёмка синхронизируется, и центры проекций изображений совпадают. При этом обеспечивается выход цветных или спектральнональных аэрофото-

снимков. Снимки UltraCamX эквивалентны снимкам размера 23-15см, отсканированным с разрешением 20 мкм.

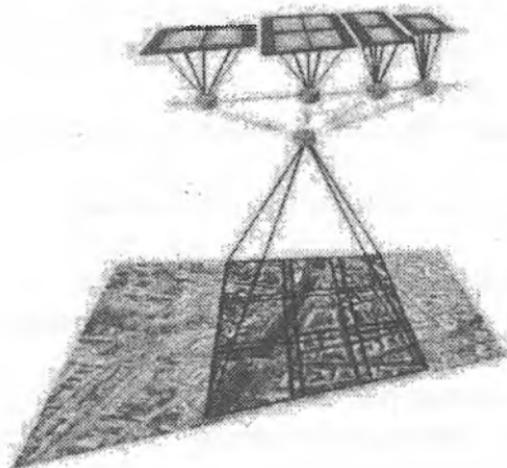


Рис.3.2 Принцип формирования полного кадра (Экспозиция из “одной точки”)

Главное преимущество UltraCam по сравнению с линейными фотосканерами - съёмка целыми кадрами, а не взаимная фотограмметрическая увязка отдельных «линеек» между собой. Это позволяет применять стандартные математические процедуры преобразования и лучше подходит для инженерных и фотограмметрических задач, требующих высокой фотограмметрической точности. Важно, что для обработки используются стандартные фотограмметрические пакеты, а не специальное ПО. Как и у всех широкоформатных топографических систем имеется наличие режима временной задержки и накопления сигнала (TDI — time-delay integration) для компенсации сдвига 23 изображения. Наличие TDI-режима даёт возможность летать на больших скоростях при худших условиях освещения. Аэрофотоаппарат Ultra Cam более прост в техническом обслуживании, обучении и обработке данных

## **Основные технические характеристики аэрофотокамеры UltraCamX:**

Описание выходных изображений

Формат изображения плёночного формата 23x15

Диапазон изображения-Спектрозональный, цветной и/или панхроматический

Технические характеристики измерительного блока камеры

Размер панхроматического изображения, - 14 430x9420 пиксель

Размер элемента изображения, - 7,2 мкм

Фокусное расстояние для панхроматического канала, -- 100мм

Угол обзора поперёк / вдоль полёта--55/37 град

Количество цветовых каналов (спектрозональная съёмка) -4 (RGB и NIR)

Размер спектрозонального изображения - 4992x3328, пиксель

Диапазон выдержек -1/500-1/32сек

Минимальный интервал съёмки, -1,35сек

Габаритный размер измерительного блока камеры,- 45x45x60 см

Вес, - <45 кг

Максимальное электропотребление, -150Вт

Максимальная ёмкость одного сменного накопителя - 3900 снимков

Использование цифровой камеры UltraCamX упрощает и ускоряет технологию создания цифровых топографических карт, планов и ортофотопланов. Это происходит благодаря автоматизации многих этапов и возможности исключения некоторых из них. Использование при аэрофотосъёмке цифровой камерой UltraCamX с опционально встроенной инерциальной системой IMU в комплексе с GPS-аппаратурой на борту самолёта позволяет получать качественные и точные цифровые

снимки объекта, воссоздать правильную фотограмметрическую модель местности с минимальными трудозатратами благодаря элементам внешнего ориентирования снимков, получаемых с помощью данных систем.

Расширилась номенклатура цифровых метрических камер. В 2005 г. в производстве находилось примерно 100 цифровых камер с различными возможностями и областями применения, тогда как в 2002 г. их количество составляло только семь. Несмотря на сравнительно широкое распространение цифровых камер, некоторые вопросы всё ещё остаются открытыми. Одним из них, например, является проблема калибровки цифровых камер. Калибровка фотокамер выполняется согласно утверждённым международным стандартам, сертификаты о калибровке унифицированы, что даёт возможность сравнивать параметры разных фотокамер. Что касается калибровки цифровых камер, то в настоящее время нет установленного стандарта, и каждая фирма выполняет калибровку собственным способом. Пока надёжным способом сравнения цифровых камер остаётся оценка точности по результатам съёмки экспериментальных участков. Ниже приведены примеры аэрофотосъёмки одного и того же участка местности, но выполненные разными АФА (рис.3.3 и рис.3.4),

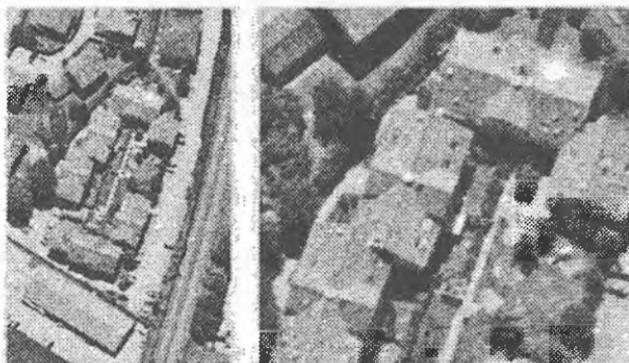


Рис.3.3 Аэроснимок выполнен аналоговой камерой

а также цифровые аэрофотоснимки, выполненные цифровой камерой UltraCamX в тени и сильно освещенной местности (рис.3.5, 3.6).

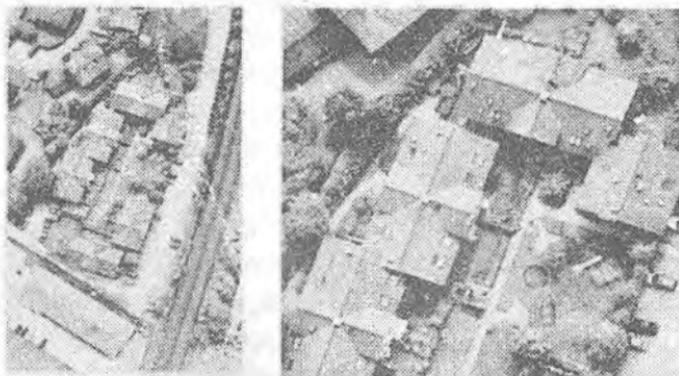


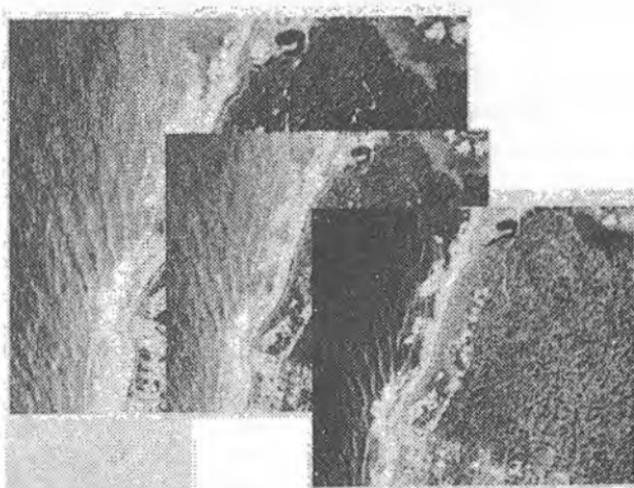
Рис.3.4 Аэроснимок выполнен цифровой камерой



Рис.3.5 Цифровой аэрофотоснимки, полученный камерой UltraCam X. (Объект находится в тени)



**Рис.3.6** Цифровой аэрофотоснимок, полученный камерой Ultra Cam X. (Интенсивно освещенный объект)



**Рис.3.7** Возможность получения панхроматических, цветных и спектральных аэрофотоснимков камерой UltraCam X

### 3.5. Аэрофотосъемочный комплекс DMS III компании "Leica Geosystems AG"

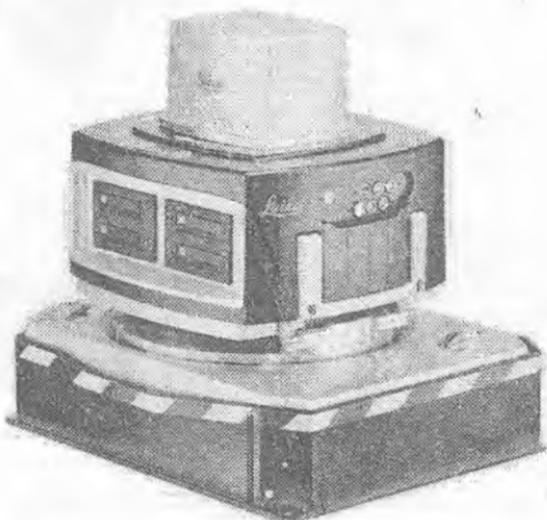


Рис. 3.8 Внешний вид аэрофотокамеры Leica DMS III

На сегодня Leica DMCIII - самая широкоформатная кадровая аэрофотокамера в мире. Принципиальная особенность данной модели от предыдущей состоит в том, что здесь получаем не составной результирующий кадр, а единый кадр центральной проекции, благодаря CMOS матрицы [21].

Leica DMC III - это первая в мире широкоформатная бортовая камера кадрового типа, принцип действия которой основан на технологии CMOS, благодаря чему камера создает аэрофотоснимки не только высокой точности, но и высочайшего разрешения - 25 000 пикселей, что на 25% выше по сравнению с аналогами. Сбор данных для построения ЦМР ещё никогда не был столь эффективным!

Благодаря кастомизированной оптике и интеллектуальной компенсации смаза изображения при движении летательного аппарата вперед, камера Leica DMCIII обеспечивает беспрецедентное качество аэрофотоснимков и непре-

взойдённую точность. Одной из ключевых особенностей DMCIII является встроенная система управления полётом, мультиспаятная спутниковая GNSS система и интегрированная иннерциальная навигационная система IMU 5 класса.

### **Революционная технология CMOS**

Использование нового CMOS датчика выводит аэрофотокамеру DMC III от Leica Geosystems на принципиально новый уровень, по сравнению с предыдущими камерами серии DMC, основанными на традиционной CCD технологии (ПЗС-матрицы). CMOS-матрица является цифровым устройством с активными чувствительными элементами (Active Pixel Sensor). С каждым пикселем работает свой усилитель, преобразующий заряд чувствительного элемента в напряжение. Это даёт возможность практически индивидуально управлять каждым пикселем.

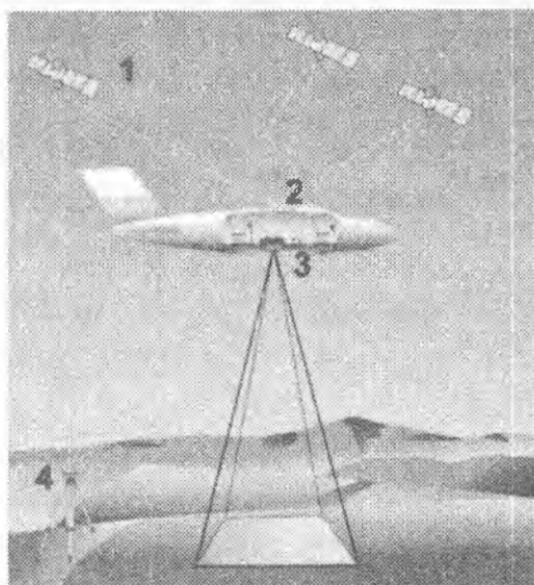


Рис. 3.9

1 Спутники GNSS. 2 Бортовая антенна GNSS. 3 Система Leica DMC III. 4 Наземная опорная станция GNSS

Именно благодаря усовершенствованной технологии формирования изображения CMOS, цифровая полноформатная топографическая аэрофотокамера DMC3 создаёт самый большой в мире одиночный кадр (Рис.3.9)

### **Беспрецедентно высокая производительность**

• За счёт увеличения размера датчика существенно возросла и площадь охвата земной поверхности на одиночном кадре, что в свою очередь поспособствовало продуктивности процесса сбора данных более чем на 40%.

• Сбор большего количества информации благодаря 100% увеличению динамического диапазона.

Предельное качество аэрофотоснимков из-за минимального шума изображения и практически нулевого смаза.

• Интегрированный рабочий процесс: от этапа планирования полётной миссии до этапа постобработки снимков с перекрытием 90%.

Снижение затрат на аэрофотосъёмку Leica Geosystems представляет программное обеспечение **Leica HxMap**, которое обеспечивает достижение максимальной продуктивности обработки данных, полученных с камеры Leica DMC3. **HexagonMap** - инновационная, интуитивно-понятная платформа, обеспечивающая быструю и эффективную обработку данных аэрофотосъёмки всех датчиков Leica и является более совершенным аналогом ПО Leica XPro.

## Технические характеристики камеры DMC III

Таблица 3.2

Камер	5
Интервал фотографирования	1,9 сек
Фокусное расстояние камер	45мм
Размер снимка в пикселях	14592 25728
Размер пиксела в микронах	3,9
Число матриц- сенсоров	5
Число объективов	5
Число фрагментов результирующего кадра	1
Тип камеры	Кадровая камера
Спектральные диапазоны	PAN, R, G, B, NIR
Геометрия результирующего изображения	Центральная проекция
Формат изображения в мм	56,9088 100,3382
Принцип экспонирования сенсора	синхронный
Тип накопителя данных	Твердотельная память (SSD)
Ёмкость накопителя данных, Тб	9,6 (7900 снимков)
Возможность смены накопителя в полёте	есть
Возможность просмотра данных в полёте	есть

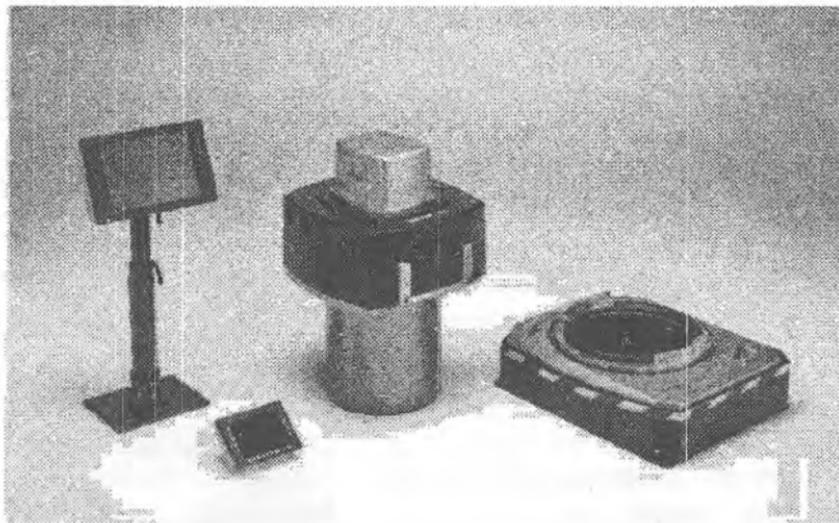


Рис. 3.10 Комплектующие камеры DMS III

Таким образом можно сделать вывод, использование этой аэрокамеры приводит к уменьшению затрат различных работ, а также позволяет сфотографировать большую площадь земной поверхности одним кадром.

В настоящее время в Узбекистане приобретена эта камера и находится на стадии апробирования.

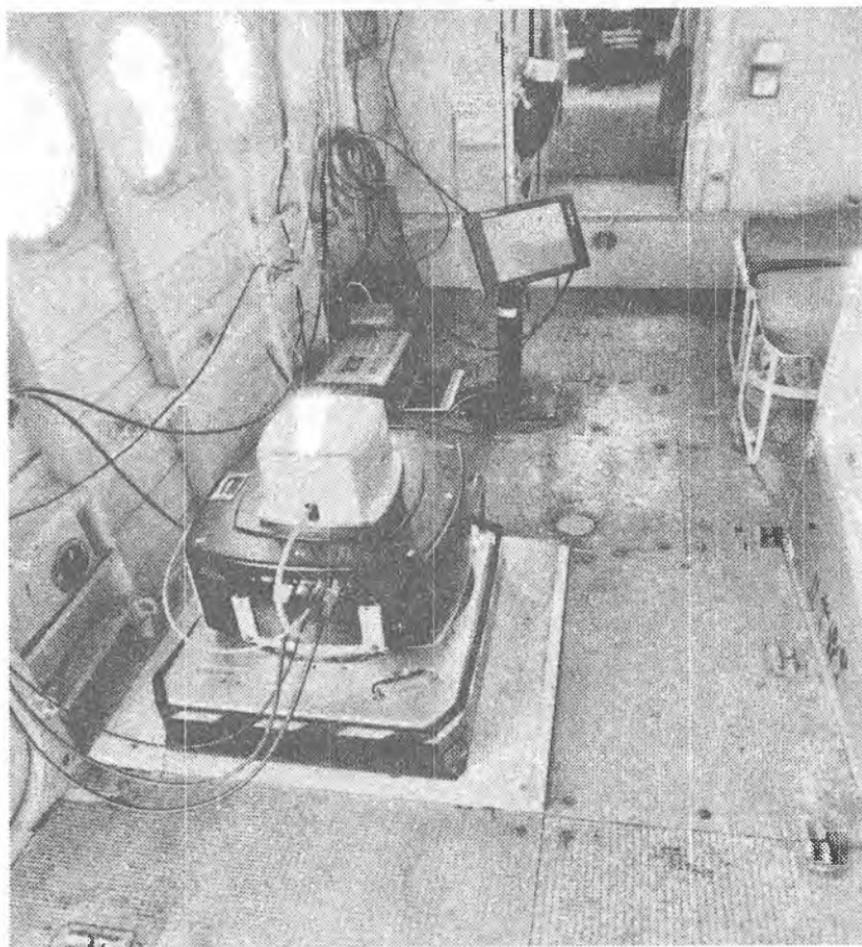
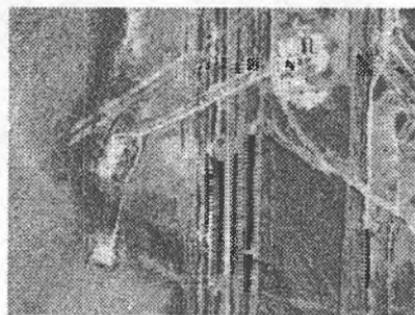
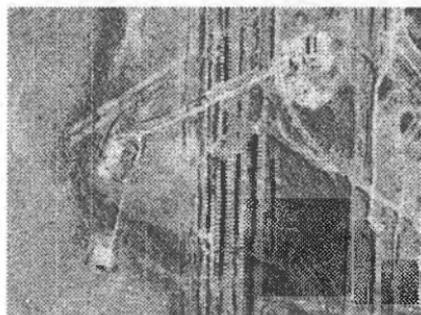


Рис. 3.11 Полётная комплектация камеры DMS III

### 3.6. Преимущества цифровых аэрокамер

Цифровая аэрофотосъёмка выполняется современными топографическими аэрофотосъёмочными системами, обладающими высокой производительностью, геометрической точностью, пространственным разрешением и фотометрическим качеством изображения. Материалы аэрофотосъёмки, получаемые с помощью полноформатных цифровых аэро-фотокамер, представляют собой набор цветных и мультиспектральных снимков в четырёх спектральных зонах (красной, зелёной, синей, ближней инфракрасной). Снимки спектральных каналов могут использоваться для создания спектрзональных снимков (снимков в условных цветах, в которых присутствует ближний инфракрасный канал и два выбранных канала видимой зоны спектра), которые обладают высокими дешифровочными свойствами.



Цветной аэрофотоснимок

Аэрофотоснимок в условных цветах  
Рис.3.12

Цифровая аэрофотосъёмка выполняется с использованием бортовых систем определения положения и ориентации, позволяющих непосредственно в полёте определить элементы внешнего ориентирования снимков и тем самым сократить затраты на планово-высотную подготовку аэрофотоснимков и сроки выполнения работ.

Помимо плановой аэрофотосъемки, выполняемой при вертикальном положении оптической оси, может быть выполнена перспективная аэрофотосъемка (под наклоном оптической оси), позволяющая более эффективно распознавать объекты местности и анализировать их пространственное взаимное положение.

Цифровые камеры обладают рядом преимуществ перед аналоговыми. Основными из которых являются:

экономичность;

оперативность обработки;

эквивалентное аналоговым камерам качество получаемых снимков.

При решении различных топографических, прикладных задач в ряде случаев применение метрических камер нецелесообразно.

Для выполнения различных видов работ возможно применение профессиональных цифровых неметрических фотокамер.

Получение метрических снимков при использовании неметрических цифровых камер возможно при устранении ошибок снимка – дисторсии, и приведение его к центральной проекции. Эта задача решается с помощью калибровки.

Съемка с помощью цифровой камеры является предпочтительнее из-за ряда технических и экономических причин. А именно:

- 1.Высокое качество фотографического изображения;
- 2.Высокая степень автоматизации;
- 3.Отсутствуют расходы на плёнку;
4. Нет процесса проявки;
- 5.Автоматическое определение выдержки;
- 6.Контроль качества снимков в полёте;
- 7.Одновременная съёмка в разных спектральных диапазонах;
- 8.Полностью цифровая технология обработки;

9. Совершенно исключается процедура перевода негативов в цифровой вид: сканирование и оцифровка;

10. Отсутствие процесса внутреннего ориентирования в ЦФС;

11. Позволяет уверенно дешифровать как интенсивно освещённые объекты, так и объекты, находящиеся в глубокой тени;

12. Возможность создавать сколько угодно копий снимка с качеством оригинала и практически бесплатно;

13. Отсутствие деформации при хранении;

14. Отсутствие следов механических повреждений и пыли на изображении.

## ГЛАВА 4. ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

### 4.1. История развития цифровой аэрофотосъемки

Еще с давних времён человечеству было ясно, что для создания топографических карт местности, проще всего произвести наблюдения с воздуха и нарисовать полученные данные. Так как с воздуха информацию мы можем получить намного масштабнее и информативнее, чем с Земли.

Аэрофотосъёмка - фотографирование земной поверхности с высоты от сотен метров до десятков километров при помощи аэрофотоаппарата, установленного на атмосферном летательном аппарате (самолете, вертолете, дирижабле и пр. или их беспилотном аналоге).

Понятие аэрофотосъёмка появилось в середине 19-го века с появлением воздушных шаров. Первая мировая война стала настоящим толчком в истории аэрофотосъёмки. Для получения информации о силах вражеских войск стали повсеместно использовать аэрофотосъёмку.

А понятие цифровой аэрофотосъёмки появилось с появлением на мировом рынке цифровых аэрофотосъёмочных систем.

Превосходство цифровых камер над их аналоговыми (плёночными) предшественниками уже не вызывает сомнения практически ни у кого. И дело не только в том, что цифровые изображения проще и быстрее обрабатывать, а их качество можно улучшать программно ещё на этапе получения. Цифровые камеры достигли, наконец, соизмеримого с плёночными уровня пространственного разрешения получаемых снимков. С появлением на рынке цифровой аэрофотосъёмочной камеры ADS40 (2000г) и беспилотных летатель-

ных аппаратов, аэрофотосъёмка получает название цифровой аэрофотосъёмки.

#### 4.2. Самолет Ан-30 для аэрофотосъёмки

В настоящее время для выполнения аэрофотосъёмки цифровыми камерами, используется большое количество различных летательных средств, а именно, к ним относятся самолеты, вертолеты, различного вида беспилотные летательные аппараты (БЛА).



Рис.4.1 Ан-30 самолет для аэрофотосъемок.

Ан-30 может быть использован для решения широкого круга задач, относящихся к фотограмметрии и аэрофотосъёмке, в том числе и в военных целях.

Самолет разработан в 1967 году в ОКБ Г. М. Береева на базе пассажирского самолета Ан-24. Первый опытный образец под обозначением Ан-24ФК поднялся в воздух 21 августа 1967 года. Серийные самолёты имеют обозначение Ан-30 или Ан-30А. Оставив практически без изменений крыло, хвостовое оперение, силовую установку и шасси базового

самолета, конструкторы внесли существенные изменения в конструкцию фюзеляжа. В передней его части размещена имеющая большую площадь остекления кабина штурмана, за ней располагается несколько приподнятая по сравнению с Ан-24 кабина летчиков, позади кресел которых находится рабочее место радиста. Почти вся остальная часть фюзеляжа занята кабиной для размещения специального оборудования. В полу этой кабины устроены 5 люков. Все аэрофотоаппараты управляются дистанционно командоаппаратами. Установленный на Ан-30 комплекс навигационной и фотографической аппаратуры позволяет составлять высококачественные топографические карты в масштабе от 1:10 000 до 1:150 000.

Так как для аэрофотосъемки дальность полета имеет особо, важное значение, в центроплане установлены 6 дополнительных мягких топливных баков общей емкостью 1600 кг топлива, что позволило увеличить практическую дальность полета на высоте 6000 м при скорости 440 км/час до 2880 км. В случае необходимости специальное оборудование может быть демонтировано и Ан-30 может использоваться как обычный транспортный самолет.

С внедрением этого высокопроизводительного самолета — Ан-30 — успешно решалась проблема высотной аэрофотосъемки, расширился диапазон масштабности воздушного фотографирования.

Модификации Ан-30: Ан-30А, Ан-30Б. Последней модификацией стал Ан-30М «Метеозащита».

Помимо стран СНГ, самолет Ан-30 эксплуатируется в Болгарии, Венгрии и Румынии.

### **4.3. Беспилотные летательные аппараты**

Помимо самолета Ан-30, специально предназначенного для аэрофотосъемки больших территорий, в настоящее вре-

мя успешно используются беспилотные летательные аппараты (БЛА) для аэрофотосъемки небольших территорий. Спектр предназначения БЛА широк. Они применяются в геодезии и картографии, мониторят недра земли и ретранслируют вещательные радиоканалы. БЛА вооруженных сил способны вести разведывательную деятельность, сканируя эфир и проводя аэрофотосъемку. Размер и вес беспилотника, летные характеристики и огневая мощь, зависят от его предназначения. Образцы весом в четверть килограмма имеют летный потолок в километр и малый радиус действия, но способны переноситься к месту старта в небольшой сумке и запускаться с руки. Средние беспилотники, весом в несколько сотен килограмм, способны подниматься на высоты (20км), недоступные любому пилотируемому перехватчику и совершать посадку на необорудованных площадках, а запускаться в небо с небольшой катапульты.

Беспилотные технологии существуют давно. Сначала они были сложными и дорогостоящими комплексами, имевшими только военное применение. Но в течение последнего десятилетия в этой области произошел настоящий прорыв. Миниатюризация вычислительных систем и развитие спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС) позволили создавать беспилотные летательные аппараты (БПЛА), у которых габариты, масса, а главное, стоимость на порядки меньше прежних. По доступности беспилотные технологии приближаются к уровню бытовых технологий. Сейчас прогресс в развитии гражданских беспилотных систем имеет высочайший темп, сформировалась новая индустрия услуг.

БПЛА считаются весьма перспективными средствами для гражданских задач, связанных с однообразной, грязной или опасной деятельностью; т.е. выполнение которых связано с монотонностью или опасностью для пилота, пилотирующего воздушное судно (ВС). Рост потребности в БПЛА в

разных странах вполне закономерен. Практический опыт применения БПЛА ведущими странами выявил широкий набор гражданских задач, при решении которых беспилотники показывают высокую эффективность.

**Беспилотный летательный аппарат** (БПЛА или БЛА) — это автоматизированный интерактивный беспилотный летательный аппарат, способный выполнять полёт по заданному маршруту и поддерживать свою ориентацию в пространстве без вмешательства человека, но в то же время, готовый реагировать на управляющие воздействия человека-оператора. БПЛА, как правило, выполняет полёт по заложенной в бортовой комплекс управления программе с получением или передачей целевой информации по радиоканалу потребителям, однако многофункциональный и интеллектуальный характер подобных технических комплексов предусматривает изменение программ полета в реальном масштабе времени. Наличие автопилота на БПЛА, наряду со средствами дистанционного управления вне зоны визуальной или радиотехнической видимости, отличает его от простой спортивной авиамодели.

Стимулом к развитию беспилотной авиации во всем мире послужило успешное и широкое использование БПЛА армиями США и Израиля в ходе военных операций (Персидский залив, Югославия, Ближний Восток, арабско-израильские войны). При этом беспилотники зарекомендовали себя как эффективное средство разведки, сопровождения боя, в качестве ложных мишеней для обнаружения зенитных установок противника, доставки грузов, для выполнения прочих боевых задач.

На сегодняшний день по данным UVS International (ведущей международной ассоциации беспилотных систем) БПЛА производят в 52 странах мира. Не смотря на то, что запросы военных ведомств на БПЛА велики и разнообразны, далеко не все производители могут надеяться на полу-

чение оборонных заказов. В результате, многие компании, имеющие разработки в области БПЛА, склонны обращать внимание на перспективы применения БПЛА в гражданской и коммерческой сферах. В свою очередь заинтересованные государственные ведомства и спецслужбы, функции которых связаны с охраной, контролем и мониторингом объектов, ликвидацией ЧС, предприятия ТЭК, а также фирмы, бизнес которых связан с получением пространственных данных, также проявляют встречный интерес к БПЛА. Для выполнения специальных задач, в частности для аэрофотосъёмки, БПЛА должен рассматриваться в совокупности с его приборным оснащением и полезной нагрузкой, для чего введён термин **беспилотная авиационная система (БАС)**. БАС, помимо БПЛА, состоит из бортового комплекса управления, полезной нагрузки и наземной станции управления.

1. Бортовой комплекс:

2. Интегрированная навигационная система;

3. Приёмник спутниковой навигационной системы;

4. Автопилот.

Задачи автопилота: - пилотирование:

- автоматический полёт по заданному маршруту;

- автоматический взлёт и заход на посадку;

- поддержание заданной высоты и скорости полета, стабилизация углов ориентации;

- принудительная посадка в случае отказа двигателя или прочих серьёзных неполадок;

- программное управление бортовыми системами и полезной нагрузкой, например: стабилизация видеокамеры и синхронизация по времени и координатам срабатывания затвора фотоаппарата, выпуск парашюта.

- Накопитель полетной информации.

К полезной нагрузке для задач аэрофотосъёмки относятся цифровая фотокамера, как дополнение могут использоваться видеокамера, тепловизор, ИК-камера.

### 3. Функции наземного пункта управления:

- слежение за полётом;
- приём данных;
- передача команд управления.

Предпосылками применения БПЛА в качестве нового фотограмметрического инструмента являются недостатки двух традиционных способов получения данных ДЗЗ с помощью космических спутников (космическая съёмка) и воздушных пилотируемых аппаратов (аэрофотосъёмка). Данные спутниковой съёмки позволяют получить снимки с максимальным общедоступным разрешением 0,5 м, что недостаточно для крупномасштабного картирования. Кроме того, не всегда удаётся подобрать безоблачные снимки из архива. В случае съёмки под заказ теряется оперативность получения данных.

Традиционная аэрофотосъёмка, которая проводится с помощью самолётов или вертолётов требует высоких экономических затрат на обслуживание и заправку, что приводит к повышению стоимости конечной продукции. Применение стандартных авиационных комплексов нерентабельно в следующих случаях:

1. Съёмка небольших объектов и малых по площади территорий. В этом случае экономические и временные затраты на организацию работ, приходящиеся на единицу отснятой площади, существенно превосходят аналогичные показатели при съёмке больших площадей (тем более для объектов, значительно удалённых от аэродрома);

2. При необходимости проведения регулярной съёмки в целях мониторинга протяжённых объектов: трубопроводы, ЛЭП, транспортные магистрали.

Таким образом, плюсами применения БПЛА являются:

1. Рентабельность.

2. Возможность съёмки с небольших высот и вблизи объектов. Получение снимков высокого разрешения.

3. Оперативность получения снимков.

4. Возможность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов.

Стоит отметить, что технология аэрофотосъёмки с БПЛА в значительной степени отработана. В настоящее время большая часть существующих и эксплуатируемых БПЛА предназначены для воздушной разведки и наблюдения, которые осуществляются с помощью фото- и видеосъёмки.

#### **4.3.1. Классификация беспилотных летательных аппаратов**

Область применения беспилотных летательных аппаратов достаточно широка. Благодаря тому, что дрон - это дистанционно управляемый летательный аппарат, он хорошо подходит для наблюдения и контроля зон, доступ к которым затруднён или непригоден для человека. Классификация беспилотных летательных аппаратов представлена на рисунке 4.2.

Способ управления

Существуют следующие способы управления беспилотными летательными аппаратами:

1) Дистанционно-пилотируемый способ. Управление полётом осуществляется в двух режимах:

- ручное управление, осуществляется за счёт управления оператора беспилотного летательного аппарата в режиме реального времени;



Рис.4.2 Классификация беспилотных летательных аппаратов

- автоматизированное управление осуществляется автономно, с возможностью его корректировки. Предварительно вводят координаты точек маршрута, определяя текущее положение летательного аппарата посредством навигации.

2) Автоматический способ, управление совершается автопилотом по заранее заданной траектории на заданной высоте с заданной скоростью и со стабилизацией углов ориентации.

Наиболее распространённым на сегодняшнее время является дистанционно - пилотируемый способ, позволяющий в режиме реального времени проводить исследования необходимой местности и объектов. Оператор с земли управляет беспилотным летательным аппаратом или вносит изменения в заданном маршруте. Однако с точки зрения помехозащищенности от электромагнитного воздействия он является наиболее уязвимым.

## Тип конструкции

Существует два типа беспилотных летательных аппаратов, вращающегося и фиксированного крыла. Беспилотные летательные аппараты фиксированного крыла – это беспилотные самолеты, использующие прямой толчок по фиксированному крылу, чтобы получить подъемную силу. Они нуждаются в относительно высокой пусковой скорости, чтобы получить эту подъемную силу, поэтому не подходят для работы в ограниченной или опасной окружающей среде.

Беспилотные летательные аппараты вращающегося крыла также разделены еще на 2 типа: одновинтовой и многовинтовой (мультикоптер). Одновинтовые схемы используются для построения вертолетов. Они обычно используют приводной несущий винт, обеспечивающий подъемную силу, которая уравнивается хвостовым рулевым винтом. Многовинтовые вертолеты имеют больше 2-х несущих винтов для управления всеми формами движения.

Беспилотные летательные аппараты охватывают широкий диапазон веса: от микро до беспилотных летательных аппаратов специального назначения, масса которых достигает 11 тонн.

Беспилотные летательные аппараты подразделяются ещё и по типу т.е. бывают БЛА самолетного типа, вертолетного типа и мультироторного типа .

БПЛА самолетного типа – имеют жесткое неподвижное крыло, которое создаёт подъемную силу. Благодаря этому они лёгкие в управлении, устойчивы к жестким погодным условиям, имеют возможность нести больше полезной нагрузки, а также преодолевать большие расстояния с меньшими энергозатратами. Сферы их применения – доставка небольших грузов, мониторинг объектов большой протяженности, длительные миссии. Однако он не подходит для выполнения миссий, в которых необходима высокая точность позиционирования, поскольку всегда должен быть в

движении для создания подъёмной силы. Внешний вид данного типа БПЛА представлен на рисунке 4.3.

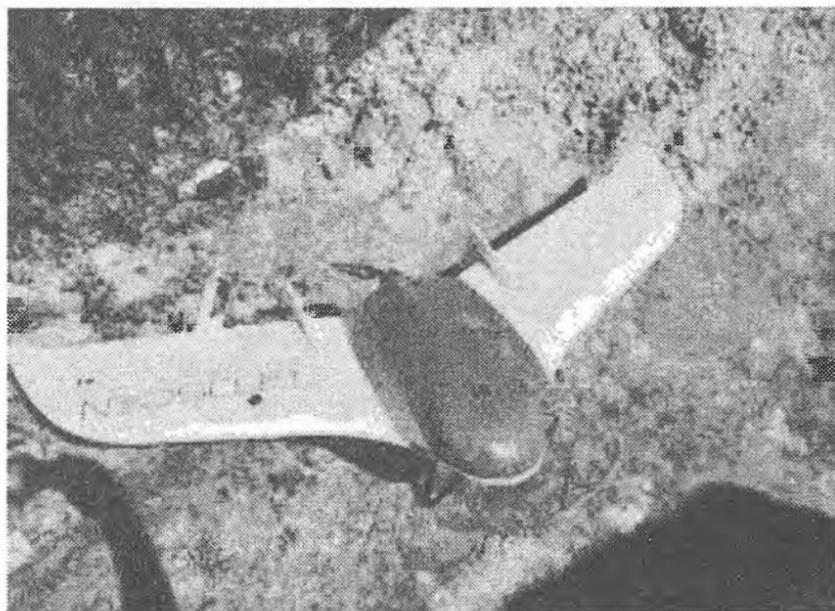


Рис.4.3 БПЛА –самолетного типа **Geoscan 201**.

Аэрофотосъёмочный комплекс GEOSCAN помещается в стандартном дорожном кейсе и включает в себя: разборный планер с фотокамерой на борту, устройство запуска, зарядное устройство, терминал управления и приёма/передачи данных. Обслуживание комплекса осуществляется одним человеком. Беспилотный комплекс Geoscan 201 предназначен для решения широкого спектра задач, требующих оперативного получения аэро-фотоснимков местности или непосредственного визуального наблюдения. Отличительная особенность комплексов Geoscan — высокая степень автоматизации всех этапов работы от подготовки полётного задания до автоматической посадки в заданной точке.

**Технические характеристики  
GEOSCAN 201**

**Таблица 4.1**

Тип БВС	Самолётный
Взлёт/посадка	с катапульты / на парашюте, в автоматическом режиме
Тип двигателя	Электрический
Продолжительность полёта	до 3 часов
Максимальная протяжённость маршрута	210 км
Площадь участка фотосъёмки за 1 полёт (зависит от требуемого масштаба съёмки)	7-22 км <sup>2</sup>
Рекомендуемая допустимая скорость ветра	до 10 м/с
Максимально допустимая скорость ветра	до 15 м/с
Скорость полёта	64-130 км/ч
Взлётная масса	8 кг
Масса полезной нагрузки	до 1,5 кг
Размах крыльев	2,3 м
Минимально безопасная высота полёта	100 метров
Максимальная абсолютная высота полёта	4000 метров
Время подготовки к взлёту	10 мин
Температура эксплуатации	от -20 до +40 °С

	(расширенный диапазон -40 до +50)
Защитный транспортировочный кейс IP67 для БЛА	размер: 80x52x31 см вес брутто: 18,5 кг
Защитный транспортировочный кейс IP67 для НСУ	размер: 100.00x42x18 см вес брутто: 20,5 кг
Чехол со складной катапульты	размер: 119x22x19 см вес брутто: 11кг
Температура эксплуатации	от -20 до +40 °С (расширенный диапазон -40 до +50)
Защитный транспортировочный кейс IP67 для БЛА	размер: 80x52x31 см вес брутто: 18,5 кг
Защитный транспортировочный кейс IP67 для НСУ	размер: 100.00x42x18 см вес брутто: 20,5 кг

Так как беспилотный аппарат Geoscan 201 относится к самолётному типу, то его запуск выполняется с катапульты (рис.4.4), а посадка совершается с помощью парашюта (рис.4.5).



Рис.4.4 Запуск Geoscan 201



Рис.4.5 Посадка БПЛА Geoscan 201

БПЛА вертолётного типа – подъёмная сила создаётся несущим винтом или несколькими винтами. Достоинствами этого типа являются вертикальный взлёт и посадка, зависание в воздухе, точного маневрирования, но они имеют меньший запас энергии и меньшую дальность хода. Данные БПЛА подходят для миссий, в которых необходима высокая точность позиционирования, вроде проверки состояния железной дороги, трубопроводов, построек и т.д. Внешний вид данного типа БПЛА представлен на рисунке 4.6. В настоящее время **Geoscan 201** активно используются для аэрофотосъёмки небольших по площади территорий и узких по протяженности в республике Узбекистан.

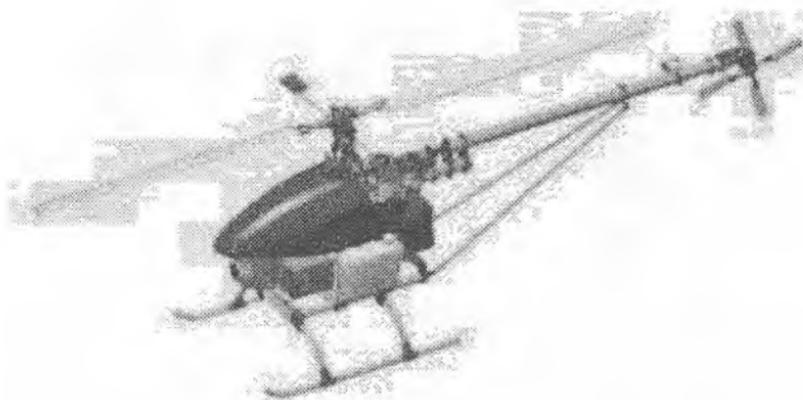


Рис.4.6 БПЛА- вертолётного типа

Мультироторные БПЛА – то же что и БПЛА вертолётного типа, но имеет больше несущих винтов.

Мультироторные БПЛА подразделяются на:

- 3 несущих винта (трикоптеры);
- 4 несущих винта (квадракоптеры);
- 6 несущих винтов (гексакоптеры);
- 8 несущих винтов (октокоптеры).

При этом они имеют практически такие же качества, как винтокрылые, однако намного устойчивее, более маневрен-

ные и лёгкие в управляемости. Предназначением мультироторных БПЛА являются миссии, требующие особой точности. Внешний вид трикоптера представлен на рис.4.7, квадрокоптера на рис. 4.8, а на рисунке 4.9 представлен внешний вид гексокоптера MMC 6 Plus. Представленные на рисунках 4.8 и 4.9 виды мультироторных дронов успешно эксплуатируются на топографо-геодезических предприятиях Узбекистана.



Рис.4.7 Трикоптер Xiaomi Yi Erida

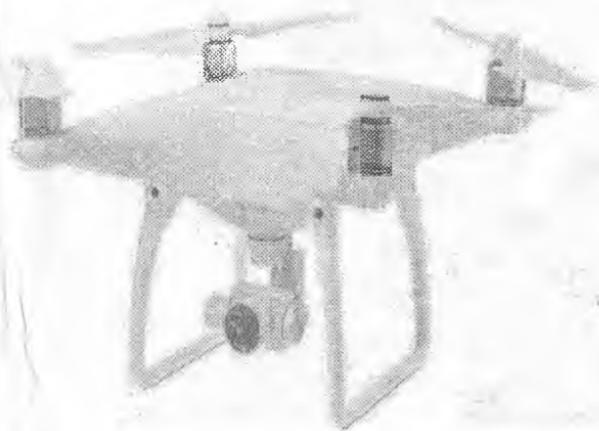


Рис.4.8 Квадрокоптер **Phantom 4 Pro**

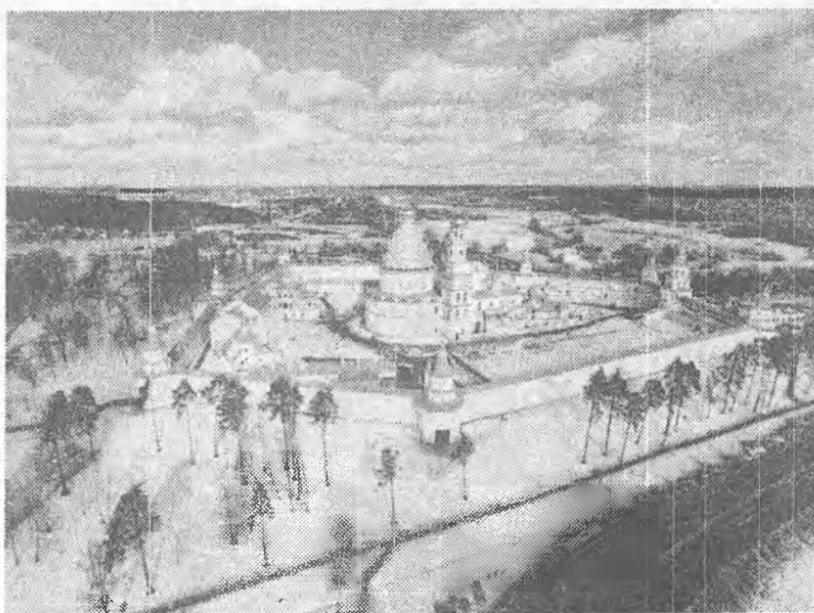


Рис. 4.9 Съёмка с квадрокоптера



Рис. 4.10 Облёт препятствия



Рис.4.11 Слежение за объектом

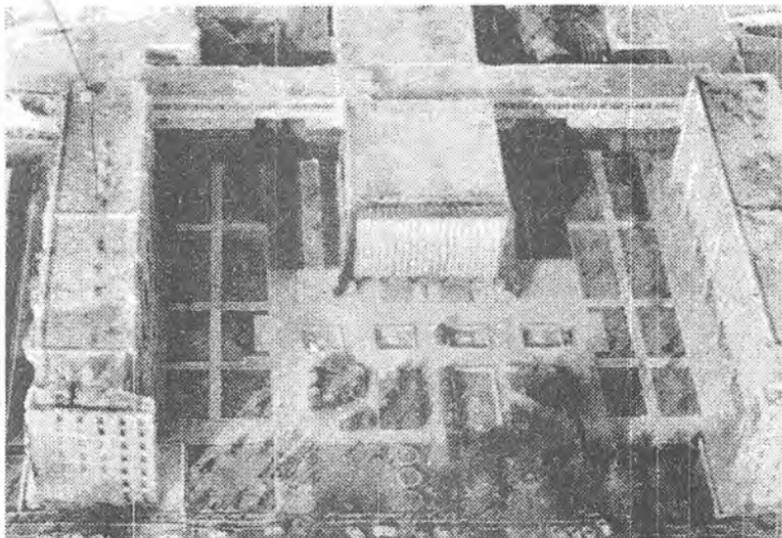


Рис. 4.12 Фрагмент территории Ташкентского института ирригации и мелиорации сельского хозяйства, снятого с квадрокоптера Phantom 4 Pro

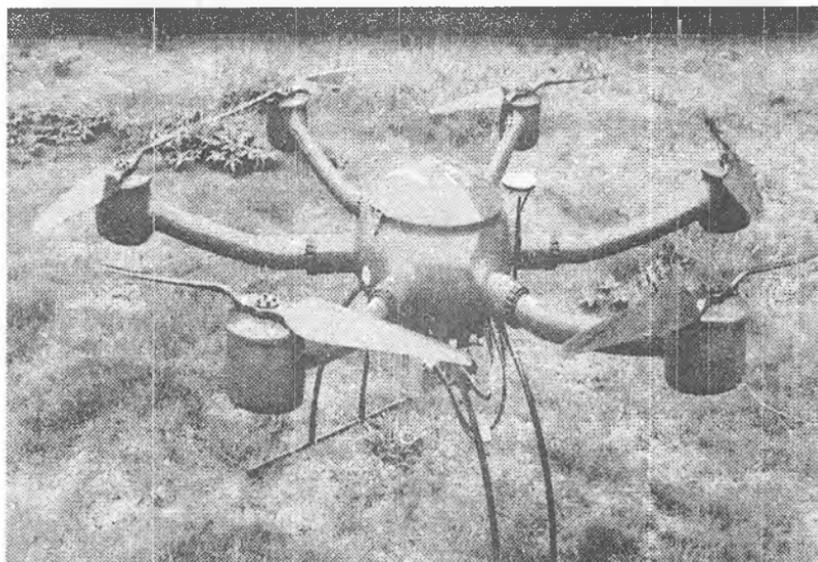


Рис.4.13 Внешний вид гексакоптера китайской компании MMC A 6 Plus

А 6 PLUS – это усовершенствованный многофункциональный беспилотный летательный аппарат с высокой безопасностью и грузоподъемностью. Благодаря стандартной «самонастраиваемой» системе, беспилотный летательный аппарат имеет универсальный порт крепления. Сменные крепления можно быстро и легко установить для изменения функции беспилотного летательного аппарата, просто подключив их А 6 PLUS в различных работах с перевозкой грузов, проводить технический осмотр на объектах, использование при прокладке линий электропередач, картографировании, пожаротушении и т.д. Это профессиональный дрон для аэрофотосъемки со временем полета до 75 мин. и максимальным весом полезной нагрузки до 7 кг. Дрон имеет хорошую защищенность от ветра, дождя и огня, что позволяет работать с ним в самых тяжелых условиях.

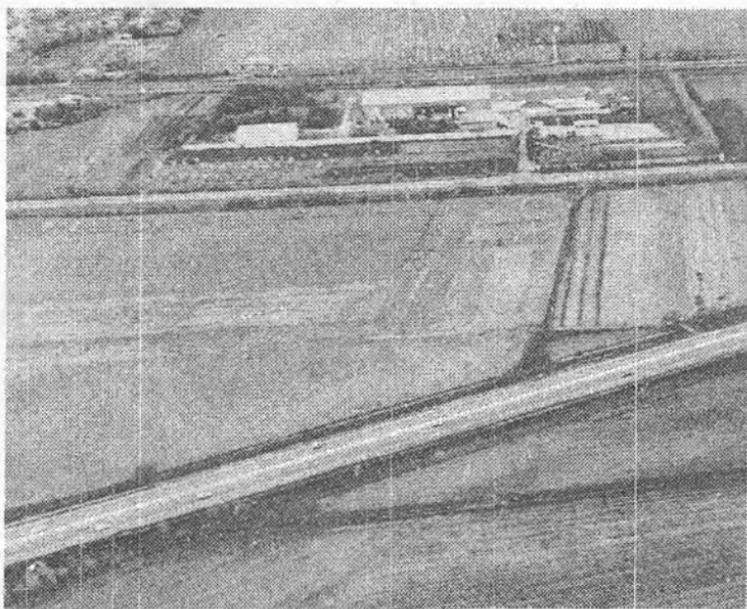


Рис. 4.14 Съёмка трассы Бостанлык-Газалкент с гексакоптера ММС А 6 Plus

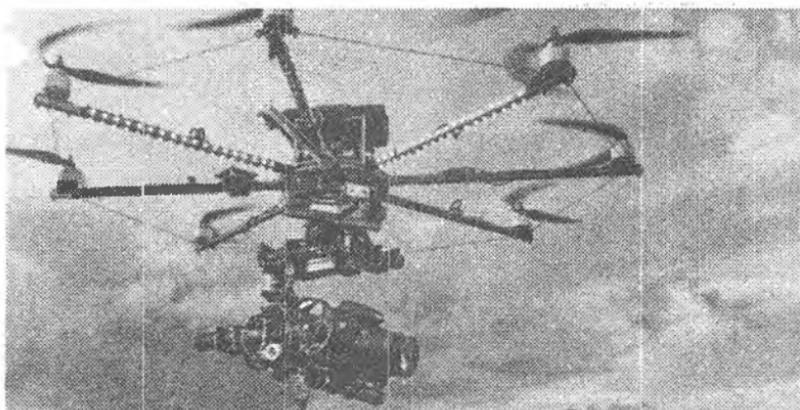


Рис 4.15 Октокоптер

Октокоптер считается самым оптимальным видом оборудования, который предназначен для выполнения воздушной видеосъемки при любых условиях. Он представляет собой радиоуправляемый летательный аппарат. Также аппарат может использоваться для охранных функций и для перевозки грузов. Благодаря устройствам такого типа теперь доступна съемка самых различных объектов, причем и в труднодоступных местах. Поэтому октокоптеры очень популярны на сегодняшний момент у профессионалов, которые занимаются в основном аэровидеосъемкой и аэрофотосъемкой.

Очень важны характеристики такого устройства, так как от этого зависит качество изображения. Оборудование должно быть максимально надёжным, обладать стабильными полётными характеристиками, отличной грузоподъемностью, чтобы было возможно перенесение камеры и другого дополнительного оборудования для аэросъемки. Октокоптер имеет большое количество винтов, что обеспечивает высокую управляемость, удобство в эксплуатации. В основном оборудование изготовлено из стеклотекстолита и высокопрочного карбона. Запуск мультироторных дронов производится с пульта управления, а посадка на выдвижное шасси или на корпус (рис 4.16, 4.17).



Рис.4.16 Посадка БПЛА ММС А 6 Plus  
на выдвижное шасси



Рис.4.17 Посадка квадрокоптера **Phantom 4 Pro**

Преимущества беспилотной аэрофотосъёмки очевидны:

- в отличие от космических снимков — большое разрешение, возможность перспективной и панорамной съёмки, съёмка на малой высоте, что даёт возможность не учитывать облачность;

- в отличие от съёмки на пилотируемых самолётах — безопасность экипажа, низкая стоимость, отсутствие необходимости в аэродромном базировании, отсутствие требования к разрешениям и согласованиям полетов;

- в отличие от полевых геодезических методов — оперативность;

- возможность оперативного мониторинга за различными процессами.

## ГЛАВА 5. АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ СЪЁМКА

### 5.1 Понятие о космической съёмке

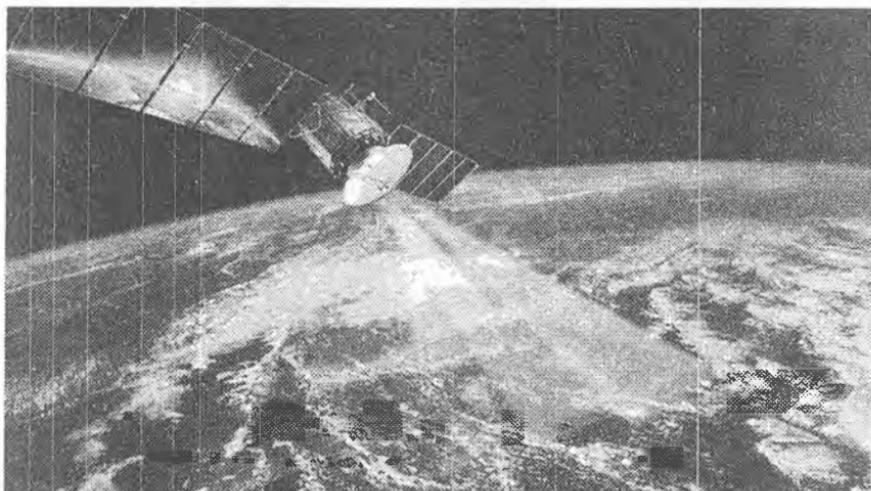


Рис.5.1 Космическая съёмка

Первая фотография из космоса была сделана 24 октября 1946 года с ракеты V-2 (США), но считается, что эпоха космической съёмки началась в 1972 году, когда был запущен первый аппарат программы Landsat. За практически 50-летнюю историю космическая съёмка преобразилась до неузнаваемости: плёнку заменили цифровые носители, пространственное разрешение снимка улучшилось с 1000 м до 0,3 м, а количество возможных спектральных каналов съёмки увеличилось с 1 до 256.

В настоящее время основной информацией для картографирования Земли, Луны и планет, а также для исследований природных ресурсов являются изображения физической поверхности этих тел, полученные специальной съёмочной аппаратурой, установленной на искусственных спутниках.

При выполнении съёмки из космоса на борту искусственных спутников Земли (ИСЗ) и планет устанавливаются топографические и звёздные камеры для синхронного фотографирования поверхности планеты и звёздного неба. А также фототелевизионные, телевизионные, оптико-телевизионные камеры и другие виды съёмочной аппаратуры.

Космическая фотосъёмка - технологический процесс фотографирования земной поверхности с космического летательного аппарата (спутника) с целью получения фотографических изображений местности (фотоснимков) с заданными параметрами и характеристиками.

К основным задачам космических съёмок относятся:

- исследования планет Солнечной системы;
- изучение и рациональное использование природных ресурсов Земли;
- изучение антропогенных изменений земной поверхности; исследование Мирового океана;
- исследование загрязнения атмосферы и океана;
- мониторинг окружающей среды;
- исследование акваторий шельфов и прибрежных частей суши.

Основным отличием фотографирования из космоса является:

- большая высота, скорость полёта и их периодическое изменение при движении космического летательного аппарата (КЛА) по орбите;
- вращение Земли, а следовательно, и объектов съёмки относительно плоскости орбиты;
- быстрое изменение освещённости Земли по трассе полёта КЛА;
- фотографирование через весь слой атмосферы;
- фотографическая аппаратура полностью автоматизирована.

Большая высота съёмки вызывает уменьшение масштаба снимка. Выбор высоты орбиты осуществляется исходя из задач, которые решаются при съёмке, и необходимости получения фотографических снимков определенного масштаба. В связи с этим повышаются требования к оптической системе фотоаппаратов с точки зрения качества изображения, которое должно быть хорошим по всему полю. Особенно высоки требования к геометрическим искажениям.

Мы являемся свидетелями того, как человек постепенно осваивает околоземное пространство и автоматами, посылаемыми с Земли, успешно изучают другие планеты солнечной системы. Созданные людьми и запущенные в космос искусственные спутники Земли передают на Землю фотографии нашей планеты, сделанные с больших высот.

Таким образом, сегодня можно говорить о космической геодезии, или, как её ещё называют спутниковой геодезии. Уже в настоящее время снимки, сделанные из космоса, используются для внесения изменения в содержания карт, являясь наиболее оперативным средством для выявления этих изменений. Дальнейшее развитие космической картографии приведет ещё к более значительным результатам.

Значимость, преимущество снимков Земли из Космоса по сравнению с обычными аэрофотоснимками, бесспорны. Прежде всего, их обзорность — снимки с высоты в сотни и тысячи километров позволяют получать и изображения с охватом аэросъёмки, и изображения территории протяженностью в сотни и тысячи километров. Кроме того, они обладают свойствами спектральной и пространственной генерализации, т.е. отсеиванием второстепенного, случайного и выделением существенного, главного. Космическая съёмка даёт возможность получать изображение через регулярные промежутки времени, что в свою очередь, позволяют исследовать динамику любого процесса.

Возможность получения космических снимков привела к появлению целого ряда новых тематических карт – карт таких явлений, многочисленные характеристики которых получить другими методами практически невозможно. Так, впервые в истории науки были составлены глобальные карты облачного покрова и ледовой обстановки. Космические снимки незаменимы при изучении динамики атмосферных процессов – тропических циклонов и ураганов. Для этих целей особенно эффективна съёмка с геостационарных спутников – спутников «неподвижно» зависших над одной точкой поверхности Земли, или, точнее движущихся вместе с землёй с одной и той же угловой скоростью.

Принципиально новую информацию космические снимки дали геологам. Они позволили повысить глубинность исследований и породили новый вид картографических произведений – «космофотогеологические» карты. Важнейшим достоинством космических снимков является возможность ведения на них новых черт строения территорий, незаметных на обычных аэрофотоснимках. Именно фильтрация мелких деталей ведёт к пространственной организации разорённых фрагментов крупных геологических образований в единое целое. Хорошо заметные на снимках линейные разрывные нарушения, называемые линеаментами, не всегда удаётся обнаружить при непосредственных полевых обследованиях. Карты линеаментов оказывают существенную помощь при глубинных поисках полезных ископаемых. Неизвестные ранее геологические структуры таким путём открыты в среднем течении Вилыя.

Снимки из Космоса сегодня интенсивно используются в гляциологии, они являются основным исходным материалом. Практически, все первопроходцы космоса, особенно участники длительных космических полётов, успешно решают различные задачи тематического картографирования. В нашей стране леса занимают более половины территории

суши. Информация о многочисленных характеристиках этого лесного фонда огромна и должна регулярно обновляться. Гигантские объёмы оперативной, всеобъемлющей и в то же время детальной информации немыслимы без помощи космонавтов и космического фотографирования. Практика уже доказала, что космическое картографирование лесов, необходимое звено их изучения и управления ресурсами. Регулярное космическое картографирование изменений, происходящих в лесах очень важно для предупреждения и локализации вредных воздействий, решения задач охраны природы. Только с помощью космической техники удаётся получать информацию о санитарном состоянии лесов, а с помощью ежедневных съёмок со спутников «Метеор» данные о пожарной обстановке в лесах. Космическое непрерывное картографирование состояния окружающей среды сегодня обозначают термином «мониторинг». Диапазон средств и методов картографа становится всё шире: от космических высот до подводных глубин, но везде – у пульта управления космическим топографом – планетоходом, у обычного теодолита, у создания карты стоит человек.

## 5.2. Виды космических съёмок

Космическую съёмку ведут разными методами.

По характеру покрытия земной поверхности космическими снимками можно выделить следующие съёмки:

- одиночное фотографирование,
- маршрутную,
- прицельную,
- глобальную съёмку.

**Одиночное (выборочное)** фотографирование выполняется космонавтами ручными камерами. Снимки обычно получаются перспективными со значительными углами наклона.

**Маршрутная съёмка** земной поверхности производится вдоль трассы полёта спутника. Ширина полосы съёмки зависит от высоты полёта и угла обзора съёмочной системы.

**Прицельная (выборочная) съёмка** предназначена для получения снимков специально заданных участков земной поверхности в стороне от трассы.

**Глобальную съёмку** производят с геостационарных и полярно-орбитальных спутников. Четыре-пять геостационарных спутников на экваториальной орбите обеспечивают практически непрерывное получение мелко-масштабных обзорных снимков всей Земли (космическое патрулирование) за исключением полярных шапок.

**Аэрокосмический снимок**— это двумерное изображение реальных объектов, которое получено по определенным геометрическим и радиометрическим (фотометрическим) законам путем дистанционной регистрации яркости объектов и предназначено для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения.

Космический снимок по своим геометрическим свойствам принципиально не отличается от аэрофотоснимка, но имеет особенности, связанные с:

- фотографированием с больших высот,
- и большой скоростью движения.

Так как спутник по сравнению с самолетом движется значительно быстрее, то требует коротких выдержек при съёмке.

Космическая съёмка различается по:

- масштабам,
- пространственному разрешению,
- обзорности,
- спектральным характеристикам.

Эти параметры определяют возможности дешифрирования на космических снимках различных объектов и решения

тех геологических задач, которые целесообразно решать с их помощью.

На сегодняшний день космическая съёмка различается ещё и по следующим признакам: направлению применения, количеству спектральных каналов, пространственному разрешению, типу съёмочной аппаратуры и т. д.

Рассмотрим особенности пространственного разрешения спутниковых снимков. В отличие от других источников пространственной информации космические снимки дешифрируются не в масштабе съёмки, а с достаточно большим увеличением. Поэтому понятие масштаба считается весьма условным, гораздо более важно для космической съёмки понятие пространственного разрешения.

Пространственное разрешение — размер самой малой детали местности, воспроизводимой на снимке, определяется размером пикселя. То есть, у снимка с пространственным разрешением 1 м пиксель имеет размер 1х1 м.

**Типы пространственного разрешения спутниковых изображений:**

- Очень низкое (хуже 100 м).
- Низкое (15–100 м).
- Среднее (5–15 м).
- Высокое (1–2,5 м).
- Сверхвысокое (0,3–1 м).

На данный момент не существует унифицированной классификации типов пространственного разрешения, поэтому возьмём предложенную нами за образец.

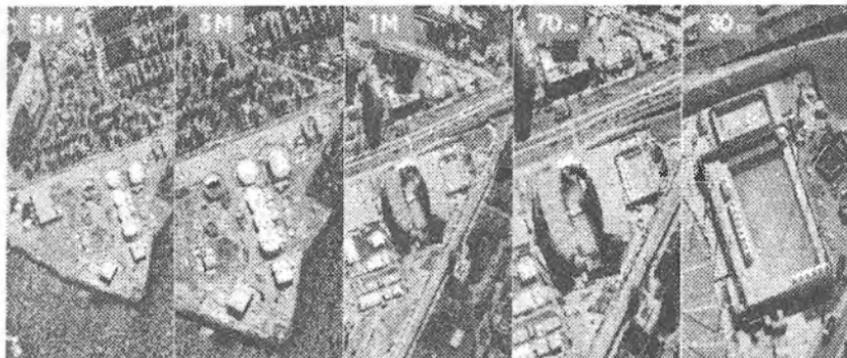


Рис.5.2 Сравнение пространственного разрешения среднего, высокого и сверхвысокого.

Космическая съёмка с очень низким пространственным разрешением крайне важна для жизнедеятельности человека, и косвенно каждый из нас ежедневно пользуется этими данными. Съёмка очень низкого пространственного разрешения используется в метеорологии и мониторинге глобальных процессов на Земле. С их помощью специалисты оперативно получают всю информацию о состоянии атмосферы Земли и процессах, протекающих в ней, таких, как формирование ураганов, пылевых бурь и т. д. Спутники с очень низким пространственным разрешением являются основным источником информации о состоянии морей и океанов, например, о ледовой обстановке. Основными преимуществами снимков с очень низким пространственным разрешением являются оперативность получения данных (до 1 раза в час) и глобальность охвата. Например, КА Terra Modis имеет ширину полосы охвата в 2330 км. Космическая съёмка с низким пространственным разрешением крайне важна для решения ряда задач государственных структур, таких, как МЧС и Гидрометцентр. Их используют для глобального экологического мониторинга, контроля чрезвычайных ситуаций (наводнений и естественных пожаров), мониторинга снежного покрова и др. Данный вид спутников

используется для анализа и прогноза погоды в региональном масштабе и мониторинге климата на уровне государственном.

Самой популярной является космическая съёмка со средним пространственным разрешением. И это легко объяснить, ведь именно к данному типу съёмки относятся бесплатные снимки с самым высоким пространственным разрешением до 10 м. Всё научное сообщество активно их использует для самых разнообразных задач, например, по ним студенты изучают космическую съёмку и методы её обработки. У таких спутников, как Landsat-8, важной особенностью является наличие большого количества спектральных каналов, что позволяет решать крайне разнообразные задачи:

- Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур.
- Инвентаризация сельскохозяйственных угодий, создание планов землепользования, точное земледелие.
- Поиск полезных ископаемых.
- Мониторинг мелких и средних водоёмов.
- Мониторинг чрезвычайных ситуаций.
- Инвентаризация и оценка состояния лесов.
- Широкий круг задач в области охраны окружающей среды и т.д.

По данным среднего пространственного разрешения также можно проводить работы по созданию и обновлению топографических карт масштаба от 1:100 000 и мельче. Именно данные среднего пространственного разрешения большинство популярных приложений используют в качестве единой подложки с космическими снимками на всю территорию Земли.

На этом преимущества снимков со средним пространственным разрешением не заканчиваются. За счёт достаточно большой площади снимка (200–300 км по ширине) покрытие обновляется с завидной регулярностью — каждые 2–3 дня на одну и ту же территорию.

Несмотря на множество преимуществ, снимки со средним пространственным разрешением не позволяют решать абсолютно все задачи. Для многих сфер жизнедеятельности человека необходимы снимки с гораздо более высоким пространственным разрешением.

Первые космические снимки высокого пространственного разрешения были получены в 1980-е годы. Такие съёмочные системы находились на военных спутниках, были созданы специально для нужд разведки и поставляли данные для составления карт вражеских территорий во время холодной войны. На советских спутниках «Комета» находилась камера КВР-1000, которая позволяла делать детальные снимки с пространственным разрешением 2 м.

Сейчас спектр применения данных высокого пространственного разрешения стал гораздо шире, а с появлением группировки PlanetScope покрытие обновляется практически ежедневно.

Краткий перечень задач, решаемых с помощью снимков с высоким пространственным разрешением:

- Создание и обновление топографических и специальных карт вплоть до масштаба 1:25 000.

- Создание цифровых моделей рельефа с точностью 5–10 м по высоте.

- Инвентаризация и контроль строительства объектов инфраструктуры транспортировки и добычи нефти и газа.

- Мониторинг экологического состояния территорий в районах добычи, переработки, транспортировки нефти и газа, других полезных ископаемых.

- Обновление топографической подосновы для разработки проектов схем территориального планирования муниципальных районов и субъектов федерации.

- Выполнение лесоустроительных работ, инвентаризация лесов, регулярный контроль лесопользования и мониторинг состояния лесов.

- Инвентаризация сельскохозяйственных угодий, мониторинг состояния посевов, оценка засорённости, выявление вредителей и болезней сельско-хозяйственных культур, прогнозирование урожайности.

- Мониторинг и прогнозирование процессов заболачивания и опустынивания, засоления, карста, эрозии, степных пожаров и т. п.

Сейчас практически у каждой развитой страны есть собственные спутники высокого пространственного разрешения, которые активно используются в государственных целях.

Примеры спутников с высоким пространственным разрешением: GaoFen-2 (рис.5.3), ZiYuan-2, Spot-6,7, «Канопус-В» и др.

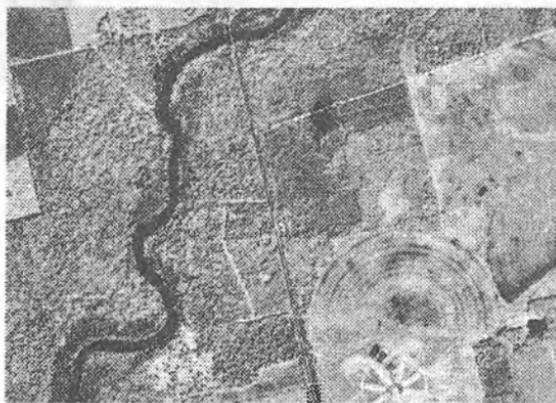


Рис.5.3 Снимок со спутника GaoFen-2, пространственное разрешение 2м

С 1999 года началась эпоха развития космической съёмки. 24 сентября 1999 года был запущен первый спутник со сверхвысоким пространственным разрешением— 1м — Икопос. Практически следом за ним, 18 октября 2001 года, был запущен первый спутник, позволяющий делать изображения с разрешением 0,6 м — QuickBird.

Компания GeoEye (ныне Maxar Technologies) задала новый вектор развития космической съёмки, и с тех пор пространственное разрешение улучшилось до 0,3 м с помощью спутника WorldView-3 (рис.5.4).



Рис.5.4 Снимок со спутника WorldView-3, пространственное разрешение 0,3 м

Помимо высокого пространственного разрешения в панхроматическом канале, были сделаны большие успехи и в мультиспектральном диапазоне: на спутнике WorldView-3 расположена камера с 28-ю спектральными каналами высокого разрешения.

Краткий перечень задач, решаемых с помощью данных сверхвысокого пространственного разрешения:

- Создание и обновление топографических карт и планов масштаба до 1: 2 000.

- Создание цифровых моделей рельефа высокой точности.

- Инженерные изыскания для строительства объектов инфраструктуры транспортировки и добычи нефти и газа.

- Выполнение лесоустроительных работ, инвентаризация и оценка состояния лесов.

- Инвентаризация сельскохозяйственных угодий, мониторинг состояния посевов, оценка засоренности, выявление вредителей и болезней сельхоз культур, прогнозирование урожайности.

- Создание планов землепользования.

- Создание планов городов и схем территориального планирования муниципальных районов.

- Инвентаризация и мониторинг состояния транспортных, энергетических и информационных коммуникаций.

- Наблюдение за природными бедствиями.

- Контроль использования природных ресурсов.

С появлением съёмки со сверхвысоким пространственным разрешением стало возможно выявлять незаконные свалки, незаконную добычу полезных ископаемых, мелкие участки вырубок и другие правонарушения, а также решать территориальные споры.

На данный момент операторы спутников решают непростую задачу—оставить в использовании только космическую съёмку со сверхвысоким пространственным разрешением и добиться частоты её обновления, как у съёмки с высоким разрешением.

Примеры спутников со сверхвысоким пространственным разрешением: WorldView-2,3, Kompsat-3,3A, SuperView, Gaofen-2, TripleSat и др.

### **5.3. Использование космических снимков в картографии**

Особенно широкое применение снимкам из космоса нашли в картографии. И это понятно, потому что космический фотоснимок точно и с достаточной подробностью запечатлевает поверхность Земли, и специалисты могут легко перенести изображение на карту.

Чтение (дешифрирование) космических снимков, также, как и аэрофотоснимков, основано на опознавательных (дешифровочных) признаках. Основными из них служат форма объектов, их размеры и тон. Реки, озёра и другие водоёмы изображаются на снимках тёмными тонами (чёрным цветом) с чётким выделением береговых линий. Для лесной растительности характерны менее тёмные тона мелкозернистой структуры. Подробности горного рельефа хорошо выделяются резкими контрастными тонами, которые получаются на фотографии в результате различной освещённости противоположных склонов. Населённые пункты и дороги также можно опознать по своим дешифровочным признакам, но только под большим увеличением. На топографских отрисках этого сделать нельзя.

Использование космических снимков в картографических целях начинают с определения их масштаба и привязки к карте. Эту работу обычно выполняют по карте более мелкого масштаба, чем масштаб снимка, так как на неё приходится наносить границы не одного, а целого ряда снимков.

Сличая снимок с картой, можно узнать, что и как изображено на снимке, как это показано на карте и какие дополнительные сведения о местности даёт фотоизображение земной поверхности из космоса. И даже в том случае, если карта будет того же масштаба, что и фотоснимок, все равно по снимку можно получить более обширную и главное — свежую информацию о местности по сравнению с картой.

Составление карт по космическим снимкам выполняют так же, как и по аэрофотоснимкам. В зависимости от точности и назначения карт применяют различные методы их составления с использованием соответствующих фотограмметрических приборов. Наиболее легко изготовить карту в масштабе снимка. Именно такие карты и помещают обычно рядом со снимками в альбомах и книгах. Для их составления достаточно

скопировать на кальку со снимка изображения местных предметов, а затем с кальки перенести их на бумагу.

Такие картографические чертежи называют картосхемами. Они отображают только контуры местности (без рельефа), имеют произвольный масштаб и не привязаны к картографической сетке.

В картографии космические снимки используют прежде всего для создания мелкомасштабных карт. Достоинство космического фотографирования в этих целях заключается в том, что масштабы снимков сходны с масштабами создаваемых карт, а это исключает ряд довольно трудоёмких процессов составления. Кроме того, космические снимки как бы прошли путь первичной генерализации. Это происходит в результате того, что фотографирование выполняется в мелком масштабе.

В настоящее время по космическим снимкам созданы разнообразные тематические карты. В ряде случаев характеристики некоторых явлений можно определить только по космическим снимкам, а получить их другими методами невозможно. По результатам космического фотографирования обновлены и детализированы многие тематические карты, созданы новые типы геологических ландшафтных и других карт. При составлении тематических карт особенно полезными являются снимки, полученные в различных зонах спектра, так как они содержат богатую и разностороннюю информацию.

Космические снимки нашли широкое применение при изготовлении промежуточных картографических документов - фотокарт. Их составляют так же, как и фотопланы, путем мозаичного склеивания отдельных снимков на общей основе. Фотокарты могут быть двух видов: на одних показано только фотографическое изображение, а другие дополнены отдельными элементами обычных карт. Фотокарты, как и отдельные снимки, служат ценными источниками изуче-

ния земной поверхности. Вместе с тем они являются дополнительным материалом к обычной карте и в полной мере заменить её не могут.

Облик Земли постоянно меняется, и любая карта постепенно стареет. Космические снимки содержат самые свежие и достоверные сведения о местности и успешно используются для обновления карт не только мелкого, но и крупного масштаба. Они позволяют исправлять карты больших территорий земного шара. Особенно эффективно космическое фотографирование в труднодоступных районах, где полевые работы связаны с большой затратой сил и средств.

Съёмка из космоса применяется не только для картографирования земной поверхности. По космическим фотоснимкам составлены карты Луны и Марса. При создании карты Луны были использованы также и данные, полученные с автоматических самоходных аппаратов «Луноход-1» и «Луноход-2». Как же велась съёмка с их помощью? При движении самоходного аппарата прокладывался так называемый съёмочный ход. Его назначение создать каркас, относительно которого на будущую карту будут наносить топографическую ситуацию. Для построения хода измерялись длины пройденных отрезков пути и углы между ними. С каждой точки стояния «Лунохода» выполнялась телевизионная съёмка местности. Телевизионные изображения и данные измерений передавались по радиоканалу на Землю. Здесь производилась обработка, в результате которой составлялись планы отдельных участков местности. Эти отдельные планы привязывались к съёмочному ходу и объединялись.

Карта Марса, составленная по космическим снимкам, менее подробна по сравнению с картой Луны, но всё же она наглядно и достаточно точно отображает поверхность планеты (рис. 5.2). Карта сделана на тридцати листах в масштабе 1:5000000 (в 1 см 50 км). Два околополюсных листа со-

ставлены в азимутальной проекции, 16 околоэкваториальных листов - в цилиндрической, а остальные 12 листов - в конической проекции. Если все листы склеить друг с другом, то получится почти правильный шар, т. е. глобус Марса.

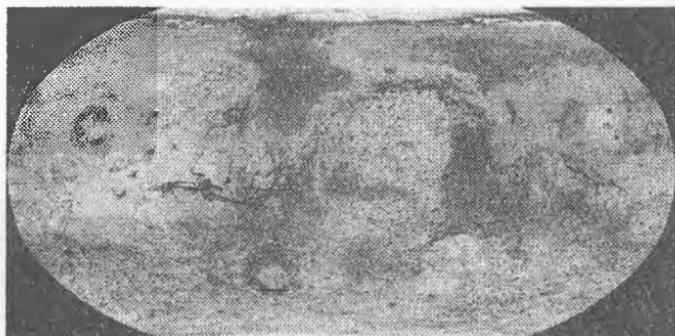


Рис.5.3 Карта Марса

Основой для карты Марса, как и для карты Луны, послужили сами фотоснимки, на которых поверхность планеты изображена при боковом освещении, направленном под определенным углом. Получилась фотокарта, на которой рельеф изображен комбинированным способом - горизонталями и естественной теневой окраской. На такой фотокарте хорошо читается не только общий характер рельефа, но и его детали, особенно кратеры, которые нельзя отобразить горизонталями, так как высота сечения рельефа составляет 1 км.

Значительно сложнее обстоит дело со съёмкой Венеры. Её нельзя сфотографировать обычным путём, потому что она укрыта от средств оптического наблюдения плотными облаками. Тогда появилась мысль сделать её портрет не в световых, а в радиолучах. Для этого разработали чувствительный радиолокатор, который мог как бы прошупывать поверхность планеты.

Чтобы разглядеть ландшафт Венеры, надо приблизить радиолокатор к планете. Это и сделали автоматические межпланетные станции «Венера-15» и «Венера-16».

Сущность радиолокационной съёмки заключается в следующем. Установленный на станции радиолокатор посылает отражённые от Венеры радиосигналы на Землю в центр обработки радиолокационной информации, где специальное электронно-вычислительное устройство преобразует полученные сигналы в радио изображение.

С ноября 1983 г. по июль 1984 г. радиолокаторы «Венеры-15» и «Венеры-16» отсняли северное полушарие планеты от полюса до тридцатой параллели. Затем с помощью ЭВМ на картографическую сетку было нанесено фотоизображение поверхности Венеры и, кроме того, построен профиль рельефа по линии полета станции.

#### **5.4. Космические методы контроля за окружающей средой**

В настоящее время проблема охраны окружающей среды носит глобальный характер. Вот почему всё большее значение приобретают космические методы контроля, позволяющие увеличить объём исследований и ускорить получение и переработку данных. Основное средство осуществления контроля — это система космических съёмок, опирающаяся на сеть наземных пунктов. Эта система включает фотографирование с искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций. Полученные фотоизображения поступают в наземные приёмные центры, где ведётся переработка информации.

Что же видно на космических снимках? Прежде всего — почти все формы и виды загрязнений окружающей среды. Промышленность — главный источник загрязнения природы. Деятельность большинства производств сопровождается выбросами отходов в атмосферу. На снимках отчетливо

фиксируются шлейфы таких выбросов и простирающиеся на многие километры дымовые завесы. При большой концентрации загрязнений сквозь них не просматривается даже земная поверхность. Известны случаи, когда вблизи некоторых североамериканских металлургических предприятий погибала растительность на шлокили несколько квадратных километров. Здесь уже сказывается не только воздействие вредных выбросов, но и загрязнение почвы и грунтовых вод. Эти районы представляются на снимках бледной сухой безжизненной полупустыней среди лесов и степей.

На фотоснимках хорошо заметны выносимые реками взвешенные частицы. Обильные загрязнения особенно характерны для дельтовых участков рек. К этому приводят эрозия берегов, сели, гидротехнические работы. Интенсивность механического загрязнения можно установить по плотности изображения водной поверхности: чем светлее поверхность, тем больше загрязненность. Малководные участки также выделяются на снимках светлыми пятнами, но в отличие от загрязнений носят постоянный характер, в то время как последние меняются в зависимости от метеорологических и гидрологических условий. Космическая съёмка позволила установить, что механическое загрязнение водоёмов возрастает в конце весны, начале лета, реже - осенью.

Химическое загрязнение акваторий может быть изучено с помощью многозональных снимков, которые фиксируют, насколько угнетена водная и окаймляющая побережье растительность. По снимкам можно установить и биологическое загрязнение водоёмов. Оно выдаёт себя чрезмерным развитием особой растительности, различимой на снимках в зелёной области спектра.

Выбросы промышленными и энергетическими предприятиями тёплой воды в реки хорошо выделяются на инфракрасных снимках. Границы распространения тёплой воды

позволяют прогнозировать изменения в природной среде. Так, например, тепловые загрязнения нарушают становление ледяного покрова, что хорошо заметно даже в видимом диапазоне спектра.

Большой ущерб народному хозяйству наносят лесные пожары. Из космоса они заметны прежде всего благодаря дымовому шлейфу, простирающемуся иногда на несколько километров. Космическая съёмка позволяет быстро определить масштабы распространения пожара. Кроме того, космические снимки помогают обнаружить, вблизи облачность, из которой вызывают обильный дождь при помощи специальных распыленных в воздухе реактивов.

Большой интерес представляют космические снимки пылевых бурь. Впервые стало возможно наблюдать их зарождение и развитие, следить за перемещением масс пыли. Фронт распространения пылевой бури может достигать тысячи квадратных километров. Чаще всего пылевые бури проносятся над пустынями. Пустыня — это не безжизненная земля, а важный элемент биосферы и поэтому нуждается в постоянном контроле.

А теперь перенесёмся на север нашей страны. Часто спрашивают, почему так много говорят о необходимости охраны природы Сибири и Дальнего Востока? Ведь интенсивность воздействия на неё пока во много раз меньше, чем в центральных районах.

Дело в том, что природа Севера значительно ранимей. Кто был там, тот знает, что после проехавшего по тундре вездехода почвенный покров не восстанавливается и развивается эрозия поверхности. Очищение водных бассейнов происходит в десятки раз медленнее, чем обычно, и даже небольшая вновь проложенная дорога может быть причиной трудно обратимого изменения природной обстановки.

Северные территории нашей страны простираются на 11 млн. км<sup>2</sup>. Это — тайга, лесотундра, тундра. Несмотря на тя-

железные жизненные условия и материально-технические трудности на Севере появляются всё больше городов, увеличивается население. В связи с интенсивным освоением территории Севера особенно остро ощущается нехватка исходных данных для проектирования населённых пунктов и промышленных объектов. Вот почему космическое изучение этих районов так актуально сегодня.

В настоящее время два родственных метода – картографический и аэрокосмический – тесно взаимодействуют при изучении природы, хозяйства и населения. Предпосылки такого взаимодействия заложены в свойствах карт, аэроснимков и космических снимков как моделей земной поверхности.

Космические съёмки решают разные задачи, связанные с дистанционным зондированием земли, и свидетельствуют об их широких возможностях. Поэтому космические методы и средства уже сегодня играют значительную роль в изучении Земли и околоземного пространства. Технологии идут вперед, в ближайшем будущем их значение для решения этих задач будут существенно возрастать.

## ГЛАВА 6. ЦИФРОВЫЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

### 6.1 Понятие о цифровых фотограмметрических станциях

Широкое внедрение вычислительной техники, сопровождаемое увеличением её мощности и быстродействия при снижении стоимости, успехи в области создания и использования географических информационных систем (ГИС) и технологий, а также применение изображений, получаемых цифровыми съёмочными системами, обусловили создание и использование цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) и рабочих станций. ЦФС широко внедряются в практику работ, так как позволяют в большей степени автоматизировать технологические процессы сбора и обновления топографической и тематической информации. В связи с этим интенсивно развиваются и совершенствуются методы цифровой обработки данных ДЗЗ.

Первые цифровые системы обработки изображений появились в 1960-х годах. Они базировались на аналитических фотограмметрических приборах, а основу работ составляла оцифровка небольших участков аналоговых снимков стереопары. В качестве примера можно назвать системы GRM (Gestalt, Канада) и «Модель» (ЦНИИГАиК).

В середине 1980-х годов полностью цифровые фотограмметрические системы появились за рубежом, а несколькими годами позже и в России. Следует подчеркнуть, что современное понятие цифровой фотограмметрической системы подразумевает нечто большее, чем просто обработку снимков. Речь идет об обработке различных по характеристикам и способам получения данных дистанционного зондирования и сопутствующей им геодезической, бортовой, картографической и иной информации.

Первые ЦФС были ориентированы на использование для обработки цифровой информации специальных дорогостоящих вычислителей и операционных систем. Массовое внедрение персональных компьютеров и поддерживающих их операционных систем кардинально изменили ситуацию.

В настоящее время все ведущие центры и фирмы, занимающиеся фотограмметрическим приборостроением, основные усилия направляют на разработку и создание цифровых фотограмметрических систем. Среди этих систем можно выделить такие как "Helava" (США), "Intergraph" (США), "Traster ТЮ" (Франция), "DAT/EM" (США) и другие и др., которые позволяют решать все фотограмметрические задачи при создании и обновлении карт по аэро и космическим снимкам. Эти станции имеют широкие возможности по автоматизации измерений при решении задач внутреннего и взаимного ориентирования снимков, внешнего ориентирования модели, при построении фототриангуляции, при создании цифровой модели рельефа и сборе 4 контуров. Кроме того, они позволяют получить ортофотокарту, а некоторые и построить обзорные перспективные изображения. Все эти станции ориентированы на компьютеры фирмы "Sun".

Несмотря на все свои очевидные достоинства, применение этих станций на российском рынке пока ограничено из-за их высокой стоимости.

Существуют и более дешёвые станции (стоимость которых примерно на порядок ниже), позволяющие решать задачи создания и обновления карт по отдельным стереопарам аэроснимков в интерактивном режиме с частичной автоматизацией стереоскопических измерений. Эти станции ориентированы на персональные компьютеры. Примером такой станции может служить "DVP", разработанная в Лавальском университете (Канада) и распространяемая фирмой "Leica".

Другим направлением является создание цифровых фотограмметрических станций для построения цифровых ортофотопланов по аэроснимкам с последующим использованием их для создания и обновления карт. Среди таких станций можно назвать "Og1:1юп" (Франция), "РЬосНз" (Германия), ориентированных на "Sun" и "OrthoKork" (США), "OrthoPhoto-SDS" (Россия) и другие для IBM PC. Эти станции позволяют выполнить ориентирование одиночного снимка, создать ортофо-тоизображение с учетом ЦМР, получить ортофотоплан и выполнить векторизацию контуров. Результаты векторизации могут быть экспортированы в различные ГИС.

В России также ведутся интенсивные работы по созданию цифровых фотограмметрических станций. В настоящее время на российском рынке имеются: ЦФС ЦНИИГАиК, "Photomod", "Талка", "SDS", "Апертура" и некоторые другие. Все эти станции предназначены для фотограмметрической обработки стереопар снимков с целью создания цифровых моделей местности и рельефа и ортофотопланов.

Цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) представляет собой набор специальных программных и аппаратных средств, предназначенных для фотограмметрической обработки данных аэросъёмки и космической съёмки. Обработка цифровых растровых снимков обычно производится в стереоскопическом режиме, с использованием специальных средств: 3D-мониторов, обычных мониторов со стереоскопической насадкой или обычных мониторов со стереоскопическими очками. Последний способ наиболее часто применяется в реальных производственных системах, так как меньше ограничивает движения оператора в пространстве и, при этом, даёт хороший стереоэффект в большом диапазоне точек пространства перед монитором. Для целей демонстрации и полупрофессионального использования также применяется анаглифический метод стерео. Результатом обработ-

ки являются цифровые топографические карты, ортофотопланы и топографическая основа для ГИС. Наиболее продвинутые ЦФС поставляют фирмы Intergraph (ImageStation) и Leica Geosystems (ERDAS IMAGINE). Из российских разработок заметна система PHOTOMOD. На Украине разработана ЦФС Delta, известная также под названием ЦФС ЦНИИГАиК. Эти системы являются новой продукцией из фотограмметрических средств для вывода метрической и семантической информации и предназначены для формирования цифрового изображения сфотографированного объекта. Их основой являются аналитические фотограмметрические алгоритмы. В отличие от аналитических систем у цифровых фотограмметрических рабочих станций нет оптических и механических элементов, так как все действия осуществляются посредством компьютерной обработки цифровых изображений. Цифровая фотограмметрическая станция представляет собой процессор с периферийным оборудованием, таким как, например:

— монитор с высокой разрешающей способностью; — устройство для стереонаблюдения; — измерительные устройства различного типа: трэкбол, роллер, специальная мышь, ручные колеса и педали. Для представления цифровых стереоизображений на мониторе цифровой рабочей станции

применяются следующие способы.

1. Показ одновременно двух изображений на экране, разделённом на две части, и их наблюдение при помощи стереоскопа.

2. Показ двух совмещенных цветных изображений на весь экран и их стереоскопическое наблюдение при помощи анаглифических очков.

3. Одновременный показ двух изображений на весь экран при частоте 100 Гц и их стереоскопическое наблюдение с помощью специальных очков, одновременно пропускающих и блокирующих свет. Для синхронизации работы

между экраном и очками необходима связь. Механическая версия работы с такими очками заменена очками с жидкокристаллическим затвором.

4. Одновременное генерирование двух изображений и их синхронизированный показ на поляризованном экране. Чтобы достичь стереоэффекта оператор должен смотреть на экран при помощи поляризационных очков. Первые цифровые фотограмметрические рабочие станции были разработаны и изготовлены следующими компаниями:

Leica Helava Systems, Zeiss/Intergraph Imaging и Supresoft (Китай). В настоящее время количество таких станций, разработанных различными компаниями, насчитывает несколько десятков.

Наибольшее влияние на развитие ЦФС могут оказать «наклонные» камеры, снимающие одновременно в надири и под углами к надиру. Это потребует доработки современных алгоритмов. Применяемые на ЦФС алгоритмы будут многопоточными. Алгоритмы обработки будут развиваться в сторону автоматизации процессов, распознавания образов, автоматической векторизации зданий, дорог, мостов, 3D обработки. Произойдет интеграция ЦФС и геопорталов.

В заключение следует сказать, что средства получения данных дистанционного зондирования непрерывно совершенствуются, что ведёт к повышению измерительных и изобразительных характеристик изображений, возможности использования бортовых данных для определения элементов внешнего ориентирования съёмочных платформ спутниковыми, инерциальными и иными системами. Все это должно учитываться при разработке методов обработки изображений и технологий получения цифровой информации о местности.

Можно выделить следующие тенденции развития цифровых систем:

1) Прямое определение элементов внешнего ориентирования изображений и оперативное картографирование на их основе (пока нетопографическое).

2) Расширение круга решаемых задач и используемых исходных данных путем интеграции фотограмметрических, картографических функций и ГИС.

3) Создание и использование трехмерных фотореалистичных сцен.

4) Автоматизация дешифрирования изображений, особенно топографических объектов.

## **6.2. Цифровая фотограмметрическая станция ERDAS IMAGINE**

Из зарубежных фотограмметрических систем можно выделить программный комплекс ERDAS IMAGINE (Leica Geosystems), который лидирует в области обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ)-аэро и космических снимков. Этот фотограмметрический комплекс оптимизирован для работы с большими изображениями в десятки и сотни гигабайт. Запустить в работу сразу можно от 4 до 4000 тыс. снимков. ERDAS IMAGINE решает две основные задачи обработки снимков - создание фотопланов, то есть картографических точных изображений поверхности земли, а также их дешифрирование с целью создания баз данных геоинформационных систем. Дополнительные модули расширяют базовый комплект трехмерной визуализацией, обработкой радарных снимков и другими специальными функциями. Очень важной особенностью данного комплекса является возможность 15% сжатия снимков без потери качества изображения. Например, несжатое изображение в 10GB после сжатия будет иметь всего 170 MB. Этот комплекс напрямую работает с данными ArcGIS, а файлы в формате ERDAS IMAGINE также используются в среде ArcGIS.

**ERDAS IMAGINE**— растровый графический редактор и программный продукт, первоначально разработанный компанией ERDAS Inc., и предназначенный для обработки данных дистанционного зондирования (в основном, данных ДЗЗ). В настоящее время продукт выпускает корпорация Intergraph. Продукт предназначен для работы с растровыми данными. Он позволяет обрабатывать, выводить на экран монитора и подготавливать для дальнейшей обработки в программных приложениях ГИС и САПР различные картографические изображения. ERDAS IMAGINE может также работать в режиме инструментального средства (Toolbox), позволяющего производить многочисленные преобразования растровых картографических изображений и одновременно способного снабжать их географической информацией.

Манипулируя значениями растровых данных и их географической позицией, можно обнаружить особенности местности, которые в нормальных условиях никогда не просматриваются, определять географические координаты этих объектов, которые при других условиях представляли ли бы из себя исключительно объекты графики. Уровень яркости или уровень отражённого света от поверхности Земли на конкретном изображении является ценной информацией при анализе состава минералов или растительности этой поверхности. Другим примером анализа изображений является извлечение линейных объектов, разработка пространственной модели обработки данных (spatial modeler), перевод данных из одного формата в другой (import/export), ортотрансформирование, составление мозаики из изображений, получение стерео изображений и автоматическое извлечение географических данных.

Ещё до создания полного спектра продуктов под общим названием ERDAS IMAGINE, компания ERDAS Inc. разработала несколько программных приложений для обработки

изображений, получаемых с различных сенсоров AVHRR, Landsat MSS, Landsat TM и SPOT. Результатом такой обработки становились карты землепользования, карты изменения площадей лесных насаждений, а также помощь в нахождении нефтяных месторождений. Изначально программное обеспечение ERDAS IMAGINE было написано на языке Фортран. Постепенно обновляясь, оно претерпело ряд существенных изменений с целью добавления поддержки различных оптических, радарных и других сенсоров, и, в результате, было переписано на язык C, а затем и на C++.

Первая версия ERDAS была выпущена в 1978 году на компьютере Cromemco, основанном на 8-битном процессоре Zilog Z80, под управлением операционной системы C-DOS. Система была встроена в рабочий стол и состояла из одного цветного монитора с разрешением 256 на 256 пикселей, одного чёрно-белого монитора и 28-дюймовых флоппи-дисков, служащих, один для программного обеспечения, а другой для записи данных. Некоторое время спустя была добавлена доска для цифрования (дигитайзер) и жёсткий диск, который не применялся ранее на компьютерах такого размера. Интересно, что использованный жёсткий диск фирмы CDC-Wren был размером с небольшую стиральную машину и позволял записывать до 80 МВ встроенной информации, а также 16 МВ выносной. После того как жёсткий диск был вмонтирован в станцию, инженеры компании ERDAS были вынуждены вырезать существенный кусок задней стенки стола для подвода различных кабелей.

Продукт ERDAS IMAGINE впервые был представлен широкой публике в октябре 1991 года и выпущен как версия 8.0 в свет в феврале 1992 года. Это версия была разработана под Sun Workstation с операционной системой SunOS и уже основывалась на графическом (Graphical User Interface), а не консольном интерфейсе, который помогал в визуализации изображений при картографировании, отображении вектор-

ных данных, созданию карт и т.д. Практически все функции версии ERSAS 7.5 постепенно переходили сначала в ERDAS 8.01, затем в версию 8.02, с тем, чтобы уже в версии ERDAS IMAGINE 8.1 окончательно интегрировать все свойства и функции ERDAS 7.5.

Взаимоотношения между продуктами ERDAS и ARC/INFO, которое началось с функции «ERDAS-ARC/INFO Live Link» было продолжено вплоть до версии ERDAS IMAGINE 8.2, выпущенной в феврале 1993 года, когда ERDAS впервые выпустил Векторный модуль (IMAGINE Vector Module). Этот модуль был полностью разработан инженерами компании ERDAS, но лицензирован под формат данных ESRI Arc Coverage. Этот модуль стал одним из наиболее популярных в серии продуктов ERDAS IMAGINE вплоть до выхода версии ERDAS IMAGINE 9.3 в сентябре 2008 года. В ноябре 1992 года компания ERDAS разработала Радарный модуль. Свойства этого модуля, который сейчас носит название «Radar Interpreter», обновлялись практически ежегодно.

В декабре 1991 года компания ERDAS выпустила в свет новый модуль для IMAGINE 7.5 — «ERDAS Digital Ortho». Этот модуль стал одним из первых коммерческих фотограмметрических пакетов. Позже модуль стал частью версии 8.0.1 со слегка изменённым именем «IMAGINE Digital Ortho», а затем, в версии 8.0.2, стал называться «IMAGINE OrthoMAX». Выпуск этого модуля позволил расширить рынок традиционных пользователей дистанционного зондирования и ГИС пользователями-фотограмметристами. В январе 1998 года в версии ERDAS IMAGINE 8.3.1 OrthoMAX был улучшен и переименован в OrthoBASE. Одновременно с выходом OrthoMAX в основное ядро IMAGINE была встроена возможность фотограмметрической работы с одиночными снимками. Все эти усилия дали возможность ГИС

пользователям проводить ортотрансформирование изображений на непромышленной основе.

На основе технологии ERDAS IMAGINE недавно был разработан новый продукт Leica Photogrammetry Suite (LPS), превращающий обычный персональный компьютер в комплекс цифровой фотограмметрии. Он не только включает функции ERDAS IMAGINE, но и дополняет их высокоточными инструментами для фотограмметрии.

### **6.3. Цифровая фотограмметрическая станция PHOTOMOD и ее основные функции**

**PHOTOMOD** (ЦФС PHOTOMOD, Фотомод) — первая разработанная в России цифровая фотограмметрическая система. Применяется для фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования Земли. Разработчиками данной программы является Российская компания «Ракурс». Эта компания одна из первых на Российском и мировом рынках предложила коммерческую цифровую фотограмметрическую систему для персональных компьютеров.

Первая версия ЦФС PHOTOMOD была выпущена в 1994 году коллективом выпускников Московского физико-технического института.

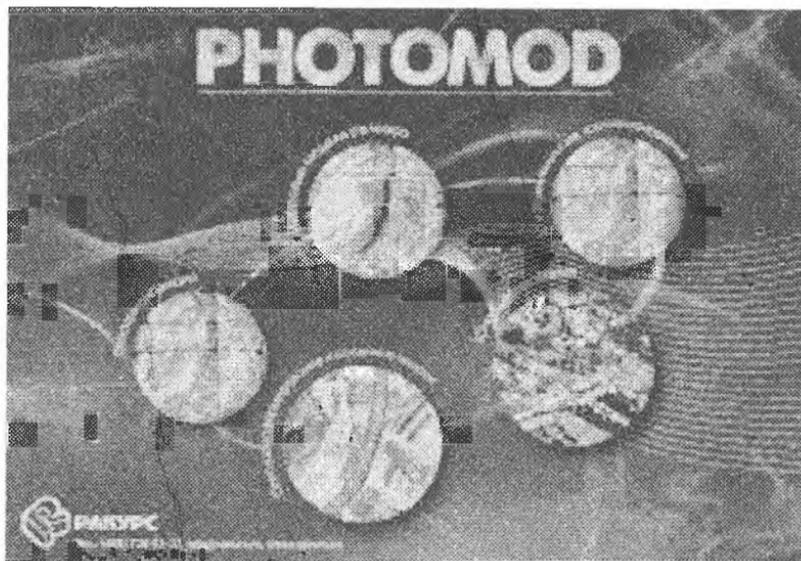


Рис. 6.1 Возможности ЦФС Photomod

В настоящее время системы PHOTOMOD успешно эксплуатируются на многих предприятиях Узбекистана, России, СНГ и дальнего зарубежья.

Программная система PHOTOMOD сертифицирована в ФКЦ «Земля» для использования в системе Госкомзема РФ 10.06.97 года.

Благодаря гибкой модульной структуре и сетевым возможностям PHOTOMOD может использоваться как:

- Локальная полнофункциональная цифровая фотограмметрическая станция;
- Распределённая сетевая среда для реализации больших проектов;
- Дополнительные рабочие места к имеющимся фотограмметрическим системам типа **Helava**, **Integraph** для выполнения наиболее трудоёмких операций (стерео векторизации, построения и редактирования ЦМР).

## Основные функции PHOTOMOD:

Обработка снимков центральной проекции и сканерных изображений;

Блочная фототриангуляция;

Цифровые модели рельефа или объектов;

Создание ортофотопланов;

Векторизация в стерео режиме;

Векторизация по ортофотоплану;

Создание и печать электронных карт;

Калибровка планшетных полиграфических сканеров.

Широкое распространение и профессиональное признание данной системы, обеспечили её богатейшие технологические возможности, основные из которых сводятся к следующему:

- оригинальная графическая среда и доступный интерфейс;

- возможность обработки сканерных спутниковых изображений, включая снимки SPOT, TERRA, EROS, LANDSAT, ICONOS, IRS, ASTER, QuickBird;

- наличие интерфейса, обеспечивающего эксплуатацию системы в среде MicroStation/95, ГИС Карта 2000 (ГИС Панорама), экспорта данных в геоинформационные и картографические системы и др;

- возможность использования при построении и уравнении фотограмметрических измерений полного набора систем координат, картографических проекций и GPS – измерений;

- наличие настраиваемого классификатора;

- наличие средств калибровки планшетных сканеров;

- наличие эффективных средств оцифровки в монокулярном и стереоскопическом режимах и редактирование полученной графической информации;

-возможность формирования ЦМР на регулярной сетке (ДЕМ) с переменным разрешением и использование её при ортотрансформировании;

-применение графических и статистических методов оценки достоверных данных и диагностики ошибок измерений.

Система постоянно совершенствуется (в год появляются 2-3 новых версии), пополняется новыми инструментальными средствами и технологическими возможностями.

В рамках сотрудничества с компанией «Ракурс» Комплексной Лабораторией Исследований Внеземных Территорий были разработаны новые алгоритмы обработки снимков малых тел Солнечной системы на базе ЦФС PHOTOMOD. Специалисты компании «Ракурс» и сотрудники МИИГАиК в процессе выполнения научно-исследовательского проекта внесли определенные новшества (дополнительные возможности, новые функции) в текущую версию ЦФС PHOTOMOD.

На сегодняшний день получены первые результаты по обработке снимков спутника Юпитера — Ио и спутника Марса — Фобос. Используя экспериментальные функции программы ЦФС PHOTOMOD, было выполнено уравнивание фотограмметрической сети. Схема сети с оценкой точности приведена на рисунке 6.2

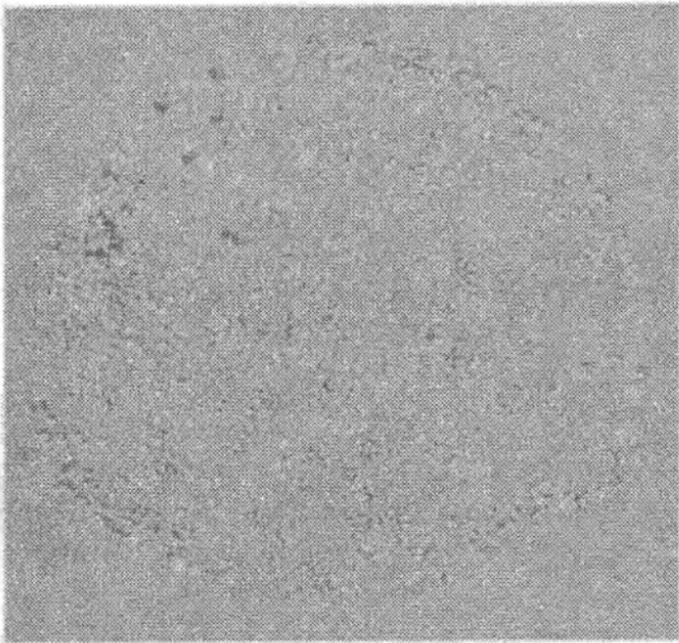


Рис. 6.2 Схема фотограмметрической сети с оценкой точности

На основе результатов уравнивания было получено изображение спутника Фобос в пространстве, текстурированного исходными изображениями на основе имеющейся информации. Изображение Фобоса представлено на рисунке 6.3

Исследования внеземных объектов имеют важное научное и практическое значение. В дальнейшем планируется расширить использование фотограмметрических технологий компании «Ракурс» для целей исследования малых тел Солнечной системы.

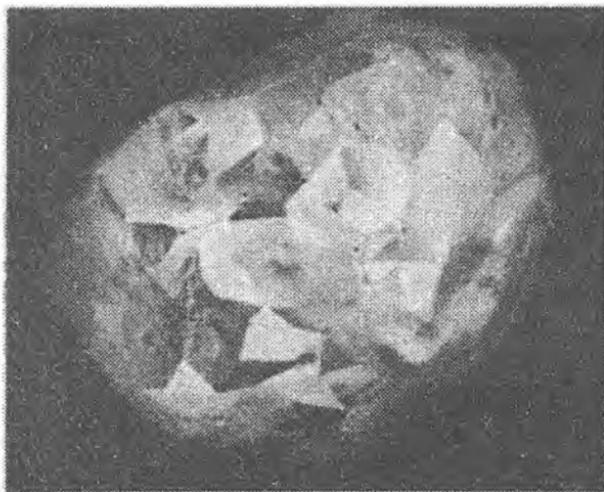


Рис.6.3 Изображение Фобоса в пространстве

ЦФС Photomod –это модульная система:

Модуль PHOTOMOD – Montage Desktop;

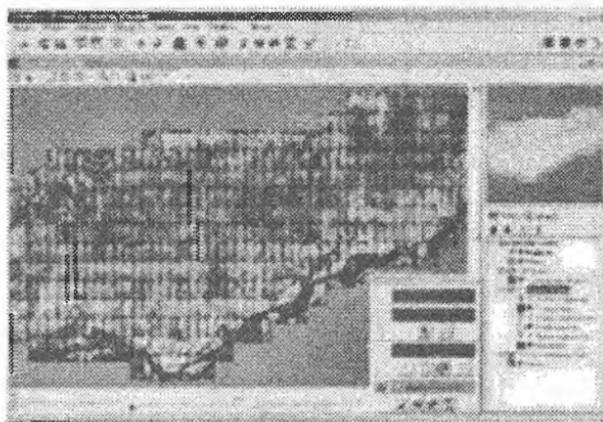


Рис.6.4

Используется для создания, копирования, удаления проектов, ввода паспортных данных камер, визуализации блока изображений в соответствии с этапом обработки, загрузки

для просмотра и контроля TIN, матриц высот, векторов и т.д., а также запуска остальных модулей системы. Средствами программы PHOTOMOD Montage Desktop производится построение единой ЦМР и горизонталей на блок изображений, а также импорт и экспорт тех или иных видов объектов.

### Модуль PHOTOMOD AT

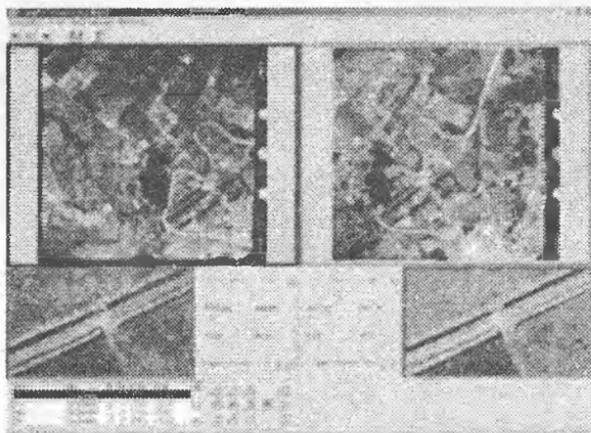


Рис.6.5

Модуль предназначен для построения ЦМР (в виде регулярной модели рельефа — DEM, нерегулярной триангуляционной сети — TIN, в виде пикетов, структурных линий и горизонталей). Система поддерживает набор алгоритмов автоматического построения TIN, а также позволяет использовать различные алгоритмы внутри выбранных областей модели. Модуль содержит набор инструментов группового и одиночного редактирования вершин и треугольников TIN, автоматической фильтрации выбросов и контроля точности модели рельефа, редактирования и сглаживания структурных линий и горизонталей, конвертирования TIN—DEM и др.

Модуль уравнивания сети фототриангуляции. Инструменты контроля точности и графические средства представления и анализа ошибок обеспечивают успешную реализацию проекта фототриангуляции и, в конечном счете, надежность и высокое качество выходных продуктов: ЦМР, ортофотопланов, цифровых карт.

### PHOTOMOD Solver (A/S)

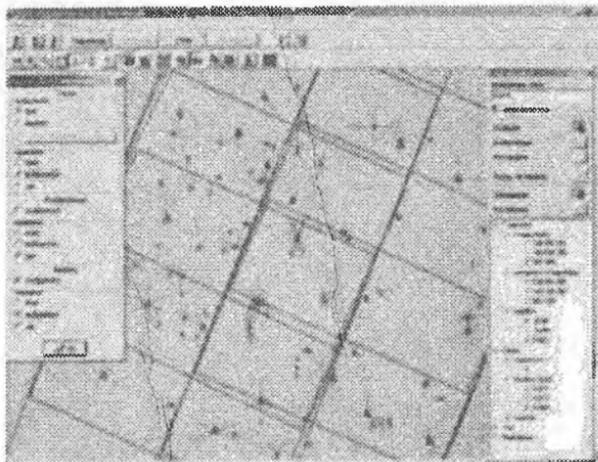


Рис.6.6 Отображение схемы уравнивания блочной сети

Средства обмена через формат RAT-B позволяют использовать систему PHOTOMOD в связке с другими фотограмметрическими системами.

## PHOTOMOD DTM

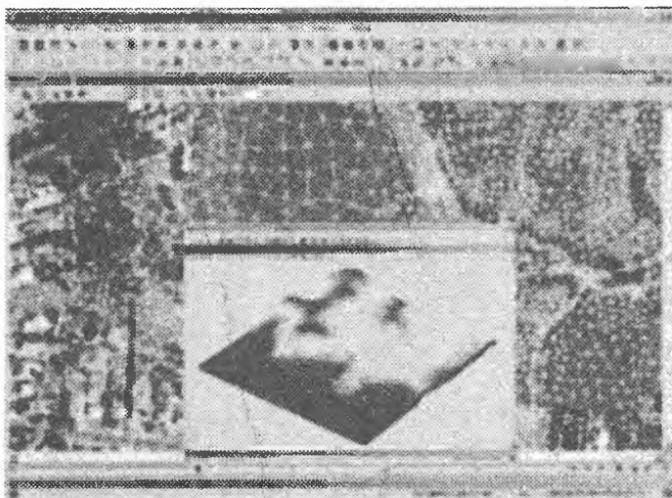


Рис.6.7 Изображение модуля DTM

## PHOTOMOD StereoDraw

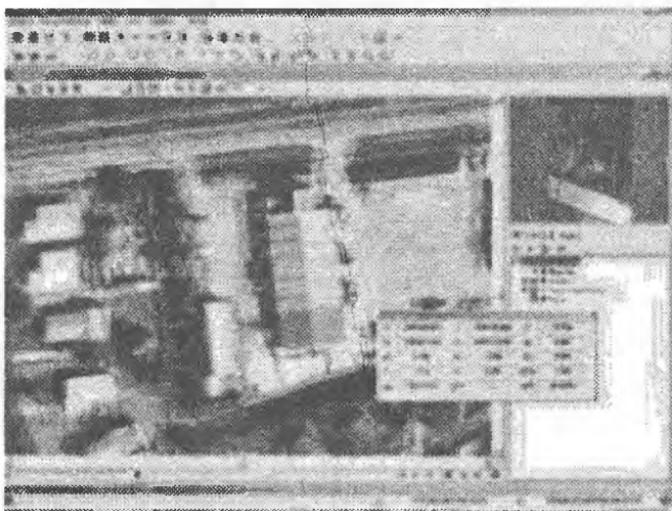


Рис.6.8 Изображение рабочего окна модуля StereoDraw

Модуль предназначен для построения ЦМР (в виде регулярной модели рельефа — DEM, нерегулярной триангуляционной сети — TIN, в виде пикетов, структурных линий и горизонталей). Система поддерживает набор алгоритмов автоматического построения TIN, а также позволяет использовать различные алгоритмы внутри выбранных областей модели.

Модуль предназначен для создания и редактирования 3D векторных объектов в стереорежиме (с использованием затворных или анаглифических очков), а также для проведения 3D-измерений. PHOTOMOD StereoDraw содержит такие удобные инструменты, как автоматическое перемещение курсора по рельефу, 2D- и 3D-снэппинг, векторизация сегментов линий под прямым углом, копирование векторных объектов, автоматическое проведение линии вдоль границы существующего объекта, построение буферных зон и многие другие.

### PHOTOMOD Mosaic

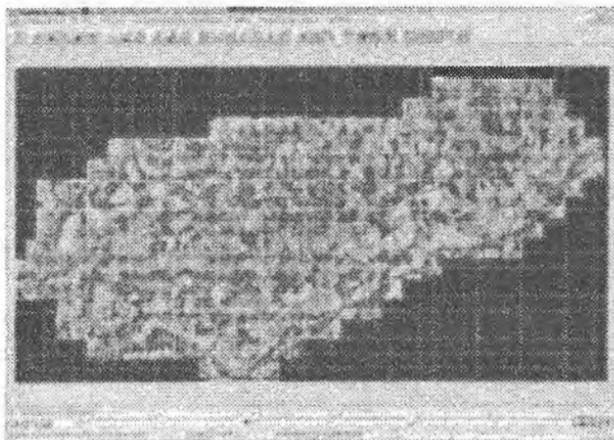


Рис.6.9 Изображение мозаики

Модуль создания ортофотопланов по аэрофотоснимкам или спутниковым сканерным изображениям на основе ЦМР, построенной в модуле PHOTOMOD DTM или импортированной из набора форматов.

Модуль содержит удобный редактор проведения "порезов" для выделения фрагментов исходных изображений, включаемых в мозаику.

Ортофотоплан создается с заданным размером элемента на местности и геопривязкой (предусмотрен прямой экспорт в MapInfo и ArcInfo, а также сохранение мозаики в формат GeoTIFF). Поддерживается нарезка на листы или трапеции заданного пользователем размера. Система осуществляет контроль точности построения ортофотоплана по опорным и контрольным точкам.

## PHOTOMOD Vector

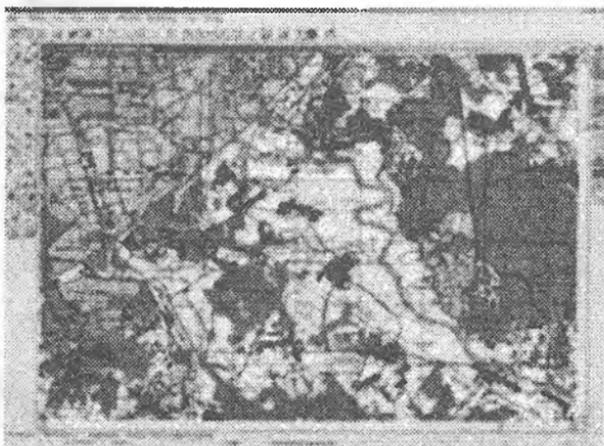


Рис.6.10 Изображение карты в модуле Vector

Предназначена для создания, редактирования и работы с электронными картами. Работает с векторными данными, матрицами, и растровыми изображениями. Поддерживает различные системы координат. Позволяет выполнять пол-

ный комплекс работ по созданию электронной карты: от составления по исходным материалам до подготовки к изданию. Позволяет создавать трехмерные модели местности (Рис.6.11), используя ЦМР, аэро и космические снимки, а также условные и реальные изображения объектов.

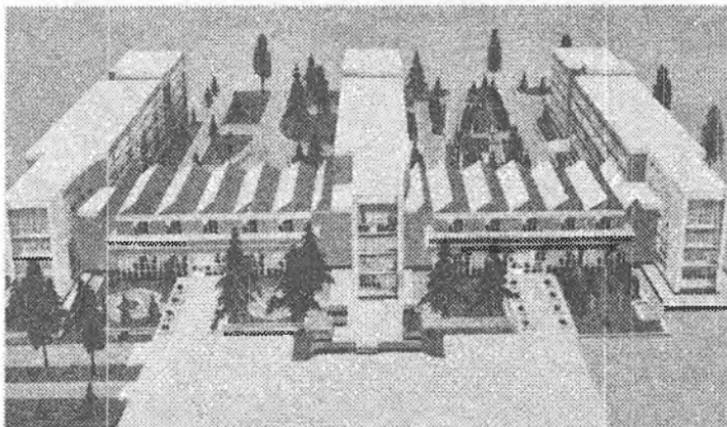


Рис. 6.11 Изображение главного корпуса  
НУУз в модуле Vector

Модуль параллельной работы с картой формата VectOr в стерео (PHOTOMOD StereoDraw) и моно (PHOTOMOD VectOr) окнах. Моноокно используется для отображения и редактирования карты в условных знаках

При работе с модулем удобен двухмониторный режим. Предназначен главным образом для обновления существующих векторных карт.

## PHOTOMOD StereoVector



Рис.6.12 Изображение рабочего окна модуля Stereo Vector

## PHOTOMOD Stereo Link

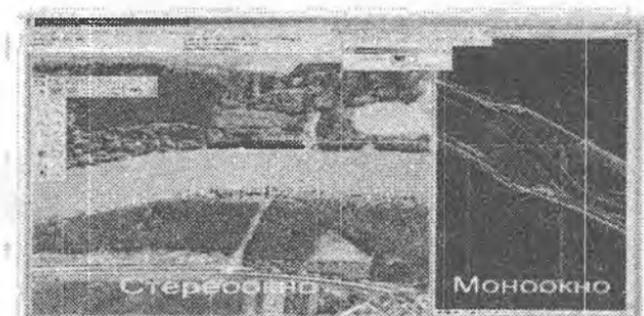


Рис.6.13 Изображение рабочего окна модуля Stereo Link

Программный комплекс, предназначенный для выполнения стереосъемки объектов местности, в том числе объектов ЦМР, в среде **MicroStation**. Позволяет осуществлять стерео

наблюдение ориентированных пар снимков, коррекцию фотометрических параметров снимков стереопары, измерения пространственных координат местности, стереосъемку объектов местности, создание таблицы объектов, подлежащих съемке. Стереосъемка объектов может выполняться как с использованием таблицы объектов, так и без неё.

### **Преимущества PHOTOMOD StereoLink:**

Простота изучения и работы с программой

Возможность использования инструментов и функций MicroStation

Поддержка библиотеки условных знаков и стилей линий пользователя

Качественная и быстрая визуализация стерео-изображения

Отсутствие необходимости использования специального оборудования для управления стерео курсором

Удобный пользовательский интерфейс

Поддержка распространенных форматов данных

Поддержка иерархической структуры таблицы (классификатора) объектов

### **PHOTOMOD GCP Survey**

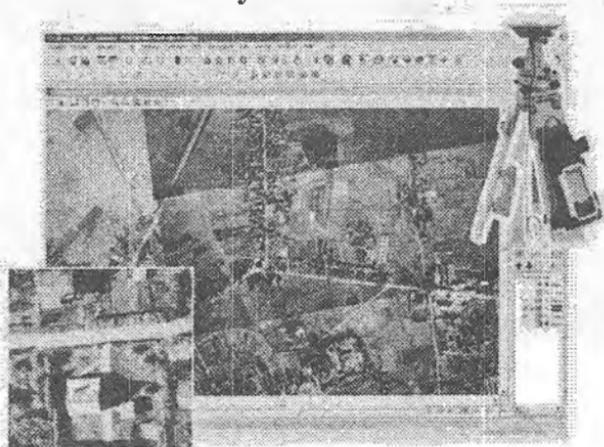


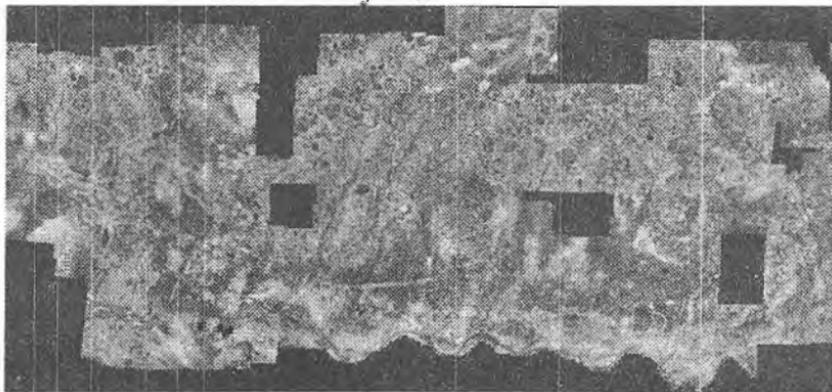
Рис.6.14 Изображение рабочего окна модуля GCP Survey

Модуль автоматизации планово-высотной привязки снимков.

Программа предназначена для автоматизации и перевода на «бесбумажную» основу процесса планово-высотной подготовки с целью фотограмметрической обработки данных аэрофотосъёмки, полученных аналоговыми и цифровыми камерами.

Работа с модулем предполагает выезд в поле с фотограмметрическим проектом, загруженным в портативный компьютер. Подключённый приёмник GPS используется для навигации и точного выхода в район опознака. Измеренные на местности координаты опорной точки загружаются непосредственно в проект, что исключает возможные проблемы с её опознаванием на изображении с использованием бумажных абрисов. В процессе измерений точке могут быть назначены произвольные атрибуты, включающие, например, её описание и фотографии цифровой камерой. PHOTOMOD GCP Survey может использоваться как независимое программное обеспечение, так и в составе ЦФС PHOTOMOD

### **PHOTOMOD Conveyor S**



**Рис.6.15** Изображение бесшовной мозаики из космических снимков

Это новый продукт компании, позволяющий получить высокоточную радиометрически скорректированную бесшовную мозаику из космических снимков без необходимости какого-либо ручного редактирования данных. Иными словами это система автоматического построения ортофотоплана по данным космической сканерной съёмки.

### **PHOTOMOD UAS**

PHOTOMOD UAS позволяет обрабатывать данные БПЛА с получением многих видов фотограмметрических продуктов: ЦМР, 3D-векторы, ортофотопланы. Для работы PHOTOMOD UAS не требуется обязательного наличия какого-либо дополнительного программного обеспечения. Программа, являясь самостоятельной, построена на модульном функционале ЦФС PHOTOMOD. В состав системы входит управляющая оболочка PHOTOMOD Core и 6 модулей: модуль подготовки данных для фототриангуляции (AT), модуль уравнивания сетей фототриангуляции (SolverA), модуль построения ЦМР и плотной ЦММ (DTM, dDSM), модуль стерео векторизации и трехмерного моделирования (StereoDraw, 3D-Mod), модуль ортотрансформирования растров (Mosaic), модуль составления ортомозаики (GeoMosaic), ГИС «Панорама Мини».

Основными технологиями обработки данных БПЛА в программе PHOTOMOD UAS являются строгая фотограмметрическая обработка изображений с точностью, соизмеримой с 2-3 пикселя GSD, и упрощённая — в целях получения быстрого результата для задач мониторинга.

При большом количестве достоинств беспилотной съёмки, особенности получаемых данных создают серьёзные проблемы при фотограмметрической обработке. Низкое качество изображений, невысокая точность бортовых данных GPS / IMU, использование бытовых некалиброванных фотокамер и ошибки, связанные с нестабильностью полёта — все это потребовало добавления в PHOTOMOD специальных

средств, позволяющих нивелировать указанные недостатки и получать качественные выходные результаты.

#### **Достоинства системы:**

Замкнутый технологический цикл получения всех видов конечной продукции: ЦМР, 3D-векторов, ортофотопланов, цифровых карт без использования других программных продуктов;

Поддержка различных типов съемочных систем;

Широкий набор обменных форматов, обеспечивающий совместимость с другими фотограмметрическими и геоинформационными системами;

Поддержка большого числа систем координат, а также возможность задания собственной системы координат;

Автоматизация фотограмметрических процессов;

Гибкая модульная конфигурация, позволяющая подобрать оптимальную комплектацию продуктов PHOTOMOD для решения тех или иных задач;

Высокая производительность и надежность системы;

Распределённая сетевая среда для реализации больших проектов;

Контроль качества на всех стадиях технологического процесса;

Различные способы стереонаблюдения;

Поддержка различных средств ввода (3- и 5-кнопочные мыши, специализированные 3D-манипуляторы);

Простота установки и конфигурирования;

Легкость в изучении, удобство использования;

Квалифицированная и оперативная техническая поддержка;

Различные уровни обучения работе с системой;

Полная техническая документация;

Широкое распространение в России и других странах мира;

Оптимальное соотношение цена/производительность.

## Области применения системы PHOTOMOD:

- Геодезия и картография
- Кадастры различного уровня и назначения
- Геология
- Горное дело, маркшейдерия
- Инженерные изыскания и проектирование объектов различного назначения

В настоящее время имеется достаточно большое количество ЦФС, из которых наибольшее распространение в специализированных предприятиях получили системы «PHOTOMOD», «ТАЛКА», «Дельта». Все они эксплуатируются на производственных предприятиях, причём по числу рабочих мест лидирует ЦФС PHOTOMOD (765 лицензий в России, 1450 в мире).

## ГЛАВА 7. ЦИФРОВОЕ ОРТОТРАНСФОРМИРОВАНИЕ

### 7.1. Понятие о цифровом ортофотоплане

Ортофотоплан — это фотографический план местности на точной геодезической основе, полученный путем аэрофотосъемки или космической съёмки с последующим преобразованием снимков из центральной проекции в ортогональную с помощью метода ортотрансформирования. Данный метод рассчитан на автоматизированное устранение искажений аэроснимка (обусловленных рельефом местности и отклонениями оси аэрофотоаппарата от вертикали при съёмке) путём последовательного проектирования трансформируемого изображения возможно малыми участками с помощью специальных приборов. Аэроснимки, преобразованные данным методом (т.е. ортофотоснимки), позволяют составить ортофотоплан на любые районы, что существенно расширяет применение аэро-фотосъёмочных материалов при топографических, геологических и других проектно-изыскательских работах.

Ортофотоплан объективно передаёт фотопортрет местности и является основным исходным материалом для создания и обновления карт и топографических планов.

Ортотрансформирование устраняет искажения на снимке, обусловленные рельефом местности и отклонениями оси фотоаппарата от вертикали при съёмке.

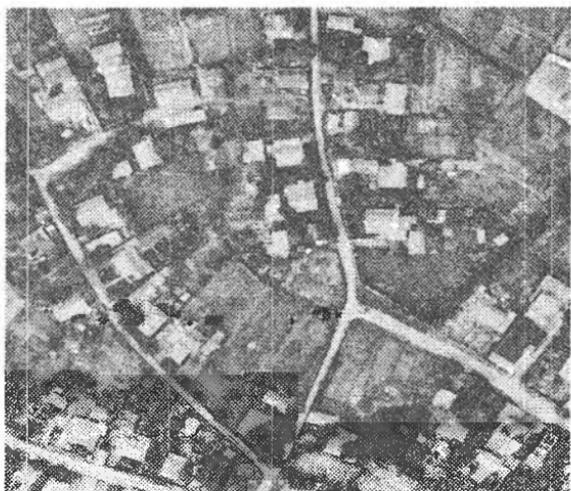


Рис.7.1 Изображение ортофотоплана

Ортофотоплан может быть получен различными способами: путем цифровой обработки космических снимков, аэроснимков, а также снимков, получаемых БПЛА (дронами). Технология цифровой орторектификации аэрокосмических снимков предполагает выполнение съёмки с перекрытием (обычно 60% вдоль маршрута и 30% - между маршрутами), геодезическую привязку снимков с помощью наземных контрольных точек, построение цифровой модели рельефа, выполнение орторектификации и формирование окончательного продукта – ортофотоплана в виде цифровой мозаики ортотрансформированных снимков.

**Цифровой ортофотоплан** - это цифровое трансформированное изображение местности (объекта), созданное по перекрывающимся исходным фотоснимкам.

Цифровой ортофотоплан может создаваться двумя методами:

- из отдельных трансформированных изображений, созданных по каждому из цифровых перекрывающихся снимков;

- путем формирования ортофотоплана непосредственно в процессе трансформирования всех перекарывающихся фотоснимков.

Ортофотопланы широко применяются при формировании и обновлении цифровых карт и планов, а также для оперативной оценки состояния местности.

Использование растрового ортофотоплана в качестве одного из слоёв электронной кадастровой карты в любой геоинформационной системе (в частности в «Кадастровом офисе») позволит своими силами формировать земельные участки, и объекты недвижимости не прибегая к съёмке на местности, причем с достаточной точностью и необходимой подробностью, организуя сразу же связь между ними.

Традиционно создание векторных карт было конечной целью процесса фотограмметрического картографирования. С внедрением ортофототрансформирования, ортофотоизображение, производство которого быстрее и дешевле, стало рассматриваться, как замена карты. В то время, как создание векторных карт может занимать от 2х до 3х лет, создание ортофото для той же площади может быть завершено за 6 месяцев. Это особенно актуально в развивающихся странах с быстрым увеличением городского населения и недостатком систематического обновления карт, где ортофото является единственной возможностью быстрого картографирования.

Кроме того, несмотря на большой объём информации, содержащейся на ортофотоплане, она со временем устаревает, поэтому её необходимо периодически обновлять, что также требует больших сил и средств для создания новых ортофотопланов. Поэтому сокращение времени и себестоимости создания ортофотоплана является весьма актуальной задачей.

На сегодняшний день ортофотопланы являются единственным материалом для ведения земельного кадастра, по

которым выполняется определение границы территории или объектов недвижимости (рис.7.2). Необходимость проведения кадастровой съёмки возникает не только в случае межевания и уточнения границ, подобные работы требуются и для осуществления кадастрового учета, а также для решения споров с соседями относительно соблюдения границ.



Рис.7.2 Ортофотоплан с изображением земельных дачных участков

## 7.2. Цифровые модели рельефа

Цифровое моделирование рельефа, анализ и изучение его свойств по построенным моделям являются неотъемлемой частью исследований в науках о Земле. До конца 20 века основная информация о местности представлялась в графической форме (топографические, тематические, рельефные карты, фотодокументы и др.). В настоящее время в топогеодезическом обеспечении Вооружённых Сил Узбекистана приняты цифровые карты местности, электронные карты, разрабатываются другие виды цифровой картографи-

ческой продукции: цифровые карты местности повышенной точности, цифровые топографические карты, пространственные модели местности и т.п. Основой для представления данных для ГИС и автоматизированной картографии являются цифровые модели. Цифровая модель рельефа, ЦМР (digital terrain model, DTM; digital elevation model, DEM; Digital Terrain Elevation Data, DTED) – средство цифрового представления 3-мерных пространственных объектов (поверхностей, рельефов) в виде трехмерных данных как совокупности высотных отметок или отметок глубин и иных значений аппликат (координаты  $Z$ ) в узлах регулярной сети с образованием матрицы высот, нерегулярной треугольной сети (TIN) или как совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний. Наиболее распространёнными способами цифрового представления рельефа является растровое представление и особая модель пространственных данных, основанная на сети TIN и аппроксимирующая рельеф многогранной поверхностью с высотными отметками (отметками глубин) в узлах треугольной сети. Процесс цифрового моделирования рельефа включает создание ЦМР, их обработку и использование. Источниками исходных данных для создания ЦМР суши служат топографические карты, аэрофотоснимки, космические снимки и другие ДДЗ, данные альтиметрической съёмки, систем спутникового позиционирования, нивелирования и других методов геодезии.

Для подводного рельефа акваторий (батиметрии) исходными данными служат морские навигационные карты, данные промерных работ, эхолотирования, в том числе с использованием гидролокатора бокового обзора, для рельефа поверхности и ложа ледников – аэросъёмка, материалы фототеодолитной и радиолокационной съёмки. Обработка ЦМР служит для получения производных морфометрических или иных данных, включая:

– вычисление углов наклона и экспозиции склонов; анализ видимости/невидимости; – построение трёхмерных изображений, в том числе блок-диаграмм; – построение профилей поперечного сечения;

– оценку формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечения, измеряемую радиусом кривизны главного нормального сечения или её знаком, т.е. выпуклостью/вогнутостью;

– вычисление положительных и отрицательных объёмов;

– генерацию линий сети тальвегов и водоразделов, образующих каркасную сеть рельефа, его структурных линий, или сепаратрисс и иных особых точек и линий рельефа: локальных минимумов, или впадин и локальных максимумов, или вершин, седловин, бровок, линий обрывов и иных нарушений "гладкости" поверхности, плоских поверхностей с нулевой крутизной;

– интерполяцию высот; построение изолиний по множеству значений высот;

– автоматизацию аналитической отмывки рельефа путем расчёта относительных освещённостей склонов при вертикальном, боковом или комбинированном освещении от одного или более источников;

– цифровое ортотрансформирование при цифровой обработке изображений и другие вычислительные операции и графо-аналитические построения.

Методы и алгоритмы создания и обработки ЦМР применимы к иным физическим или статистическим рельефам и полям: погребенному рельефу, барическому рельефу и т.п. (ряд исследователей и направлений различают цифровые модели высот (DEM (1)) и производные от них цифровые модели рельефа (DTM). В этом случае под последними понимается совокупность производных морфометрических показателей. Данная необходимость различения связана с

наименованием и содержанием американского стандарта на ЦМР .

К основным свойствам современных картографических моделей, в том числе и цифровых, относятся:

- пространственно-временное подобие;
- содержательное соответствие;
- абстрактность;
- избирательность и синтетичность;
- масштаб и метричность;
- наглядность и обзорность;
- однозначность и непрерывность;
- логичность и упорядоченность легенды.

Топографическая ЦМР должна удовлетворять требованиям, предъявляемые к ЦММ. Она должна:

– иметь форму представления рельефа в виде матрицы значений абсолютных высот точек рельефа местности размером  $M \times N$ ;

– быть сформированной в границах прямоугольного участка, включающего территорию, покрываемую номенклатурным листом топографической карты масштаба (участок должен быть ориентирован параллельно осям X и Y системы координат проекции Гаусса-Крюгера); – левая нижняя угловая точка участка должна быть расположена вблизи юго-западного угла рамки данного номенклатурного листа топографической карты и находиться за пределами этого листа;

– шаг дискретизации матрицы должен быть постоянным и равным  $25 \times n$  метров (для стандартных топографических ЦМР), где  $n \geq 1$ ;

– наименьшее расстояние по соответствующей линии километровой сетки от каждой из сторон рамки номенклатурного листа до границ участка не должно превышать величины шага дискретизации матрицы. Первые эксперименты по созданию ЦМР относятся к самым ранним эта-

пам геоинформатики и автоматизированной картографии первой половины 60-х годов. С тех пор разработаны методы и алгоритмы решения различных задач. Созданы мощные программные средства моделирования, в том числе крупные: национальные и глобальные массивы данных о рельефе, накоплен опыт решения с их помощью разнообразных научных и прикладных задач. С внедрением компьютерных технологий изменились не только виды и формы предоставления картографической информации о местности. Серьезные изменения претерпели технологии обработки фотоснимков, по которым создается такая информация. Особенно значительные изменения в технологии фотограмметрической обработки фотоснимков внесло внедрение ЭВМ. До настоящего времени практически 80% всех видов цифровых моделей и матриц рельефа (ЦМР) создаются по топографическим картам. Современные ЦМР – производные топографических карт. При цифровом моделировании рельефа основное внимание уделяется обеспечению точности воссоздания рельефа по модели с помощью математической интерполяции и аппроксимации – полиномов. Как правило, конечной целью создания ЦМР является проведение изолиний на модели и её 2D- (либо 3D-) визуализация.

До сих пор не разрешено противоречие при создании ЦМР:

– с одной стороны, обеспечение необходимой точности воссоздания рельефа,

– с другой – минимизация объёма ЦМР при необходимости обработки больших массивов исходных данных. С целью оптимизации задачи исследования были направлены по пути совершенствования алгоритмов обработки (чтобы уменьшить зависимость эффективности от объёма ЦМР) и сокращения числа точек в ЦМР путем разрежения матрицы высот. Это привело, в конечном счёте, к тому, что возвратились к идее записи рельефа посредством специально ото-

бранных наиболее характерных точек (способу, используемым топографами при полевых съёмках рельефа местности необходимостью обработки больших массивов), по сути – к структурно-цифровому моделированию рельефа. Построение структурно-цифровых моделей рельефа (С-ЦМР) требует определенного знания структуры изучаемого рельефа, который исследуется, то есть структуры рельефа-поля. В результате топографо-геодезические, инженерные задачи столкнулись с необходимостью исследовать рельеф средствами геоморфологии. Охарактеризованные подходы – сеточный и структурный являются альтернативными, так как основываются на взаимоисключающих посылах. Первый подход предполагает равнозначность точек в ЦМР и допускает возможность игнорировать особые, наиболее характерные точки рельефа, находящиеся на линиях тальвегов и водоразделов, перегибах ската, т.е. именно те точки, которые всегда в первую очередь привлекают внимание и топографа, и геоморфолога. Он сходен с аналитической моделью рельефа поля, так как и в том, и в другом случае предполагается непрерывность и плавность рельефа. Второй подход строится на представлении о характерных точках и линиях рельефа, образующих его каркас, и возможности игнорировать все другие точки из-за их малой информативности. Таким образом, в соответствии с этим подходом для правильного воспроизведения характера и облика рельефа необходимо и достаточно правильно передать его каркас (то, что игнорируется в первом подходе) с помощью точек, положение которых детерминировано структурой рельефа. Очевидно, что этот подход лучше учитывает специфические свойства рельефа-поля, передавая его структуру, отличную от структуры других пространственных явлений, поэтому он представляется более объективным.

### 7.3. Цифровое ортотрансформирование снимков

**Цифровое трансформирование снимков** заключается в преобразовании элементов матрицы исходного **цифрового** изображения таким образом, чтобы положение элемента в матрице преобразованного изображения соответствовало положению элемента в заданной проекции.

Применение фототрансформирования предполагает установление коллинеарного соответствия между объектами местности и их изображениями на фотоснимке. Это условие выполняется для фотоснимков плоской местности, если и формат, масштаб фотографирования и размеры картографируемого участка позволяют пренебречь влиянием кривизны Земли. При наличии на местности значительных превышений использование перспективного трансформирования фотоснимков уже не дает нужной степени приближения к ортогональной проекции.

При ортофототрансформировании исходный фотоснимок разбивается на маленькие элементарные участки, для которых влияние угла наклона и рельефа местности становятся незначительными. На этом основании перспективное трансформирование каждого участка заменяется масштабным преобразованием, которое приводит изображение к заданному масштабу.

Ортотрансформирование устраняет искажения на снимке, обусловленные рельефом местности и отклонениями оси фотоаппарата от вертикали при съёмке.

Исследованы теоретические основы трансформирования аэрокосмических снимков показано, что между трансформированным и исходным снимками должно соблюдаться точечное соответствие, базирующееся на основной зависимости для одиночного снимка. Различия в трансформировании снимков равнинной и горной местностей исчезли с внедрением в фотограмметрическую обработку снимков

цифровых технологий, позволивших использовать единую методику. в результате обычное цифровое трансформирование стало частным случаем ортотрансформирования. Цифровое трансформирование может выполняться двумя методами: прямым и обратным трансформированием. На практике применяют, как правило, обратное цифровое трансформирование. Главным при этом является перенос оптической плотности (яркости) с исходного снимка на нулевую матрицу (заготовку) трансформируемого снимка. Подчеркивается, что в настоящее время исследования направлены на автоматизацию процесса создания цифровых ортофотопланов – создание их в автоматическом режиме. при этом ключевым моментом является автоматическое отождествление и измерение соответственных (одноименных) точек перекрывающихся снимков для формирования цифровых моделей рельефа. Если эта задача решена, то создание цифрового ортофотоплана в автоматическом режиме становится тривиальной технической задачей, поэтому исследования в этом направлении являются актуальными и перспективными.

С середины 1980-х г.г. с появлением и массовым внедрением цифровых фотограмметрических систем (ЦФС), зону трансформирования стали отождествлять с фрагментом изображения – с пикселом или группой пикселов. Размер такого фрагмента может быть установлен так же, как и, ширина щели при дифференциальном трансформировании, однако, учитывая технические возможности современных ЭВМ, чаще всего он соответствует одному пикселу. Такое преобразование изображения, называемое ортотрансформированием, требует наличия цифровой модели DEM со сторонами, параллельными осям  $X$  и  $Y$  координатной системы местности.

Сущность ортотрансформирования сводится к следующему. Пусть известны элементы внешнего ориентирования аэроснимка  $X, Y, Z, \alpha, \omega, \chi$ , имеется цифровая модель релье-

ефа DEM со сторонами, параллельными осям координат, и требуется выполнить трансформирование исходного снимка путём преобразования каждого пиксела с учётом его положения по высоте. Прежде всего строится матрица ортоизображения на всю обрабатываемую территорию, ограниченную минимальными и максимальными координатами углов рамок создаваемых топографических карт (планов); стороны матрицы должны быть параллельными осям X и Y координатной системы местности.

В соответствии с требованиями инструкции по фотограмметрическим работам, размер элементарного участка трансформирования (геометрическое разрешение матрицы ортоизображения  $\Delta p$ ) на местности, как правило, выбирается равным величине:  $\Delta p = \Delta \times m$ ,

где  $\Delta$  - геометрическое разрешение исходного цифрового снимка;

$m$  — знаменатель масштаба снимка.

**Ортотрансформирование** - преобразование аэрофото-снимков и устранение геометрических искажений, вызванных особенностями рельефа, характеристиками оптики, где основными параметрами искажений являются дисторсия и ошибки фотоаппарата, при этом происходит преобразование снимка в ортогональную проекцию с целью дальнейшего получения *ортофотоплана*.

Цифровые трансформированные изображения используют для создания контурной части карт, путём векторизации цифровых изображений в среде САД или ГИС, а также как самостоятельные картографические документы.

Помимо топографии и картографии, цифровое трансформирование используется для создания по исходным снимкам перспективных изображений местности из заданных точек пространства. Такие изображения используют в военной области, например, в летных тренажерах и в архитектуре - при проектировании различных сооружений.

Цифровое трансформирование применяют также для преобразования стереопар исходных снимков в стереопару снимков идеального случая съёмки в системе координат фотограмметрической модели. Такое преобразование выполняется в цифровых стереофотограмметрических системах.

#### **7.4. Технологическая схема создания ортофотоплана с использованием ЦФС Photomod**

Технология создания ортофотопланов включает следующие основные этапы:

##### **1. Подготовительные работы:**

ввод паспорта фотокамеры (фокусное расстояние, координаты главной точки, поправки за дисторсию);

загрузка цифровых изображений фотоснимков из форматов rsw, tif, bmp, psx;

ввод координат опорных и контрольных точек.

##### **2. Трансформирование одиночных фотоснимков:**

измерение меток;

измерение связующих точек на каждом аэрофотоснимке;

измерение опорных и контрольных точек;

вычисление элементов ориентирования;

процесс уравнивания как одиночных маршрутов, так и целиком в блоке;

оценка невязок на опорных и контрольных точках;

трансформирование одиночных снимков.

**3. Создание мозаичного ортофотоплана на основе трансформированных изображений отдельных снимков:**

выбор снимков, входящих в область создания фотоплана;

векторизация границ области создания фотоплана;

векторизация порезов;



Обработка блока изображений в модуле PHOTOMOD AT, включающая:

ввод изображений;

внутреннее ориентирование;

ввод и измерение опорных точек;

измерение точек межмаршрутной связи;

измерение точек связи между соседними изображениями;

взаимное ориентирование снимков;

Выход из PHOTOMOD AT и запуск модуля PHOTOMOD Solver из программы PHOTOMOD Montage Desktop;

Уравнивание фототриангуляционной сети на блок и вычисление элементов внешнего ориентирования;

При удовлетворительных результатах уравнивания - переход к этапу "Обработка сети", в противном случае - возврат в PHOTOMOD AT для проверки и редактирования измерений (программа PHOTOMOD Montage Desktop);

Трансформирование изображений;

Запуск PHOTOMOD StereoDraw последовательно для каждой выбранной стереопары;

Стереовекторизация 3D векторных объектов в модуле PHOTOMOD StereoDraw;

При необходимости, экспорт 3D векторов во внешние форматы или формат модуля PHOTOMOD VectOr;

Запуск PHOTOMOD DTM для выбранной стереопары;

Построение и редактирование модели рельефа TIN (при необходимости с использованием "линий разрыва" и "локальных областей");

Построение и редактирование горизонталей;

Создание глобальных областей - 3D полигонов, по границам которых производится завершающая сшивка моделей рельефа и горизонталей в модуле PHOTOMOD Montage Desktop;

Вырезание фрагмента TINa по глобальной области;

Вырезание фрагмента горизонталей по глобальной области;

При необходимости, экспорт TINa и 3D векторных объектов во внешние форматы или формат модуля PHOTOMOD VectOr;

Автоматическое построение модели рельефа (DEM) на весь блок в модуле PHOTOMOD Montage Desktop (сшивка фрагментов TINов из каждой стереопары, ограниченных глобальными областями) с сохранением её во внешние форматы (GRD) или в карту системы PHOTOMOD VectOr (ГИС "Панорама");

Автоматическое построение горизонталей на весь блок в модуле PHOTOMOD Montage Desktop (сшивка фрагментов горизонталей из каждой стереопары, ограниченных глобальными областями);

Запуск модуля PHOTOMOD Mosaic;

Программный модуль PHOTOMOD Mosaic предназначен для построения ортофотоплана (ортомозаики) по исходному блоку изображений. В процессе ортофототрансформирования (преобразования в ортогональную проекцию) исправляются искажения, связанные с рельефом местности, наклоном оптической оси фотокамеры, её дисторсии и т.д.

В данной программе предусмотрены инструменты выравнивания яркости и создания областей трансформирования – фрагментов отдельных изображений, включаемых в выходную мозаику.

При необходимости построения ортофотоизображений на отдельные исходные изображения (или их фрагменты), запуск модуля PHOTOMOD FastOrtho для выбранных изображений с сохранением ортофотоизображений во внешнем формате (tiff с привязкой) или в карту системы PHOTOMOD VectOr (ГИС "Панорама");

При необходимости, экспорт DEM, отдельных TINов, векторных объектов, горизонталей во внешние форматы или формат PHOTOMOD VectOr (модуль PHOTOMOD Montage Desktop);

Запуск PHOTOMOD VectOr из программы PHOTOMOD Project Manager или ГИС "Панорама";

Дополнительное цифрование в монорежиме по подложенному ортофотоплану;

Создание цифровой карты или ортофотоплана, нарезка на стандартные листы, создание зарамочного оформления и вывод на печать.

После создания ортофотоплан может использоваться как самостоятельный фотодокумент для измерения координат объектов, так и являться подложкой для дешифрирования при создании и обновлении электронных карт в ГИС Карта Panorama.

## ГЛАВА 8.

# ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ НА ЦФС PHOTOMOD

### 8.1. Понятие о цифровой карте

В настоящее время по аэро, наземным, космическим снимкам и снимкам, полученных с беспилотных летательных аппаратов, карты (планы) создаются, хранятся, обновляются и передаются пользователям в цифровой форме. Прежняя графическая форма карт (планов) используется по просьбе пользователя или по другим причинам. Конечной продукцией, кроме цифровой карты (плана), может быть цифровой фотоплан и цифровая фотокарта, у которой информация в векторном виде наложена на растровое изображение. Также по снимкам создаются цифровые модели рельефа (ЦМР) и цифровые модели местности (ЦММ).

Цифровая карта, как и её предшественница «бумажная карта», является моделью местности, объекты которой по координатам поворотных точек записаны в цифровом виде по определенным правилам. С одной стороны - это правила отображения графических объектов с определёнными топологическими связями (точки, линии, полигоны, и т.д.), с другой стороны - это отображение объектов по правилам, которые предписывает классификатор (дома, дороги, леса, реки и т.д.).

Всеобщая информатизация и компьютеризация проявляются кроме всего прочего в создании цифровых моделей самых разных объектов и явлений. В этом смысле топографические карты, являясь графической моделью земной поверхности, уже не удовлетворяют современным требованиям, и основным продуктом топографии становятся цифровые топографические карты.

Цифровая топографическая карта - это набор метрической (числовой), семантической (описательной) и логической информации об участке земной поверхности, хранящийся в закодированном виде на каком-либо носителе, доступном для компьютера. Компактность хранения информации, оперативность её обновления и широкий набор возможностей применения её для решения различных задач - обязательные атрибуты цифровых карт. Существующие технические и программные средства позволяют просматривать и редактировать цифровую карту на экране дисплея, выполнять различные расчёты, готовить и выводить на принтер или плоттер необходимые документы.

Цифровая топографическая карта, являясь цифровой моделью местности, должна не только включать в себя прежнюю - графическую - модель, но и обладать рядом новых свойств, расширяющих и упрощающих использование геодезической информации.

Цифровая карта (ЦК) - цифровая картографическая модель, содержание которой соответствует содержанию карты определённого вида и масштаба. В даётся определение цифровой модели местности, как множества, элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности и правила обращения с ней. Оба понятия «цифровая карта» (ЦК) и «цифровые модели местности» (ЦММ) практически тождественны, с тем только отличием, что первый четко определяет содержание «модели» и показывает «картографическое» происхождение определения, а второй имеет претензию на более широкое толкование. Определена классификация цифровых карт по содержанию и назначению, например: цифровая топографическая карта, цифровая кадастровая карта, цифровая авиационная карта и др. Цифровая карта является основным продуктом картографического производства. Для её создания, обновления, манипулирования с ней - решения картометрических задач, проек-

тирования и т.д. используются автоматизированные картографические системы (АКС) и географические информационные системы (ГИС). Цифровая карта является базовой информационной основой ГИС и это новое качество существенно изменяет и расширяет области использования картографической продукции. В начальный период перехода от «бумажной» карты к цифровой состоял в оцифровке картографических произведений на твердом носителе (бумага, пластик, разделенные копии на алюминиевой основе). Непродолжительное время для этого использовались дигитайзеры, сейчас твердые копии сканируют на планшетном или барабанном сканере, а затем оцифровывают (векторизуют) в различных графических редакторах, работающих с растрами.

В настоящее время основными способами создания и обновления (актуализации) ЦК являются:

- наземная тахеометрическая съёмка,
- наземная съёмка с использованием спутниковых систем глобального позиционирования,
- фотограмметрическая обработка данных аэрокосмической фотосъёмки,
- обработка данных воздушного лазерного сканирования;
- обработка данных полученных с беспилотных летательных аппаратов. Очевидно, что перечисленные выше способы создания и обновления ЦК используются, как самостоятельно, так и в комбинации, что обусловлено выбором оптимальной технологии. Принадлежность цифровой карты к ГИС привела к тому, что перечисленные способы создания ЦК стали называть сбором пространственных данных. Программной средой создания и обновления ЦК могут быть специализированные программы обработки пространственных данных (например - лазерного сканирования или тахеометрической съёмки), автоматизированные картогра-

фические системы, географические информационные системы, цифровые фотограмметрические системы (ЦФС). Наблюдается тенденция на интеграцию функциональных возможностей различных систем, например, ЦФС с ГИС, как система сбора пространственных данных и манипулирования ими.

Цифровые карты позволяют создавать банки цифровой топографической и картографической информации, которая может быть использована многократно, полностью или частично по мере надобности.

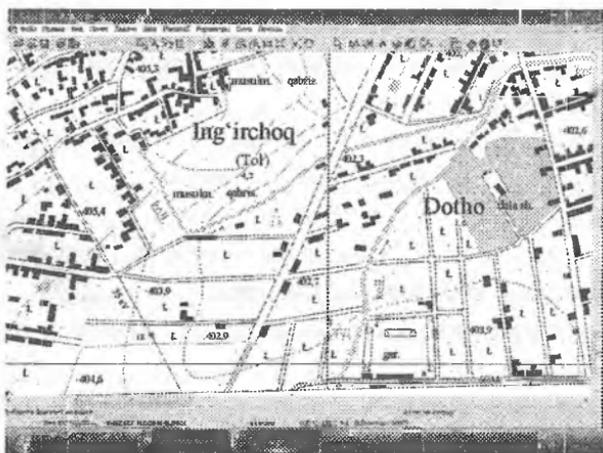


Рис.8.1 Фрагмент цифровой карты масштаба 1:10000, составленной на ЦФС PHOTOMOD

В геодезии появился термин ГИС - геоинформационная система. В отличие от других автоматизированных информационных систем в геоинформационных системах используется информация о земной поверхности и об объектах естественного и искусственного происхождения, расположенных на ней и вблизи неё, то есть, информационной основой ГИС являются данные о земной поверхности, представляемые в виде цифровых карт.

К настоящему времени уже определился круг проблем, при решении которых цифровым картам принадлежит решающая роль; перечислим их:

1. Оперативное нанесение и визуализация обстановки.

Цифровая топографическая карта служит основой, на которую накладываются слои специальной информации, например, дислокацию войск, экологическую обстановку, план работ по устранению стихийных бедствий и экологических катастроф и т.д.

2. Оперативное документирование.

Цифровая карта с нанесённой на ней обстановкой выводится на твёрдую основу (бумагу, пластик и т.п.) и в таком виде после соответствующего оформления и регистрации становится документом.

3. Издательская деятельность.

Различные варианты цифровой карты, отличающиеся как содержанием, так и полнотой, могут тиражироваться и распространяться среди потребителей.

4. Решение расчетно-аналитических задач, связанных с обработкой данных о земной поверхности.

К этим задачам относятся:

- управление и планирование,
- проектирование, в том числе моделирование природных и социальных процессов,
- расчеты, связанные с капитальным строительством, прокладкой путей сообщения и линий связи,
- штурманско-навигационные задачи по выбору пути, прокладке курса или отслеживанию движения тех или иных транспортных средств.

## 8.2. Создание цифровой карты с использованием ЦФС Photomod

Технологическая схема создания цифровых карт и планов с использованием ЦФС Photomod



Рис.8.2

Любой проект создания цифровой топографической карты (ЦТК) начинается с создания технического задания, в котором описаны стадии проекта, начиная от заказа полёта и заканчивая оформлением результатов, учитывая их экономическую сторону. Техническое задание разрабатывается с учётом характера снимаемой территории и масштаба составляемых продуктов, требований к виду конечных материалов, сроков выполнения работ и дополнительных требований к топографическим материалам, проектируемой технологии аэрофото-топографической съёмки. Фотограмметрические работы по созданию ЦТК включают в себя организацию и проведение аэрофотосъёмочных работ, обработку полученного материала (аэрофотоснимков), построение сте-

реомодели местности, уравнивание блока изображений, стерео-векторизацию объектов и рельефа, оформление. Создание ЦТК с использованием цифровой топографической камеры UltraCam имеет некоторые особенности. Планово-высотная привязка выполняется полевым методом по материалам аэрофотосъёмки. При создании планов крупных масштабов, когда масштаб съёмки мельче масштаба плана и повышаются требования к точности опознавания на аэрофотоснимках точек геодезического обоснования, рекомендуется выполнять их маркировку. Она производится перед аэрофотосъёмкой с минимальным разрывом по времени. Маркируются пункты геодезического обоснования и проектируемые опознаки. Изображения маркируемых точек должны закрываться на снимках изображениями других объектов. Маркировочные знаки должны иметь форму креста со свободным пространством в центре в виде квадрата или круга. Их размеры зависят от масштаба фотографирования. На каждый маркировочный знак собирается набор документов с указанием местоположения замаркированной точки, абриса, размеров и формы маркировочного знака, высоты над поверхностью земли в см и материала, использованного для маркировки. После выполнения аэрофотосъёмки проставляется номер аэро-фотоснимка. При использовании цифровой камеры для производства аэрофотосъёмки необходимо выполнять маркировку опорных точек постоянно, независимо от соотношения масштабов съёмки и плана. Это возможно благодаря большей детальности и четкости цифровых снимков по сравнению с аналоговыми снимками. На создание ЦТК по данной технологии потребуется значительно меньше времени, так как геодезистам для выполнения последующей планово-высотной подготовки не нужно ждать аэрофотосъёмки участка и обработки аэрофильма. По результатам выполненной аэрофотосъёмки получают уже намеченные на снимках опорные точки (рис.8.3). На местности в

это время могут выполняться геодезические измерения требуемых точек. Полевые фотоработы по обработке данных аэрофотосъёмки являются значимым этапом в технологии создания ЦТК, так как от качества аэроснимков зависит сложность их обработки. Процесс получения фотографического изображения состоит из нескольких этапов: съёмочного, негативного и позитивного. Они связаны между собой, и погрешности, возникающие при их выполнении, влияют на качество снимков и их обработку. Несоблюдение параметров аэросъёмки, колебания во время фотографирования, влияние погодных условий приводят к получению некачественного материала. Проявка аэрофильма считается настоящим искусством, так как несоблюдение пропорций используемых химических веществ, времени обработки фильма может привести к порче материала аэрофотосъёмки. Поскольку сегодня фотограмметрическая обработка изображений происходит с помощью цифровых фотограмметрических систем, позитивный процесс выполняется путем сканирования негативов. На практике мы имеем дело с искаженным растром. Приблизить реальный растр к идеальному можно либо, совершенствуя конструкцию сканера, либо, создавая математическую модель искажений для последующей корректировки растра. Эти минусы фотограмметрической обработки исключаются с использованием при аэрофотосъёмке цифровых съёмочных систем. Кроме того, существует возможность получения элементов внешнего ориентирования при использовании GPS/IMU-систем в процессе аэрофотосъёмки. Обработка информации производится в ПО AEROoffice автоматически с заданием требуемых параметров. Это исключает из процесса обработки данных на ЦФС стадию ориентирования и уравнивания фотограмметрической модели местности, используя прямое геопозиционирование. Если на борту самолета установлен дополнительно лазерный сканер, позволяющий получать рельеф

местности в полёте в виде облака точек (рис.8.4а), то фотограмметрическая обработка снимков упрощается ещё более. Процесс создания стереомодели местности включает в себя внутреннее, взаимное, внешнее ориентирование модели и её уравнивание. Камера UltraCamX со встроенной системой GPS/IMU позволяет облегчить этот процесс благодаря возможности использования данных внешнего ориентирования. Достаточно импортировать их на этапе измерения сети.

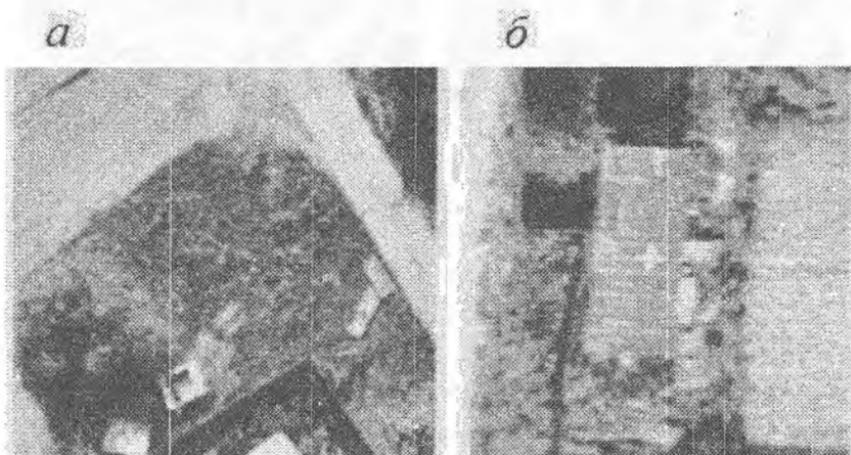


Рис. 8.3 Примеры расположения опорных точек:  
а – на отличительном участке земной поверхности;  
б – на крыше постройки

При этом в ЦФС PHOTOMOD существует возможность расчета взаимного ориентирования и уравнивания модели по элементам внешнего ориентирования. Как свидетельствует практика, применение спутниковых измерений требуемой точности позволяет сократить количество опознаков для построения сети, а в некоторых случаях – отказаться от них или использовать только как контрольные точки.

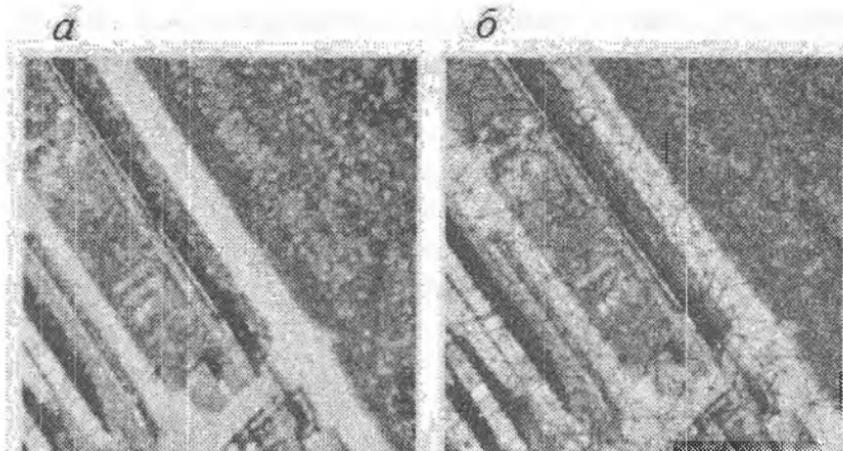


Рис.8. 4 Изображение рельефа местности в виде облака точек: а – результаты лазерного сканирования, б – TIN-модель, построенная по результатам сканирования

Это возможно, если данные внешнего ориентирования получены с требуемой точностью. Использование цифровой камеры UltraCamX упрощает и ускоряет технологию создания цифровых топографических карт и планов. Это происходит благодаря автоматизации многих этапов и возможности исключения некоторых из них. Разработанная методика создания цифровых топографических карт и планов с использованием цифровых технологий автоматизирует процессы обработки материалов аэрофотосъёмки и планово-высотной подготовки, процессы создания и уравнивания фотограмметрической модели местности, процессы создания цифровой модели местности, позволяет выполнять все этапы технологического процесса одним оператором, а также сокращает время обработки проекта и повышает его точность. Использование при аэрофотосъёмке цифровой аэрофотокамеры UltraCamX с опционально встроенной инерциальной системой IMU в комплексе с GPS-аппаратурой на борту самолёта позволяет получать качественные и точные цифровые снимки объекта, воссоздавать правильную фото-

грамметрическую модель местности с минимальными трудозатратами благодаря элементам внешнего ориентирования снимков, получаемых с помощью данных систем.

Анализ определения элементов внешнего ориентирования снимков показал, что данные не являются равноточными, вследствие временного фактора и геометрии наблюдений. Поэтому для создания и обновления крупномасштабных топографических карт и планов (масштаб крупнее 1:2000) нельзя автоматически создавать и ориентировать в пространстве фотограмметрическую модель с использованием только элементов внешнего ориентирования. Необходимо определять геодезические координаты опорных точек на местности и выполнять аэрофототриангуляцию по традиционной технологии. Для более мелких масштабов разработанная методика даёт точность, соответствующую инструкции по фотограмметрическим работам при соблюдении всех требуемых условий.

### **8.3. Современность и актуальность цифровых методов создания карт и планов**

В последние два десятилетия произошли огромные изменения в сферах средств и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Возникли принципиально новые средства измерений и методы обработки их данных: быстро развивающиеся средства съёмки из космоса, системы глобального позиционирования (СПП) объектов местности: ГЛОНАСС и GPS, географические информационные системы (ГИС). На рынке данных ДЗЗ прочно утвердились цифровые сканерные снимки высокого и сверхвысокого разрешения, получаемые с коммерческих спутников, которые серьёзно потеснили традиционно используемые аэрофотосъёмочные материалы. В области аэросъёмки также произошли значительные изменения: разработаны новые, более совер-

шенные средства и технологии получения данных в цифровом виде - цифровые аэрокамеры, воздушное лазерное сканирование, мультиспектральная и тепловая съёмка местности, сверхмалые летательные аппараты и др. В настоящее время, оба эти рыночных сегмента продолжают свою конкурентную борьбу и на практике их материалы и данные ДЗЗ, как и раньше, дополняют друг друга.

Изменилось и содержание процесса картографирования. Одновременно с резким сокращением выпуска традиционных бумажных топографических карт востребованы, производятся и используются, как самостоятельные, картографические продукты нового типа: ЦМР (цифровая модель рельефа), TIN-модели рельефа, цифровые ортоизображения, цифровые карты и планы, 3Д-модели местности. Как следствие, традиционные фонды картографической продукции в бумажном виде постепенно уступают место цифровым базам данных различного назначения.

Используя цифровые технологии в картографическом производстве при создании топокарт и планов, сокращается весь технологический процесс, начиная с аэрофотосъёмки, почти в три раза.

При использовании цифровых технологий нет необходимости в приобретении больших приборов, таких как СПР, СД, СЦ, стереокомпараторов и соответственно больших помещений для данного оборудования. Цифровая станция устанавливается на персональный компьютер, для чего необходим только стол.

Отпадает необходимость выделять большие помещения для хранения топографических основ, составленных на жесткой основе (это как правило карты на алюминиевой основе);

- существует возможность создавать необходимое количество копий;
- высокая и быстрая точность определения координат;

- своевременное обеспечение цифровой картой местности;

- отпадает необходимость создания больших запасов обычных топографических карт;

- многократное использование одних и тех же ЦКМ;

- возможность изменять масштаб на одной и той же ЦКМ;

- быстрое создание и обновление ЦКМ;

- быстрое уничтожение старых ЦКМ;

Методика создания цифровых топографических карт и планов с использованием цифровых технологий автоматизирует процессы обработки материалов аэрофотосъемки и планово-высотной подготовки, процессы создания и уравнивания фотограмметрической модели местности, процессы создания цифровой модели местности, позволяет выполнять все этапы технологического процесса одним оператором, а также сокращает время обработки проекта и повышает его точность.

А главным преимуществом цифровых технологий является производительность, качество, автоматизация и надежность создаваемой продукции.

## ГЛАВА 9. ТЕХНОЛОГИЯ ОБНОВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ

### 9.1 Понятие о процессе обновления устаревшей картографической основы

В результате деятельности человека, а также вследствие природных процессов облик поверхности земли непрерывно меняется. Это приводит к тому, что изданные карты перестают соответствовать действительности.

Обновление топографических карт производится с целью приведения их содержания в соответствие с современным состоянием местности и переиздания в принятой системе координат и в действующих условных знаках.

Создание цифрового плана местности и даже его части ставит вопрос о поддержании данных в актуальном состоянии. В связи с этим, обновление цифровых карт и планов является важной задачей цифрового картографирования.

При отсутствии современных топографических карт информация о земной поверхности и о природных антропогенных ландшафтах устаревает и теряет свою ценность. Различают физическое и моральное старение карт. Физическое старение связано с динамикой объектов местности и их характеристик. Это старение происходит постепенно и неравномерно по различным элементам. Физическое старение во многом зависит от экономического развития страны. Быстрее ландшафт меняется в экономически развитых районах. Строительство антропогенных объектов, прокладка дорог, сведение лесов может привести к тому, что карта перестанет быть современной через 2-3 года. Напротив, в малоосвоенных районах служба карты удлинится на десятилетия. Различные элементы карты стареют с разной скоростью. Природные элементы ландшафта меняются медленнее культурных. Физические изменения местности различают

по динамике: одни могут происходить медленно и постепенно (миграции рек, движение ледников), другие – быстро, катастрофически (сход селевых потоков, лавин, взрывы, карстовые обвалы). Моральное старение карт связано с их несоответствием современному научно-техническому уровню. В связи с непрерывным возрастанием требований к картам и научно-техническим прогрессам в развитии топографо-геодезического производства меняются математическая основа, полнота содержания, оформление карт и методы их создания. Эти изменения отражаются в новых инструкциях, условных знаках, руководящих технических материалах. Старение карт замедляет картографическую обеспеченность территории. Под обновлением карт понимается приведение их в соответствие с современным состоянием отображаемой местности и современными научно-техническими требованиями. Поскольку в большинстве случаев карта устаревает частично, при обновлении выполняют не все процессы и в меньшем объеме, чем при создании карты. Обновление должно проходить быстрее и с меньшими затратами, чем создание карты заново. Следует отметить, что обновление процесс не бесконечный, и после 3-4х циклов карту необходимо создавать заново, чтобы исключить ошибки, вносимые при обновлении. Обновление карт всегда является актуальной задачей и затрагивает многие вопросы. Технологически обновление карты индивидуально для каждого района и зависит от характера, числа и значимости изменений. При планировании технологии на первый план выходят задачи оценки качества обновляемой карты и наличия исходных материалов для обновления в частности космических или аэроснимков. При обновлении карт необходимо решение следующих задач: - изучение и анализ особенностей района обновления; - сбор и анализ основных и дополнительных источников информации, а именно:

а) литературных, описательных материалов, географических карт и атласов;

б) материалов топографических съёмок: каталогов и координат точек съёмочной сети, материалов фотосъёмок, технических документов к созданным или обновлённым картам (планам) предыдущего издания;

в) материалов специальных и специализированных крупномасштабных съёмок;

г) материалов государственного планирования; - оценка степени старения карт с целью выбора оптимальной технологии их обновления в зависимости от характера и числа изменений; - выбор исходных материалов, основных и дополнительных источников информации; - детальное выявление изменений местности, получение координат и характеристик изменившихся объектов, внесение изменений; - проверка качества обновленной карты (полевая, камеральная); - подготовка карты к изданию.

Детальное выявление изменений местности, получение координат и характеристик изменившихся объектов местности может проводиться различными методами: непосредственно в полевых условиях с использованием геодезических приборов, в камеральных - с использованием современных карт более крупного масштаба, по аэрокосмическим изображениям местности. Для полного обновления карт экономически выгодна технология обновления по космическим снимкам. Использование космической съёмки по сравнению с аэросъёмкой составляет удешевление работ в три раза. Последние 20 лет во многих областях картографического производства стали активно внедряться и использоваться электронно-вычислительные устройства, использование которых значительно сокращает долю ручного труда и повышает качество готового продукта. Переход на цифровые технологии ставит перед производством много технологических вопросов, связанных с точностью, содержанием и

информативностью цифровых топографических карт. При полном обновлении карт в цифровом виде с использованием аэрофотосъёмки и космической съёмки.

В зависимости от количества и характера изменений, происшедших на местности с момента создания карт, а также важности районов для развития производительных сил и обороны страны карты должны обновляться, как правило, со следующей периодичностью:

на наиболее важные обжитые районы – через 6 – 8 лет;

на прочие районы – через 10 – 15 лет.

Карты подлежат обновлению в следующих случаях:

При изменении государственной границы;

При появлении новых населённых пунктов;

При изменениях в дорожной сети;

При изменениях в гидрографии;

При изменении растительного покрова, затрудняющего ориентирование на местности;

При изменении географических названий;

При переходе к новой системе координат;

При введении новых условных знаков.

Карты не обновляют, если произошли изменения, которые не затрудняют использование карты. Вот пример некоторых из них:

Появление отдельных строений;

При изменении контуров растительного покрова, не затрудняющего ориентирование на местности;

При изменении положения полевых и проселочных дорог.

Решение на обновление карт принимается на основании изучения изменения местности, которое постоянно ведётся геодезическими предприятиями на закреплённые за ними районы.

Границы районов обновления карт должны выбираться с таким расчётом, чтобы в кратчайшие сроки можно было обновить карты всего масштабного ряда.

Обновленные карты по точности, содержанию и оформлению должны удовлетворять требованиям основных положений по созданию топографических карт масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000 и действующих наставлений по топографическим съёмкам, а также условным знакам для карты соответствующего масштаба.

Высота сечения рельефа при обновлении не меняется.

Обновление карт на труднодоступные районы, а также карт масштаба 1 : 100 000 выполняется в соответствии с особыми указаниями ГУГК.

Карты, планово – высотная основа которых по точности не удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям, не обновляются, а создаются заново.

На участках местности, где в результате хозяйственной деятельности значительно изменились рельеф и контуры местности (районы поливного земледелия, добычи полезных ископаемых открытым способом и т. п.) или где ранее выполненная съёмка по каким-либо причинам оказалась низкого качества, также должна быть произведена новая съёмка.

Необходимость новых съёмок должна быть обоснована путём тщательного изучения района работ и анализа карт этого района.

На производство работ по обновлению топографических карт составляют технические проекты, которые рассматриваются и утверждаются в установленном порядке.

Издание обновлённых карт производится не позднее одного года после их обновления.

Карту приходится создавать заново, если изменения настолько значительны, что нельзя использовать старые опознаки; если произошли значительные изменения рельефа

и нельзя использовать высоты со старой карты; если точность карты не соответствует современным требованиям.

## **9.2. Способы обновления картографической основы**

В настоящее время основным методом создания и обновления топографических карт и планов, является фотограмметрический метод, основанный на использовании аэро и космических снимков. Только этот метод позволяет создавать и обновлять топографические карты и планы в достаточно короткие сроки и в значительной мере сократить затраты на производство работ за счет сокращения объёма дорогостоящих полевых работ.

Способы обновления топографических карт зависят от следующих факторов: - рельефа местности, - насыщенности контуров, - количества и характера изменений местности.

Обновление топографических карт производится следующими способами:

1. путём камерального исправления по аэроснимкам с последующим полевым обследованием или без него;

2. путём исправления непосредственно в поле приёмами инструментальной мензульной съёмки;

3. путём исправления (составления) по картографическим материалам более крупных масштабов, полученных в результате новых съёмок и которое выполняется на компьютерах с помощью цифровых фотограмметрических станций.

Независимо от способа обновления обязательно используются имеющиеся на район работ картографические и литературно – справочные материалы, изданные или составленные после создания обновляемых карт.

Обновление при помощи мензульной и тахеометрической съёмки производится только для крупномасштабных карт и планов. Обновление приёмами мензульной и тахео-

метрической съёмки может производиться как исключение на участках, не покрытых аэросъёмкой.

Одним из основных способов обновления карт в настоящее время является процесс обновления по ортофотопланам, составленным на цифровых фотограмметрических станциях.

### **9.2.1. Обновление по цифровым ортофотопланам**

Технология обновления ЦТК предполагает приведение контурной части содержания карты в полное соответствие со снимками нового залёта и устранение обнаруженных отдельных ошибок в изображении форм рельефа. Обновление выполняется по стереоскопическим или одиночным аэро и космическим снимкам центральной и нецентральных проекции или по фотопланам, составленным по этим снимкам. Последние усовершенствования ПО и технологии касаются обновления карт по их растровым копиям без предварительной векторизации, ортогонализации объектов обновляемой карты, автоматизированного ввода координат контурных точек объектов обновляемой карты в качестве опорных для внешнего ориентирования снимков, добавления полупрозрачных слоев для обновления растровых карт и планов, пересчёта координат из WGS-84 в СК-42 (СК-95) и обратно, вставки растровых изображений из проекта триангуляции, ввода формул в качестве вещественных параметров.

Использование фотопланов, как основы для получения топографических и тематических карт комбинированным или стереофотограмметрическим методами, освобождает производство от необходимости инструментальной съёмки контуров, в результате чего получается существенный экономический эффект. Ещё больший эффект возникает при применении фотопланов для обновления карт.

Обновление карт на основе новых фотопланов применяется в равнинных и всхолмлённых районах, когда при значительной контурной нагрузке изменения на местности, превышают примерно 30-40% от общего числа контуров и объектов.

Очевидно, что обновление топографических карт по фотопланам является наиболее приемлемым для оперативного обновления и составления карт по аэрофотоснимкам при предотвращении последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) и при инвентаризации земель, когда изменения на местности зачастую намного превышают 40%. А автоматизация этого процесса позволяет повысить оперативность получения картографических материалов примерно в 2-3 раза при сохранении заданной точности.

Процесс цифрового обновления топографических карт по аэрофотоснимкам представляет собой длинную цепь математических преобразований в различных системах координат. Оценка точности выполнения этого процесса также производится в какой-либо проекции. Это может быть система координат одного из снимков, геоцентрическая или картографическая система.

### **9.2.2. Обновление цифровых карт по космоснимкам**

Одним из основных видов цифровой картографической продукции топографо-геодезической отрасли являются цифровые топографические карты (ЦТК) и цифровые планы городов (ЦПГ). Данные о пространственных объектах, содержащиеся на ЦТК и ЦПГ, используются в геоинформационных системах для решения задач в отраслях экономики, а также в целях обеспечения обороноспособности и национальной безопасности страны. В качестве основных источников геопространственной информации для обновления

ЦТК и ЦПГ применяются материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Облик Земли постоянно меняется, и любая карта постепенно стареет. Космические снимки содержат самые свежие и достоверные сведения о местности и успешно используются для обновления карт не только мелкого, но и крупного масштаба. Они позволяют исправлять карты больших территорий земного шара. Особенно эффективно космическое фотографирование в труднодоступных районах, где полевые работы связаны с большой затратой сил и средств.

В последнее время, технология дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса представляют собой неотъемлемый инструмент изучения и ежедневного мониторинга планеты. С каждым годом на орбиту выходят спутники с более высоким пространственным разрешением. В результате, происходит вытеснение аэрофотосъемки, так как космическая съемка становится более оперативной, масштабной и недорогой. Нынешние спутники позволяют получать изображения с пространственным разрешением до 0,3 м (WorldView-4). Благодаря подобным спутникам можно составить план местности масштаба до 1:2 000.

Лучший способ для обновления топографических карт являются космические снимки. Во-первых, космические снимки охватывают большую площадь. Во-вторых, это менее затратный вид получения картографических материалов по сравнению с аэрофотосъемкой. В-третьих, развитие ДЗЗ (дистанционное зондирование Земли) и разрешающей способности камер достигло такого уровня, что аэрофотосъемка с течением времени уходит на второй план. Эти три критерия являются ключевыми в выборе способа съемки той или иной территории.

Создание и обновление топографических карт являются существенными факторами при планировании развития экономического производства страны. Современная и досто-

верная информация о состоянии местности дает возможность принимать правильные решения при планировании народнохозяйственных задач.

Следовательно, для этого требуется не только полное покрытие территории страны топографическими картами и другими документами о местности, но и их периодическое обновление.

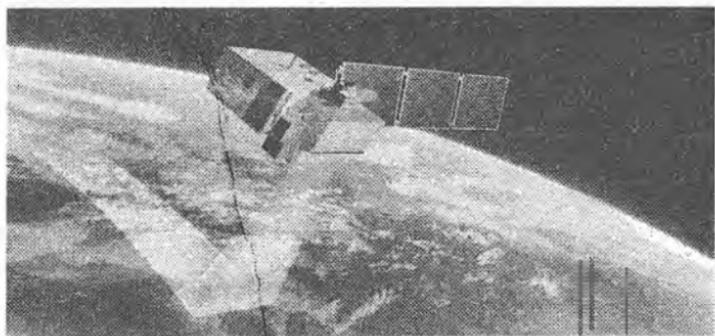


Рис.9.1 Съёмка с использованием спутника

При этом желательно использовать такие технологии, которые могли бы обеспечивать создание и обновление карт с относительно небольшими временными и финансовыми затратами. С момента появления космических съёмочных систем, а также внедрения в топографо-геодезическое производство цифровых технологий фотограмметрической обработки аэрокосмических снимков, проблемы создания и обновления топографических карт стали решаться на качественно новой основе. Развитие съёмочных спутниковых систем и методов обработки космических снимков высокого разрешения на основе применения цифровых фотограмметрических систем принципиальным образом изменяют технологию создания и обновления топографических и кадастровых карт различных масштабов, в том числе и крупных.

В современных условиях развития систем ДЗЗ создание и обновление карт и планов выполняется на основе сканерных оптико-электронных (панхроматических и мультиспектральных) снимков, полученных с помощью различных сенсоров воздушного и космического базирования (Канопус-В, БКА, Ресурс-П, GeoEye-1, WorldView-1,-2,-3 IKONOS, SPOT-5,-6,-7, FORMOSAT, CARTOSAT, Pleiades -1A,-1B, TH-1,-2, QuickBird2, Kompsat-3 и т. д.). Основные требования к материалам ДЗЗ, используемым для обновления ЦТК следующие:

– отсутствие облачности или дымки, которые визуализируются в коротковолновых («синих») спектральных каналах, при этом тон снимка выделяются в виде белых пятен, сопровождаемых тёмным пятном той же формы – тенью от облака, дымка, как правило, приводит к существенному снижению контраста снимка);

– отсутствие ошибок сенсора, которые проявляются в виде полос яркого, или наоборот, тёмного цвета, регулярно расположенных тёмных пятен прямоугольных очертаний и т. п.;

– обеспечение полного покрытия материалами космической съёмки района работ, без разрывов; – материалы ДЗЗ должны быть одинакового пространственного разрешения для создания ортофтопланов в рамках одного номенклатурного листа ЦТК;

– наличие сопроводительной информации (название спутника, название сенсора, дата съёмки, данные о системе координат, перечень спектральных каналов, пространственное разрешение).

На сегодняшний день данные дистанционного зондирования представляют широкий выбор материала по типу, формату, пространственному и радиометрическому разрешению космических снимков, которые могут использоваться для создания и обновления геопространственной инфор-

мации. В зависимости от задачи, специалист может определить необходимый масштаб картографирования, вследствие этого подобрать нужное разрешение космического снимка. Для задач крупномасштабного картографирования подойдут снимки сверхвысокого разрешения, которые имеют разрешение крупнее двух метров. Например: rd, WorldView-1,2,3,4, GeoEye, Formosat-2, PlanetScope, DigitalGlobe и др

Для обработки космических снимков и использования их для целей обновления, в настоящее время используются различные цифровые фотограмметрические системы, такие как Photomod, ErdasImaging, ENVI, MapInfo Professional и др., с помощью которых и создаются современные цифровые картографические материалы в виде цифровых топографических карт и ортофотопланов.

Сегодня цифровые методы обработки аэроснимков в целях создания и обновления цифровых карт и планов являются наиболее точными и производительными;

Технология обновления цифровых растровых и векторных моделей топографических планов даёт возможность поддерживать их в актуальном состоянии.

Главная особенность цифровой технологии обновления карты состоит в том, что каждый специалист создаёт почти полностью законченный составительский оригинал (преимущественно в камеральный период), включающий контурную и высотную основы карт, полученные в результате дешифрирования, создания цифровой модели рельефа и построения его изолинейного изображения. Лучшим методом обновления, конечно, является процесс обновления по космоснимкам, так как площадь одного снимка может покрыть очень большую территорию, а это в свою очередь ведёт к сокращению всего технологического процесса.

Несомненно, будущее в процессе обновления принадлежит космическим снимкам.

## ГЛАВА 10. СОВРЕМЕННЫЕ ГИС ТЕХНОЛОГИИ В ФОТОГРАММЕТРИИ

### 10.1 ГИС Карта Panorama, её создатели

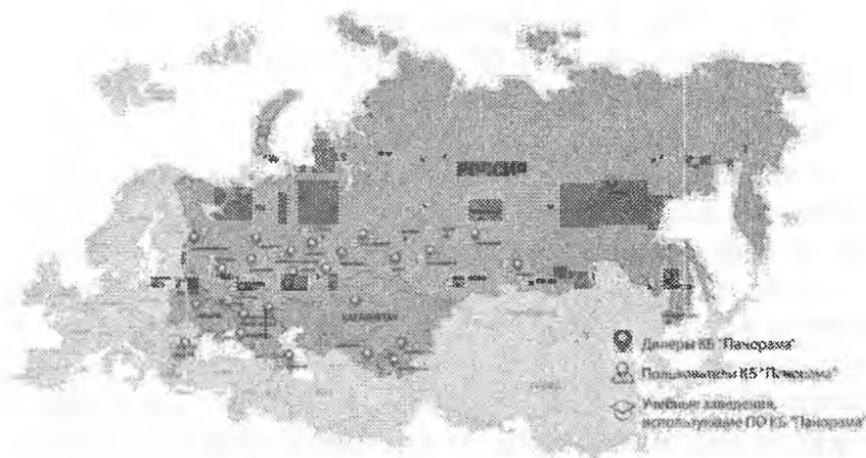
Основным направлением деятельности компании является разработка программного обеспечения и архитектура геоинформационных систем, которые используются в различных областях народного хозяйства и обороны страны.

**Акционерное общество Конструкторское бюро "Панорама"** - ведущая российская компания в области разработки геоинформационных систем и технологий. Основным направлением деятельности компании является разработка и внедрение ГИС, которые используются в таких сферах, как землеустройство и кадастр, геодезические изыскания, картографирование, силовые ведомства, сельское хозяйство, аэронавигация и многих других. Компания является членом кооперации "Федерального центра науки и высоких технологий ВНИИ ГОЧС".

ГИС Карта Panorama широко применяется в государственных структурах, крупных компаниях, на небольших предприятиях и позволяют эффективно использовать различные геопространственные данные.

**Более 25 лет на рынке ГИС-технологий**





- Профессиональные инструменты для создания национальных систем картографирования с поддержкой международных стандартов серии ISO 19100

- Продукты готовы для использования более чем в 100 странах мира

  - Свыше 50 дилеров АО КБ "Панорама"

  - Свыше 84 тысяч зарегистрированных пользователей ГИС "Панорама"

- Более 110 учебных заведений применяют продукты КБ "Панорама" для подготовки специалистов

- Продукты представлены на самых распространенных языках мира: русский, английский, испанский, французский, казахский, китайский, украинский, вьетнамский.

- Создатели программного комплекса ГИС Карта Рапогата постоянно развиваются, и ежегодно на мировой рынок выходит новая версия с новыми задачами, функциями. Происходит постоянное обновление различных операций, ранее выполняемые в данной программе.

В настоящее время, создателями выпущена версия Рапогата 13.06, где очень много процессов в области геодезии, топографии и картографии автоматизированы.

## 10.2. Возможности программного комплекса ГИС Карта Рапогата

Основные возможности- это:

**-Развитые средства редактирования векторных и растровых карт** местности и нанесения прикладной графической информации на карту. Поддержка нескольких десятков различных проекций карт и систем координат, включая системы 42 года, ПЗ-90, WGS-84 и другие. Поддержка всего масштабного ряда – от поэтажного плана до космонавигационной карты Земли. Объём одной векторной карты может занимать несколько Тб. Одна растровая или матричная карта может занимать до 1 Тб.

### **-Импорт и просмотр**

- векторных карт из форматов (SXF, TXF, OGC GML (XML), KML (Google), Arinc 424 и др.);
- растровых данных (RSW, BMP, JPEG, GeoTIFF, TIFF, IMG), мультиспектральных снимков (GeoTIFF);
- матриц высот, матриц качеств, геологических матриц слоёв, TIN-моделей, данных лазерного сканирования (облако точек в формате MTD);
- пользовательских карт, района работ.

### **-Создание новых карт**

**Создание новых карт с автоматическим заполнением параметров проекции** по коду EPSG или из списка параметров в формате XML.

**Экспорт карт** в форматы SXF, MIF\MID, SHP\DBF (Shape), OGC GML (XML), KML (Google), DXF, S57.

**-Профессиональный редактор карты (свыше 170 режимов)**

Общий контроль качества векторной карты и контроль абсолютных высот.

## Выполнение прикладных задач:

**Трансформирование данных** (трансформирование векторной карты, трансформирование растровых данных, трансформирование снимков и тд.)

**Обработка данных** (предтайловая подготовка данных OpenStreetMap, построение математической основы, свodka смежных листов, объединение данных, построение горизонталей по матрице высот)

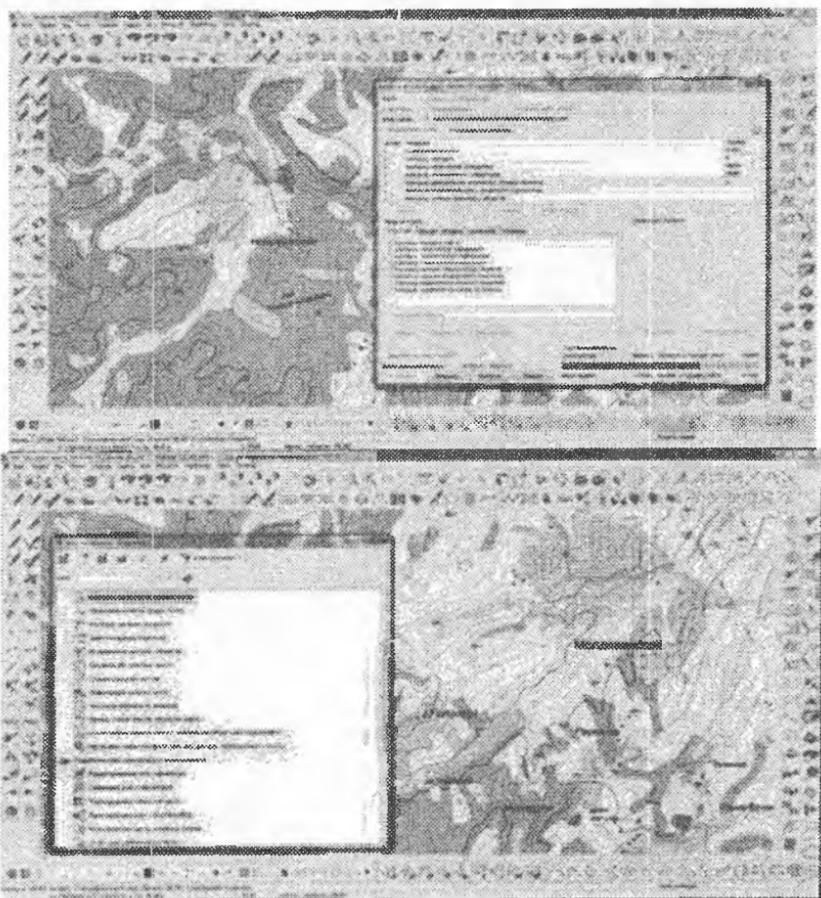


Рис.10.1

**Контроль и исправление данных** (исправление метрики объектов, построение подписей по семантике объектов, контроль метрики подписей, просмотр статистики по объектам и т.д.)

**Геодезические задачи** (расчёт параметров МСК по набору точек, расчёт параметров датума по набору точек)

### **Автоматическое создание и расстановка подписей**

Предназначена для создания подписей по семантике объектов. В процессе создания подписей анализируется их взаимное положение для исключения пересечения подписей.



Рис.10.2

## Построение трёхмерных моделей

Построение трёхмерных моделей местности, перемещение по ним в реальном масштабе времени. Поверхность модели может формироваться с использованием векторных, растровых или матричных карт, предусмотрено построение изображения объектов электронной карты, выбор текстур и материала покрытия.

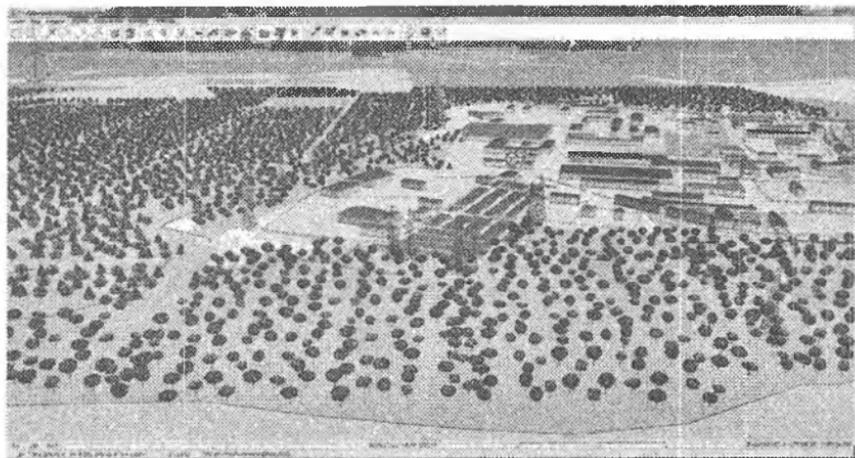


Рис.10.3

**Выполнение логических и математических операций  
над списками объектов**

Построение пересечений или объединений контуров объектов одного списка с другим. Построение общей зоны вокруг объектов, входящих в список. Отбор на карте объектов одного списка, имеющих определённую пространственную связь с объектами другого списка (вхождение, пересечение, примыкание, удаление в пределах заданного расстояния и тому подобное) и т.д.

### Сетевая модель и сетевой анализ.

#### Граф дорог

Задачами сетевого анализа являются поиск минимального маршрута между узлами с учётом значений семантических характеристик ребер сети и нахождение объектов в пределах заданного расстояния от указанного узла (графа удалённости). Сетевая модель данных (граф дорог) представлена в виде пользовательской карты, содержащей объекты: узел и ребро сети с семантическими характеристиками, в которых хранится информация о связности сети и атрибуты для решения задач сетевого анализа.

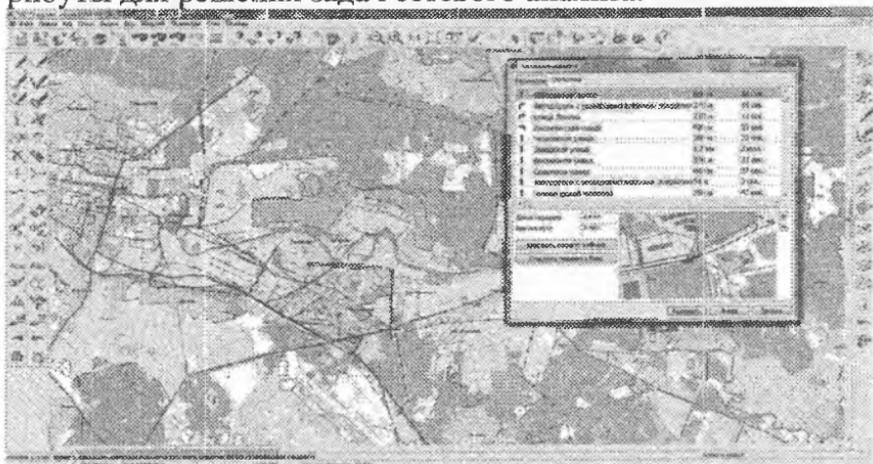


Рис.10.4

## **Атлас карт - менеджер карт**

Поддержка атласа карт (быстрый переход между перекрывающимися картами разных масштабов, систем координат и проекций. При помощи дополнительного модуля - "Менеджер карт" доступна удобная систематизация метаданных о картографических ресурсах в вашей локальной сети.

## **Интерактивное проектирование информационных систем и работа с базами данных**

Интерактивное проектирование информационных систем на основе встроенного конструктора форм, отчётов, SQL -запросов. Различные виды связи объектов карты с записями таблиц базы данных (от один к одному до много ко многим). Средства анализа данных и построения графиков, диаграмм, тематического картографирования, геокодирования.

## **Тематическое картографирование**

Создание диаграмм на карте по значениям семантических характеристик или значениям выбранных полей таблиц баз данных. При создании картограмм существует возможность пропорционального и непропорционального распределения диапазонов значений атрибутивных характеристик.

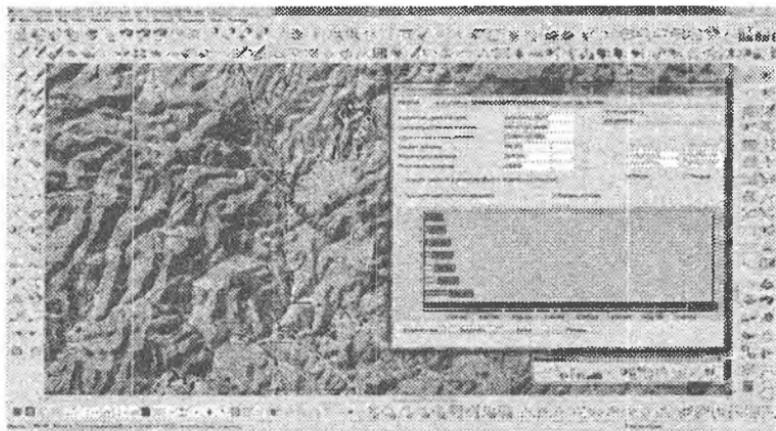


Рис.10.5 Расчёты на плоскости и в пространстве

Расчёты на плоскости и в пространстве с учетом искажений проекций, кривизны Земли, трёхмерных координат, матриц высот и качественных характеристик. Выполнение оверлейных операций над множеством объектов. Контроль топологической корректности данных. Поиск и отбор объектов по значениям атрибутивных характеристик, размерам, пространственному положению относительно других объектов.

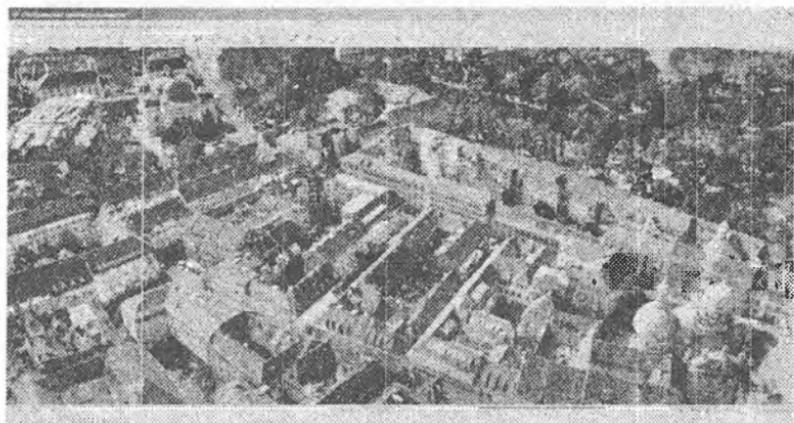
### Построение и анализ поверхностей

ГИС "Панорама" позволяет создавать и анализировать модели поверхностей, отражающих изменение заданной характеристики. Модель поверхности может отображать такие свойства местности как высоты рельефа, концентрацию загрязнения, количество осадков, уровень радиации, удалённость от заданного объекта и другие. Модель может быть сформирована в виде матрицы высот (MTW) или матрицы качеств (MTQ).



**Рис.10.6** Обработка данных лазерного сканирования

Создание и обновление электронных карт, цифровых моделей рельефа и математических моделей местности по данным воздушного лазерного сканирования и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).



**Рис.10.7** Работа с пространственными данными из интернет источников

Поддержка международных стандартов и протоколов обмена данными OGC WMS, OGC WMTS и TMS позволяет

получать любую пространственную информацию с сервисов расположенных в среде Интернет. Просмотр снимков Google и DigitalGlobe совместно с другими пространственными данными позволяет получить более наглядную информацию на необходимую территорию. В качестве подложки к любым пространственным данным могут выступать сервисы GOOGLE, YANDEX, OPENSTREETMAP, КОСМОСНИМКИ, YAHOO!, VIRTUALEARTH.

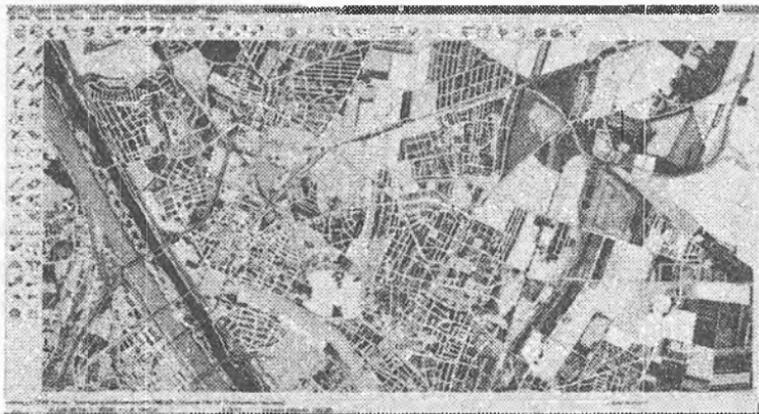


Рис.10.8 Подготовка к изданию

Комплекс подготовки карт к изданию предназначен для улучшения наглядности печатной карты с учётом требований по оформлению карт, подготовки схем, атласов и формирования расчленённых изображений карты для офсетной печати.

### **Подготовка и печать отчетов**

Подготовка и печать сложных отчётов, включающих карты, графику, многострочный текст с разными атрибутами, встроенные офисные документы и таблицы, за рамочное оформление, координатные сетки и другие элементы. Печать электронной карты на различных устройствах вывода и

вывод в PostScript. Предварительный просмотр документа, подготовленного к печати, настройка параметров печати мелких тиражей карт.

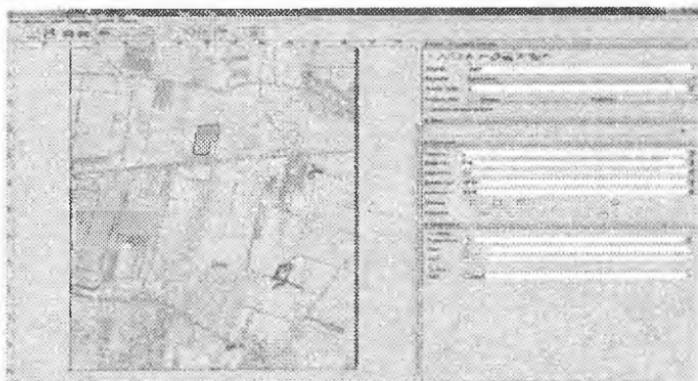


Рис.10.9 Комплекс анализа мультиспектральных снимков

Комплекс анализа мультиспектральных снимков предназначен для вычисления статистики по каналам и настройки отображаемых каналов мультиспектрального снимка. Мультиспектральные снимки обрабатываются в файлах формата GeoTIFF без дополнительного преобразования во внутренний формат RSW.



Рис.10.10 Навигация

Отображение собственного местоположения на фоне карты. Пересчёт координат, полученных в системах ГЛОНАСС (ПЗ-90) и НАВСТАР (WGS-84) в систему координат 42 года. Отображение трёхмерных координат, скорости и азимута движения, пройденного расстояния, азимута на заданную точку и других параметров. Отображение пройденного пути и выбор маршрутов для дальнейшего движения.

ГИС Панорама версии 13 обеспечивает обработку данных ДЗЗ, матриц высот и цифровых карт объёмом до 500 Гб, версия 11 - до 2 Гб

В настоящее время выпущена новая версия 13.6. 3.

В данной версии

1) Расширен перечень поддерживаемых СУБД для работы с пространственными базами данных: PostgreSQL с расширением PostGIS (тип данных St\_Geometry), Oracle с расширением Oracle Spatial (тип данных SDO\_GEOMETRY), СУБД Oracle с расширением ArcSDE (тип данных St\_Geometry), Microsoft SQL Server (тип данных geofaphy).

Для MS SQL Server поддерживается работа с 2-мерной метрикой в системе координат WGS84 (EPSG:4326). В состав инсталляции включен SQL-скрипт (\setupdb\mssql) для автоматического создания в MS SQL Server объектов, необходимых для отслеживания изменений в базе данных: триггеров на таблицах с пространственными данными и таблицы-журнала изменений. Для подключения баз данных под управлением MS SQL Server на компьютере пользователя должен быть установлен Microsoft SQL Server 2012 Native Client, скачать который можно с официального сайта Microsoft - <https://www.microsoft.com/ru-ru/download/details.aspx?id=50402>.

Параметры подключения к базе данных (таблица, представление данных или SQL-запрос) настраиваются в диалоге администрирования подключения к базе данных и сохраняются в файле с расширением DBM, имеющем структуру

XML. Настройки предусматривают ввод имени файла DBM, способа и параметров подключения к базе данных, создание списков отображаемых и редактируемых объектов и их семантических характеристик (атрибутов).

ГИС "Панорама" обеспечивает прямое отображение и редактирование произвольных пространственных баз данных в картографических условных знаках, в том числе созданных другими ГИС, без дополнительных сторонних модулей на основе прямого взаимодействия с СУБД PostgreSQL, Oracle и MS SQL Server через SQL-запросы.

2) Добавлена возможность отображения упакованного проекта пространственных данных MPTZ с ГИС Сервера версии 9.4 и выше. В упакованный проект может входить комплексное представление территории в виде векторных карт разного уровня детальности, снимков местности формата RSW, матриц высот и матриц качественных характеристик местности, врезки из этих же данных, ссылки на данные с ГИС Сервера и с геопорталов по различным протоколам. Все наборы данных упаковываются в один файл формата MPTZ. Общий объём упакованных данных уменьшается в 3-10 раз. Скорость обмена данными, упакованными в проект MPTZ, возрастает в 5-20 раз с учётом уменьшения числа передаваемых файлов. Размер файла MPTZ и число наборов в проекте не ограничены. Карты упаковываются вместе с классификаторами, деревом распределения объектов по площади карты, мультимасштабными объектами (генерализированные контура для разных масштабов отображения) и хэш-таблицами проиндексированных для поиска семантик объектов, пирамидами тайлов растров и матриц, что обеспечивает высокую скорость отображения и поиска данных.

Виртуальная папка на ГИС Сервере может пополняться/обновляться проектами MPTZ в фоновом режиме, меняя площадь и детальность фонового картографического

покрытия и состав данных ДЗЗ без дополнительного администрирования данных. Упакованные проекты MPTZ могут формироваться по регионам (как, например, на странице Скачать \ Цифровые карты - [gisinfo.ru/price/price\\_map.htm](http://gisinfo.ru/price/price_map.htm)) или по номенклатурным листам (например, масштаба 1 : 500 000), что позволяет быстро формировать комплексное покрытие заданной территории.

3) В задаче импорта графических файлов (GeoTIFF, PNG, JPEG и других) добавлена загрузка пирамиды растровых тайлов из формата KMZ. Архив KMZ может содержать файл KML и набор растровых файлов. В файле KML содержится описание параметров растровых данных - имена и координаты привязки растров, а также приоритет их отрисовки. В результате импорта пирамиды растровых тайлов из KMZ формируется набор файлов RSW, объединённых в проект MPT. Проект MPT содержит список растров в формате RSW и границы видимости растров в соответствии с параметром "Приоритет отрисовки".

4) В задаче импорта матриц из форматов SRTM, GeoTIFF добавлена загрузка пирамиды матриц высот рельефа из формата KMZ. Архив KMZ содержит файл KML и набор одноканальных файлов GeoTIFF с данными о высотах рельефа. В файле KML содержатся имена файлов матриц с координатами привязки и приоритет их отрисовки. Из файла KMZ формируется набор файлов MTW, объединённых в проект MPT. Проект MPT содержит список матриц в формате MTW и границы видимости матриц в соответствии с параметром "Приоритет отрисовки".

5) Скорость поиска объектов, имеющих заданные семантические характеристики, увеличена в среднем в 1 000 раз за счет индексации значений семантик с применением методов полиномиального хеширования, построения справочников значений и других улучшений алгоритмов поиска. На контрольном примере из 4 000 000 объектов выполнен поиск по

трём индексированным семантикам: "Собственное название", "Число жителей", "Уникальный идентификатор объекта", которые были заполнены у более 3 350 000 объектов. Скорость выполнения выборки объектов сократилась с 4 секунд до 4-5 миллисекунд. Дополнительный объём оперативной памяти для размещения хеш-таблиц составил 95 Мбайт, размер исходной карты - 802 Мбайта.

Для активизации построения хеш-таблиц необходимо в Редакторе классификатора для семантик, используемых при поиске объектов, включить опцию "Индексировать для поиска". Для сокращения времени построения хеш-таблиц они сохраняются в файл с расширением ".seh" и считываются при открытии карты. При сохранении карты в упакованном формате SITZ\MAPZ\MPTZ хеш-таблицы упаковываются в общем архиве с картой.

Новый алгоритм позволяет выполнять в многопоточном режиме большее число запросов на поиск из прикладных задач и повысить производительность серверных приложений.

б) В задаче редактирования списка семантик для удобства и ускорения работы расширена возможность копирования и вставки значений семантики с использованием буфера обмена. Копирование в буфер осуществляется комбинацией горячих клавиш Ctrl+Ins, Ctrl+C, вставка - Ctrl+V. Поддерживается вставка значения семантики как для отдельного объекта, так и для объектов в выделенном диапазоне ячеек таблицы семантик. Выделение строк осуществляется удерживанием левой кнопки компьютерной мыши. Вставка возможна для присвоения значения семантики одного кода всем объектам таблицы. Для этого в контекстном меню назначен пункт «Вставить» из буфера.

7) Для отображения полигонов с точечным знаком добавлено новое свойство объектов в Редакторе классификатора - "Полигон с точкой". Для объектов с этим свойством при создании и редактировании объекта или при сор-

тировке автоматически создается подобъект с одной точкой в центре полигона. Если условный знак полигона содержит параметры полигона и параметры точечного или векторного знака, то в центре полигона отобразится соответствующий знак. Пользователь может изменить положение точки в Редакторе карты.

8) Обновлен классификатор `survey.v5.rsc`. Для увеличения скорости поиска объектов по значению семантических характеристик включена опция "Индексировать для поиска" следующим семантикам: "Собственное название", "Номер дома", "Кадастровый номер", "Учётный номер", "Обозначение", "Номер лесного квартала", "Кадастровые номера участков, на которых расположен объект недвижимости", "Кадастровые номера помещений, расположенных в объекте недвижимости", "Кадастровые номера машиномест, расположенных в объекте недвижимости", "Кадастровый номер единого недвижимого комплекса", "Номер участка", "Фамилия владельца".

В классификаторе `map5000m.rsc` включена опция "Индексировать для поиска" следующим семантикам: "Индексировать для поиска" для семантик: "Собственное название", "Номер дома", "Обозначение", "Название города", "Название района", "Название улицы", "Название деревни".

В классификаторах цифровых топографических карт масштабов 1: 25 000 - 1: 1 000 000 включена опция "Индексировать для поиска" следующим семантикам: "Собственное название", "Количество жителей", "Политико-административное значение", "Номер дороги", "Номер дома, шурфа, скважины и др.", "Количество жителей по шкале", "Собственное название, текст подписи на национальном языке", "Назначение объекта".

В новой версии создана новая задача- построение матрицы глубин.

В ГИС «Панорама» версии 13.6.3, разработанной КБ «Панорама», значительно ускорена обработка векторных карт и данных ДЗЗ больших объёмов. Отметим основные из них:

— в 4–6 раз ускорено трансформирование векторных карт из одной системы координат в другую;

— в 3–6 раз ускорен импорт графических файлов форматов GeoTIFF, PNG, JPEG и других в формат RSW за счёт применения многопоточной обработки на многоядерном процессоре;

— в 2–4 раза ускорена оптимизация списка растров формата RSW за счёт применения многопоточной обработки на многоядерном процессоре: сжатие, декомпрессия и обновление обзорных изображений растров (пирамиды тайлов); — в 3–5 раз ускорен импорт матриц высот и качественных характеристик из файлов форматов HGT (SRTM), GeoTIFF и IMG за счёт применения многопоточной обработки на многоядерном процессоре.

### 10.3. Возможности программного комплекса ArcGIS

**ArcGIS** - геоинформационный программный комплекс, разработанный компанией ESRI, позволяющий строить ГИС любого уровня. Линейка продуктов ArcGIS 10 даёт возможность осуществлять полный цикл работ в области геоинформатики от создания пространственных данных до публикации их в WEB и мобильных приложениях.

Компания ESRI (Environmental Systems Research Institute- Институт наук о земле) - начала свою работу в 1969 г. Тогда, как уже говорилось в истории ГИС, они представляли собой высокоспециализированные системы, разрабатываемые под конкретную, узкую задачу и программное обеспечение. Эти системы сложно было назвать пользовательскими, так как управлялись они десятками или даже

сотнями человек высококвалифицированного персонала. Законодателем мод на рынке программного обеспечения (ПО) ГИС безусловно является корпорация ESRI и её линейка программного обеспечения. Исторически, вклад ESRI в развитие ГИС можно сравнить со вкладом Microsoft и Intel в развитие компьютеров и ПО в целом

ArcGIS представляет собой полную систему, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию. Являясь мировым лидером среди платформ для построения и использования геоинформационных систем (ГИС), ArcGIS используется людьми по всему миру для применения географических знаний в практической сфере государственного управления, бизнеса, науки, образования и СМИ. Платформа ArcGIS позволяет публиковать географическую информацию для доступа и использования любыми пользователями. Система доступна в любой точке, где возможно использование веб-браузеров, мобильных устройств в виде смартфонов, а также настольных компьютеров.

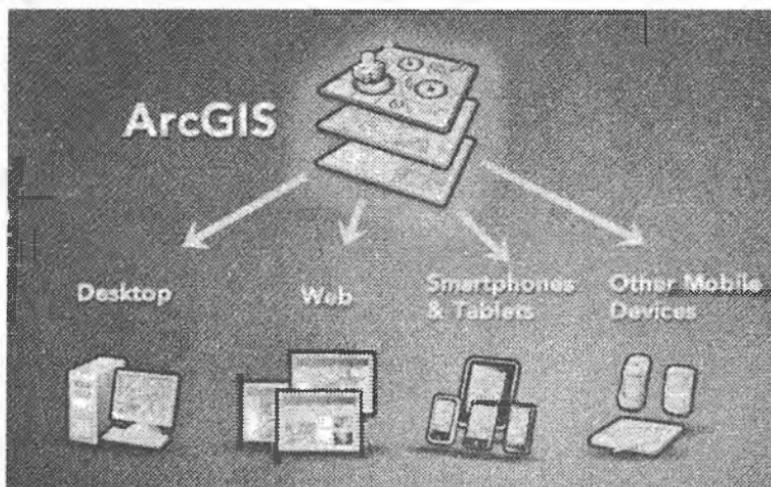


Рис.10.11

Система ArcGIS позволяет создавать надёжную географическую информацию ГИС-сообществом, легко и просто использовать её любым заинтересованным лицам (а также определять, с кем ею можно обмениваться). Данная система включает в себя программное обеспечение, интерактивную облачную инфраструктуру, профессиональные инструменты, настраиваемые ресурсы, например, шаблоны приложений, готовые к использованию веб- и мобильные приложения, готовые к использованию базовые карты, а также надежное содержание, которое распространяется сообществом пользователей. Поддержка серверов и облачных платформ позволяет выполнять совместную обработку и обмен; при этом критическая для планирования и принятия решений информация немедленно становится доступной для всех.

ArcGIS как инфраструктура для создания карт и географической информации, доступной в отделе, на предприятии, между организациями и сообществами пользователей, а также в сети Интернет для широкого доступа. Например, рабочие, использующие мобильные устройства, могут обновлять измерения в режиме реального времени на площадке, в то же время специалисты выполняют анализ данной информации с использованием настольных компьютеров, а планировщики выполняют оценку результатов анализа с использованием веб-приложений. Наконец, карты и данные, полученные в результате выполнения проекта, могут быть опубликованы в сети Интернет; при этом любое заинтересованное лицо может получить к ним доступ через веб-браузер и приложения для смартфонов и планшетов. Это позволяет людям не только просматривать результаты проекта, но и комбинировать данные с другими доступными данными для создания дополнительных карт, обеспечивающих использование вашей географической информации новым образом.

В тысячах организаций различных отраслей деятельности люди используют ArcGIS в большом диапазоне приложений, включая планирование, анализ, управление имуществом, ознакомление с операциями, работа на площадке, например, мобильный осмотр и применение мер, исследование рынка, логистика, образование и пропаганда. Обычно люди используют ArcGIS потому, что она помогает им:

- Решать проблемы
  - Принимать лучшие решения
  - Выполнять успешное планирование
  - Лучше использовать ресурсы
  - Предвидеть и управлять изменениями
  - Управлять и более эффективно использовать операции
  - Продвигать сотрудничество между командами, дисциплинами и институтами
  - Улучшать понимание и знания
  - Более эффективно обмениваться информацией
  - Получать образование и мотивировать других
- Что позволяет ArcGIS?

ArcGIS позволяет выполнять следующее:

- Создавать, обмениваться и использовать интеллектуальные карты
- Компиляция географической информации
- Создавать и управлять базами географических данных
- Решение задач при помощи пространственного анализа
- Создание приложений на основании карт
- Связь и обмен информацией с использованием силы географии и визуализации

ArcGIS позволяет создавать большое количество карт (рис.10.3.1), включая карты, доступные в веб-браузерах и на мобильных устройствах, крупноформатные печатные карты,

карты в отчетах и презентациях, атласы, сборники, карты, используемые в приложениях и т.д. Вне зависимости от способа издания, карта ArcGIS является интерактивной картой, которая отображает, объединяет и синтезирует значительные слои географической и описательной информации из различных источников.

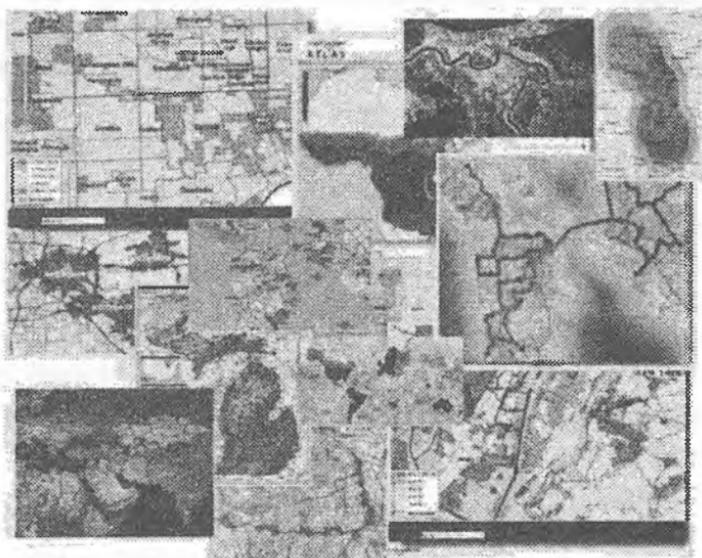


Рис.10.12

Карты, подготовленные при помощи ArcGIS, отображают информацию и используют её в работе для поддержки запросов, анализа, планирования и управления. Это ключевой момент в ArcGIS: карты являются и конечным продуктом работы ГИС, и инструментом такой работы. Карты ArcGIS представляют собой интерактивное окно, при помощи которого люди могут визуализировать, изучать, анализировать и обновлять географическую информацию. При помощи ArcGIS вы создаёте карты не только для отображения информации, но и для поиска и понимания тенденций и взаимоотношений, выполнения анализа и моделирования

для решения специальных проблем, визуализации и отслеживания статуса, обеспечения ввода и компиляции данных, а также обмена идеями, планами и разработками.

Карта ArcGIS начинается с хорошей базовой карты. ArcGIS содержит великолепный набор встроенных базовых карт, включающих в себя карты топографии, изображений, улиц, карты рельефа, океанов и многое другое. Доступны другие специализированные базовые карты, например, гидрология, землепользование и геология. Вы также можете создавать свои собственные базовые карты. Например, городская администрация может создать стандартизованную базовую карту, на которой будут отмечены земельные участки и инфраструктура. После выбора базовой карты вы можете добавлять богатые слои рабочих данных, выбирать символы, наносить надписи и определять масштабы карты, а также настраивать всплывающие окна, которые представляют ключевые атрибуты объектов карт. Вы можете настраивать дополнительные инструменты, основанные на целевом назначении карты, например, инструменты редактирования, доступ к аналитическим моделям, ползунки времени и т.д. Шаблоны карты упрощают создание и производство карты. После того, как вы создали карту ГИС, любой пользователь, с которым вы обмениваетесь ею, может получить доступ и использовать карту в работе.

ArcGIS содержит огромное количество новых инструментов для создания 3D-визуализаций, включая фото реалистичные прорисовки городов. Такие 3D-карты сочетают в себе надёжные данные из базы географических данных, включая возможность запроса данных в формате 3D, со всем богатством и простотой 3D-визуализации. Красивые анимированные ролики могут быть созданы с использованием функции облета данных, например, результатов вашего анализа, или обеспечения возможности визуализации изменений с течением времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал «Геодезия и картография» № 4, 2010
2. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъёмки для картографирования. - <http://www.racurs.ru/?page=681>.
3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.
4. Использование современных и перспективных отечественных материалов космической съёмки для обновления государственных топографических карт и планов // Тезисы докладов Четвёртой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М., 2016. – С. 156 – 158. 2
5. Кацарский И.С. «О цифровой фотограмметрии и перспективах её применения» - журнал Геопрофи, №6, 2006.
6. Kovalyov N.V., Muxitdinov D.K., Shukina O.G., Xamidova M. «Fotogrammetriya va yerni masofadan tadqiq etish» учебное пособие для вузов, Ташкент, 2015
7. Краснопевцев Б.В., Курков В.М.,- МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ, по курсу Фотограмметрия, МИИГАиК.2012
8. Лобанов А.Н. Фотограмметрия: Учебник для вузов. – М.:Недра, 1988г.
9. Лобанов А.Н., Журкин И.Г. Автоматизация фотограмметрических процессов. – М.: Недра, 1980. – 240 с.
10. Лурье И.К., Косиков А.Г. Дистанционное зондирование Земли и географические - информационные системы. Теория и практика цифровой обработки изображений. М, 2003.
11. Порядок создания и контроля цифровой картографической продукции открытого пользования. – М.: ЦНИИГАиК, 2000. – 29 с.

12. Присяжнюк С.П., Полетаев А.М., Трубецкой А.И., Применение беспилотных летательных аппаратов в дистанционном зондировании земли, научно-технический журнал «Информация и космос» №2. 2007.-51с.

13. Программное обеспечение –КБ «Панорама», журнал Геопрофи , № 1,2021

14. Сечин А.Ю. Тенденции развития ЦФС , «Ракурс», Россия. 2013

15. Севастьянова М.Н., Серебряков С.А. Методическое пособие по курсу «Техника и технология аэрокосмической съёмки» М.: Изд. МИИГАиК, 201. 58 с.

16. Система PHOTOMOD 4.3. Программа Montage Desktop. Руководство пользователя. – М.: Ракурс, 2005. – 164 с.

17. Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия: учебник для вузов- М.; Недра, 1989

18. Хлебникова Т. А., Колосков С. Ч. Технологии и опыт создания цифровых топографических карт, планов, ортофотопланов по материалам аэрофотосъёмки //Геодезия и картография. – 2003. – № 1. – С. 36–39.

19. Хрущ Р.М Фотограмметрия. — СПб: ВКА, 2011. — С. 541.

20. Цифровые аэрофотоаппараты UltraCam - электронный ресурс

#### **Интернет ресурсы**

21. <https://leica-geosystems.com>

22. [http:// lib.secuteck.ru](http://lib.secuteck.ru)

23. <http://www.gisa.ru/32513.html>

24. <https://resources.arcgis.com/>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	4
<b>ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ О ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ.....</b>	<b>6</b>
1.1 Фотограмметрия и ее области применения.....	6
1.2 Основные события в цифровой фотограмметрии..	8
1.3 Понятие о цифровом изображении.....	14
1.4 Стереопара и стереоскопическая модель.....	21
1.5 Наблюдения цифровых изображений.....	24
1.6 Преимущество цифровой фотограмметрии.....	27
<b>ГЛАВА 2. СИСТЕМА КООРДИНАТ И ЭЛЕМЕНТЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ СНИМКА.....</b>	<b>30</b>
2.1 Элементы внутреннего ориентирования снимка.....	30
2.2 Особенности измерения координат на цифровом снимке.....	31
2.3 Элементы внешнего ориентирования снимка.....	34
2.3.1. Элементы внешнего ориентирования пары снимков.....	36
2.4 Элементы взаимного ориентирования снимка.....	39
<b>ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫХ КАМЕР.....</b>	<b>40</b>
3.1. Понятие о цифровой аэрофототопографической камере.....	40
3.2 Классификация цифровых камер.....	41
3.2.1 Метрические аэрофотоаппараты.....	41
3.2.2 Неметрические цифровые фотоаппараты.....	44
3.2.3 Классификация цифровых аэрофотоаппаратов по размеру результирующего кадра.....	47
3.3. Понятие о матрице цифрового аэрофотоаппарата..	48
3.4. Цифровая аэрофототопографическая	53

камера UltraCAM.....	
3.5 Цифровая аэрофототопографическая камера DMS III (Gtosystems AG) .....	60
3.6 Преимущества цифровых аэрокамер.....	66
<b>ГЛАВА 4. ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЁМКИ.....</b>	<b>69</b>
4.1 История развития цифровой аэрофотосъёмки. ....	69
4.2 Самолет АН-30 для аэрофотосъёмки.....	70
4.3 Беспилотные летательные аппараты.....	71
4.3.1 Классификация беспилотных летательных аппаратов. ....	76
<b>ГЛАВА 5. АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ СЪЁМКА.....</b>	<b>92</b>
5.1 Понятие о космической фотосъёмке.....	92
5.2 Виды космических съёмок.....	96
5.3 Использование космических снимков в картографии. ....	104
5.4 Космические методы контроля за окружающей средой.....	109
<b>ГЛАВА 6. ЦИФРОВЫЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ (ЦФС) .....</b>	<b>113</b>
6.1 Понятие о ЦФС.....	113
6.2 Цифровая фотограмметрическая станция ERDAS IMAGINE.....	118
6.3 Цифровая фотограмметрическая станция Photomod.....	122
<b>ГЛАВА 7. ЦИФРОВОЕ ОРТОТРАНСФОРМИРОВАНИЕ.....</b>	<b>140</b>
7.1 Понятие о цифровом ортофотоплане.....	140
7.2 Цифровые модели рельефа.....	143
7.3 Цифровое ортотрансформирование снимков.....	149
7.4 Технологическая схема создания ортофотоплана с использованием ЦФС Photomod.....	152

<b>ГЛАВА 8. ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ НА ЦФС</b>	
<b>Photomod</b> .....	157
8.1 Понятие о цифровой карте.....	157
8.2 Создание цифровой карты с использованием ЦФС Photomod.....	162
8.3 Современность и актуальность цифровых методов создания карт и планов.....	167
<b>ГЛАВА 9. ТЕХНОЛОГИЯ ОБНОВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ</b> .....	170
9.1. Понятие о процессе обновления устаревшей картографической основы.....	170
9.2 Способы обновления картографической основы.....	175
9.2.1 Обновление по цифровым ортофотопланам.....	176
9.2.2 Обновление цифровых карт по космоснимкам.....	177
<b>ГЛАВА 10. СОВРЕМЕННЫЕ ГИС ТЕХНОЛОГИИ В ФОТОГРАММЕТРИИ</b> .....	182
10.1 ГИС Карта Рапогата, её создатели.....	182
10.2 Возможности программного комплекса ГИС Карта Рапогата.....	184
10.3 Возможности программного комплекса ARCGIS...	199
Список литературы.....	205



**ЩУКИНА О.Г.**

**ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ  
И ДИСТАНЦИОННОЕ  
ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ**

5311500-Геодезия, картография и кадастр (по отраслям)

Редактор — Д. Усманова

Технический редактор — Д. Усманова

Компьютерная верстка — Д. Усманова

Издательская лицензия

№ 3991

Подписано в печать 25.12.2021 года. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Печать офсетная. Условно-печатных листов 13,5.

Тираж 300.

Издательство «Shafoat Nur Fayz»

г. Ташкент, ул. Махорат, 71





ISBN 978-9943-7604-3-1

