

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. П.А. СТОЛЫПИНА»  
(ФГБОУ ВО Омский ГАУ)

---

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ  
ПРАКТИКУМ

Рекомендовано ученым советом  
в качестве учебного пособия

Омск  
Издательство ФГБОУ ВО Омский ГАУ  
2015

УДК 528.8(075)

ББК 26.12 я 7

*Авторы:* Л.В.Быков, О.Н. Пушак, И.С. Дермелев

*Рецензенты:*

заместитель главного инженера по инновационным технологиям  
Закрытого акционерного общества «Научно-производственная фирма «ГЕО» М.О. Громов

профессор кафедры геодезии ФГБОУ ВПО СибАДИ,  
канд.тех.наук Р.В.Зотов

Аэрокосмические съемки / Л.В. Быков [и др.] ; под ред. канд. тех. наук Л.А. Пронина. – Омск: Издательство ФГОУ ВО Омский ГАУ, 2015. – 82 с.

Практикум разработан для обеспечения учебного процесса по дисциплине "Аэрокосмические съемки". Представлены материалы, необходимые для формирования навыков и умений при работе с аэрофотоснимками, начиная с оценки качества материалов аэрофотосъемки, проектирования аэрофотосъемочных работ и знакомством с материалами космических съемок.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся по специальности 21.05.01- Прикладная геодезия и направлению подготовки 21.03.03 - Геодезия и дистанционное зондирование

УДК 528.8(075)

ББК 26.12 я 7

© ФГБОУ ВО Омский ГАУ , 2015

© Оформление. Издательство

ФГБОУ ВО Омский ГАУ , 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Введение.....	7
Тема 1. Знакомство с аэрофотоснимками. Оценка качества аэросъемочных работ .....	8
Тема 2. Проектирование цифровой аэрофотосъемки.....	14
Тема 3. Радиометрическая и геометрическая коррекция космических снимков.....	25
Тема 4. Изучение свойств космических снимков сверхвысокого разрешения.....	30
Заключение.....	74
Приложение 1 .....	75
Приложение 2 .....	77
Приложение 3.....	78
Приложение 4 .....	80
Приложение 5.....	81
Приложение 6.....	82
Приложение 7.....	83
Библиографический список.....	84

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предметом изучения дисциплины «Аэрокосмические съемки» являются геометрические и физические свойства снимков, способы их получения и использования для определения количественных и качественных характеристик сфотографированных объектов, а также приборы и программные средства, применяемые в процессе их получения и обработки.

Аэрокосмические съемки широко применяются при картографировании территорий, при инженерных изысканиях.

Основными достоинствами материалов аэрокосмических съемок являются:

- высокая точность результатов, так как снимки объектов получают прецизионными фотокамерами, а их обработку выполняют, как правило, строгими методами;

- высокая производительность, достигаемая благодаря тому, что измеряют не сами объекты, а их изображения. Это позволяет обеспечить автоматизацию процесса измерений и последующих вычислений;

- объективность и достоверность информации, возможность при необходимости повторения измерений;

- возможность получения в короткий срок информации о состоянии, как всего объекта, так и отдельных его частей;

- безопасность ведения работ, так как съемка объекта выполняется неконтактным (дистанционным) методом. Это имеет особое значение, когда объект недоступен или пребывание в его зоне опасно для здоровья человека.

- возможность изучения движущихся объектов и быстро протекающих процессов.

При создании планов и карт по фотоснимкам используются достижения фотограмметрии и геодезии.

Цель разработки данного практикума – подготовка студентов к эффективному использованию современных программных продуктов для решения задач по профилю будущей специальности.

Пособие подготовлено в связи с производственной необходимостью для обеспечения учебного процесса студентов, обучающихся по специальности 21.05.01 - Прикладная геодезия и направлению подготовки 21.03.03 - Геодезия и дистанционное зондирование.

Практикум предназначен для работы студентов при подготовке и проведении лабораторных занятий.

Пособие включает следующие структурные элементы: введение, темы лабораторных занятий, заключение, приложения, список используемой литературы.

В практикуме приведены все сведения, необходимые для самостоятельного выполнения лабораторных работ. Задания подобраны так, что образуют замкнутую систему, и требуют дополнительно лишь соответствующего программного обеспечения.

При использовании практикума предлагается придерживаться следующих методических рекомендаций:

- вначале занятия студенты внимательно изучают тему, предлагаемую преподавателем, а именно теоретический материал;

- перед выполнением работы им следует ознакомиться с практическими пояснениями к занятию;

- последовательно выполняют все пункты заданий в соответствии с указаниями;

- качество полученных на занятии студентами знаний определяют с помощью контрольных вопросов, приведенных после каждой пройденной темы.

Авторы учебного пособия будут признательны пользователям и читателям за отзывы и предложения. Адрес для обратной связи: 644008 г. Омск, ул. Сibaковская, 4, ФГОУ ВО Омский ГАУ, кафедра геодезии и дистанционного зондирования.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Аэрокосмические съемки» изучается на 2, 3, 4 курсах в 4,5,6 и 7 семестрах по специальности 21.05.01- Прикладная геодезия. По учебному плану на изучение данной дисциплины выделяется 540 часов из них 200 часов аудиторных занятий и 340 на внеаудиторную академическую работу студентов.

Изучение дисциплины базируется на знаниях студентов, полученных по дисциплинам «Информатика», и строится с учетом дисциплин «Геодезия», "Инженерная графика".

Разработчиками пособия являются преподаватели кафедры геодезии и дистанционного зондирования: к.т.н., доцент Леонид Васильевич Быков, старший преподаватель Оксана Николаевна Пушак, ассистент Иван Сергеевич Дермелев. Издание является частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Аэрокосмические съемки».

## ТЕМА 1. ЗНАКОМСТВО С АЭРОФОТОСНИМКАМИ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

*Цель занятия - изучение методики оценки качества аэрофотосъемочных работ.*

*Задачи работы:*

- изучить устройство аэрофотоаппарата;
- изучить особенности аэрофотоснимков;
- выполнить оценку фотографического качества материалов аэрофотосъемки;
- осуществить оценку фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки.

*Содержание занятия.* Изучить главу 1 учебника [1]. Ознакомиться с ГОСТР 59328-2021 «Аэросъемка топографическая. Технические требования» [2]. Изучить разделы: «Термины и определения», «Общие положения», «Требования к аэрофотосъемочной системе», «Требования к фотографическому качеству материалов аэрофотосъемки», «Требования к фотограмметрическому качеству материалов аэрофотосъемки», «Приложение Б», «Приложение В». Вычертить схему устройства аналогового аэрофотоаппарата, обозначить основные части, выписать их название и назначение. Ознакомиться с различными характеристиками аэро и космических снимков, выписать характеристики согласно заданию. Ознакомиться с цифровой фотограмметрической станцией «Фотомод». Создать проект, загрузить аэрофотоснимки, произвести оценку фотографического и фотограмметрического качества аэрофотоснимков.

### *Теоретические пояснения к занятию*

При топографической аэрофотосъемке должны быть выполнены требования, соблюдение которых обеспечивает последующую фотограмметрическую обработку аэрофотоснимков. Контроль за соблюдением этих требований производится как в процессе аэрофотосъемки, так и по ее завершению, при оценке качества полученных материалов.

Высота фотографирования - это расстояние, измеряемое по отвесной линии от узловой точки объектива установленного на самолете аэрофотоаппарата до некоторой поверхности. В зависимости от выбора этой поверхности различают (рис.1.1):

абсолютную высоту фотографирования  $H_0$  над уровнем моря (плоскость А), относительную высоту фотографирования  $H_a$  над аэродромом (Б), высоту фотографирования  $H$  над средней плоскостью съемочного участка (С), истинную высоту фотографирования  $H_i$  над какой-либо точкой местности (D).

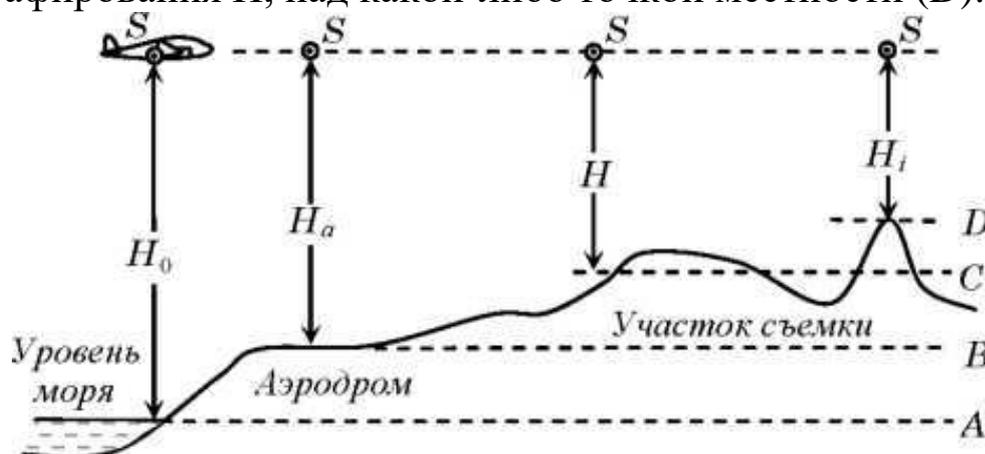


Рис. 1.1. Высота фотографирования

Высота фотографирования над средней плоскостью съемочного участка определяется в период предполетной подготовки в зависимости от параметров аэрофотосъемки ( $f$ ,  $m$ ) и масштаба плана ( $M$ ):

$$H = f \cdot m = K_t \cdot M \cdot f \quad (1.1)$$

где  $K_t$  коэффициент увеличения снимка.

При аэрофотосъемке равнинных районов реальная высота фотографирования может отличаться от расчетной не более чем на 3 % .

Перекрытия аэроснимков, выражаемые в процентах от размера аэронегатива, обеспечивают возможность фотограмметрической обработки аэроснимков, и требование их соответствия расчетным значениям является одним из основных.

Продольное перекрытие  $P_x$  должно быть в среднем 60% при минимальном перекрытии 56%, что обеспечивает наличие 12 процентной зоны тройного продольного перекрытия. В некоторых случаях (например, при съемке населенных пунктов с многоэтажной застройкой) продольное перекрытие может устанавливаться равным 80-90 % ( $\pm 5$  %). Это позволяет обрабатывать маршруты, в которых снимки взяты через один (при  $P_x = 80$  %) или через два (при  $P_x = 90$  %).

Зона продольного перекрытия определяет границы стереопары, в пределах которой выполняется фотограмметрическая обработка изображений. Зону тройного продольного перекрытия используют

для связи смежных стереопар по общим точкам и передачи системы координат и масштаба фотограмметрических построений от одной модели к другой.

Поперечное перекрытие  $P_y$  должно быть не менее 20% при среднем 30-35% и используется для размещения в нем опорных точек и точек связи смежных маршрутов. Иногда оно устанавливается равным 60%, что позволяет повысить точность фотограмметрических построений, сократить объем полевых работ, а при необходимости - формировать и обрабатывать маршруты через один.

Наличие продольного и поперечного перекрытий обуславливает целесообразность практического использования не всей площади аэроснимка, а только его центральной части. К тому же величины искажения положения точек под влиянием факторов физического и геометрического характера в центральной части снимка заметно меньше, чем по краям. Эта часть аэроснимка, ограниченная средними линиями продольного и поперечного перекрытий, называется рабочей площадью. В ее границах выполняется дешифрирование снимка и любые измерительные действия; из этих площадей создаются фотопланы, ортофотопланы и т. п.

Прямолинейность маршрутов характеризуется отношением стрелки прогиба  $I$  (максимального удаления центра какого-либо снимка маршрута от линии, соединяющей первый и последний снимки) к длине маршрута  $L$ . Прямолинейность подсчитывается в процентах, а ее величина не должна превышать двух - трех процентов.

Непараллельность стороны аэроснимка (базиса фотографирования) направлению полета затрудняет фотограмметрическую обработку снимков и не должна превышать  $5-10^\circ$  (в зависимости от фокусного расстояния съёмочной камеры и высоты фотографирования).

Угол наклона аэроснимков оказывают влияние на фотограмметрические работы только при использовании приборов аналогового типа. Тем не менее, действующие нормативные документы, регламентирующие аэрофотосъёмочные работы, устанавливают критерии ее оценки и по величине угла наклона, которая не должна превышать  $1^\circ$  при аэрофотосъемке с использованием средств стабилизации аэрофотоаппарата и  $3^\circ$  без них. Причем число снимков с максимальным углом наклона не

должно превышать 10 % от их общего числа.

Ряд требований регламентирует метеорологические условия съемки, определяющие фотографическое качество снимков.

Так, аэрофотосъемка должна выполняться при безоблачном небе, поскольку на снимках недопустимо изображение ни самих облаков, ни отбрасываемой ими тени. Отрицательное влияние на фотографическое качество оказывает также туман, дымка, избыточная влажность воздуха и пр. Все это меняет отражательную способность аэроландшафта, делает границы между объектами плохо различимыми. Нежелательно выполнять аэрофотосъемку ранней весной, поздней осенью, после распускания деревьями листвы, и совершенно недопустимо зимой, при наличии снежного покрова. Считается, что аэрофотосъемочный сезон начинается через две недели после весеннего снеготаяния и завершается с наступлением периода систематических осенних дождей.

Аэрофотосъемка выполняется, как правило, при высоте Солнца над горизонтом не менее 20-25°, с обязательным использованием светофильтров.

### *Практические пояснения к занятию*

#### **Задание 1. Знакомство с аэрофотоснимками. Оценка качества аэрофотосъемочных работ**

Исходные данные:

1. Программный комплекс «Цифровая фотограмметрическая станция Photomod».
2. Аэрофотоснимки, 2 маршрута по 8 снимков

#### **Выполнить:**

1. Изучить устройство аэрофотоаппарата (АФА). Начертить схему АФА (рис 1.2). Выписать название и назначение основных частей АФА.

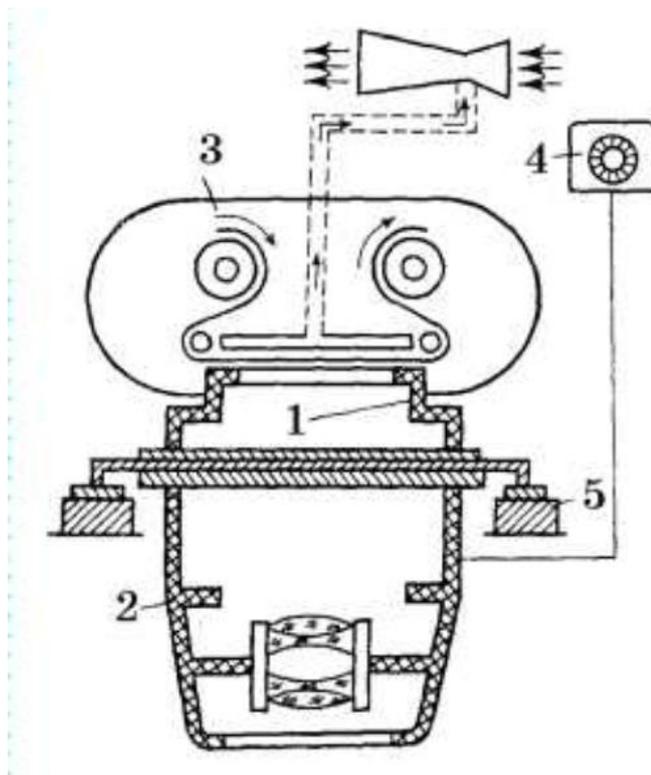


Рис. 1.2. Схема аэрофотоаппарата

2. Ознакомьтесь с различными характеристиками аэро и космических снимков. Обратите внимание на следующие характеристики:

- Форматы аналоговых и цифровых аэроснимков
- Различия между контактными и увеличенными снимками
- Тono- и цветопередачу на черно-белых, цветных, спектрональных снимках, отдельных каналов мультиспектральной съемки.
- Различия между цифровыми и аналоговыми снимками.
- Ознакомьтесь с информацией, расположенной в пределах кадра. Обратите внимание на изображение координатных меток, часов, уровня, счетчика кадров, шифра и даты съемки.
- Составить краткий реферат по перечисленным характеристикам снимков

3. Оценка фотографического качества снимков

- Изучить основные положения по аэрофотосъемке и ГОСТР 59328— 2021 АЭРОФОТОСЪЕМКА

ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ Технические требования [1, 2].  
 Выполнить визуальную оценку фотографического качества комплекта аэрофотоснимков. Обратит внимание на следующие показатели:

- ✓ Плотность, контрастность, резкость изображения.
  - ✓ Дефекты аэроснимков (заломы, царапины, пятна, полосы)
  - ✓ Наличие изображений облаков, производственных дымов, теней от облаков и высоких объектов, мешающих выполнению фотограмметрических и дешифровочных работ.
- По результатам оценки заполнить таблицу 1, отмечая наличие или отсутствие соответствующих показателей.

Таблица 1. Оценка фотографического качества аэрофотоснимков.

Снимки	Плотность, контрастность, резкость	Дефекты аэроснимков (заломы, царапины, пятна, полосы)	Наличие изображений облаков, производственных дымов, теней от облаков и высоких объектов
664			
665			
666			
667			
668			
669			
670			

#### 4. Оценка фотограмметрического качества аэрофотосъемки

- Создать проект в ЦФС Photomod.
  - ✓ Запустить программу PHOTOMOD 5 Lite.
  - ✓ В окне «Управление проектами» создать новый проект, нажав кнопку «Создать». В окне «Новый проект» :
    - ввести «Имя проекта»,

- «Описание проекта» (произвольная информация, позволяющая узнать свой проект),
  - «Тип проекта» (в данном случае Центральная проекция),
  - Выбрать систему координат («Выбрать» «Из БД» «Российская» «Местная правая»),
  - В разделе «Размещение» указать папку размещения проекта
  - Нажать «ОК»
- ✓ В окне «Новый маршрут» указать имя нового маршрута
- Добавить снимки в маршрут.
    - ✓ Вызвать «Редактор блока» («Окна», «Редактор блока»), нажать кнопку «Добавить изображения из файлов». На «Вопрос» «Создать папку Images для хранения растров в папке проекта» отметить «Да».
    - ✓ В окне «Добавление изображений» открыть папку со снимками, выбрать все снимки и добавить их в проект, нажав кнопку «Преобразовать»
  - Разобрать снимки по маршрутам, по ориентации и по порядку следования в маршрутах.
    - ✓ Для этого в окне «Редактор блока» нажать кнопку «Окно накладного монтажа блока», установить «Режим» «Без монтажа» и нажать кнопку «Применить».
    - ✓ Просмотреть снимки и определить по изображению, какие снимки относятся к 1 и 2 маршрутам.
    - ✓ В окне «Редактор блока» нажать кнопку «Добавить маршрут».
    - ✓ В окне «Редактор блока» выделить снимки 2 маршрута и переместить их во второй маршрут, нажав кнопку «Переместить выбранные изображения вниз».

- ✓ Просмотреть снимки каждого маршрута и определить угол разворота снимков в маршруте. Выделить снимки маршрута, нажать кнопку «Повернуть выделенные изображения». В окне «Поворот выбранных изображений указать угол поворота (90° для поворота по часовой стрелке, 270° для поворота против часовой стрелки). Аналогично повернуть снимки второго маршрута.
- ✓ Проверить порядок следования снимков в маршрутах. Каждый последующий снимок маршрута должен частично накладываться на предыдущий снимок со сдвигом вправо. Для изменения порядка снимков в маршруте необходимо выделить маршрут в окне «Редактора блока» и нажать кнопку «Изменить порядок изображений в маршруте». Проверить правильность внесенных изменений.
- Построить накидной монтаж.
  - ✓ В окне «Редактора блока» нажать кнопку «Окно накидного монтажа блока», нажать кнопки: «Редактирование», «Применить», «Заккрыть».
  - ✓ Установить оптимальный масштаб изображения снимков. Выбрать в зонах перекрытия снимков по две общие точки и отметить их попарно, установив курсор левой кнопкой мыши и отметив правой кнопкой мыши или клавишей “Insert”. На экране должны появиться линии, соединяющие соответственные точки снимков.
  - ✓ Построение линий продолжить до конца блока.
  - ✓ По окончании выбора общих точек в окне «Редактора блока» нажать кнопку «Окно накидного монтажа блока», установить «Режим»: «По связующим», нажать кнопки «Применить», «Заккрыть».

- ✓ На экране построится накладной монтаж снимков.
- Определить продольные и поперечные перекрытия снимков
  - ✓ Продольные перекрытия  $P_x$  определить для всех пар аэроснимков двух маршрутов, поперечное перекрытие  $P_y$  определить по межмаршрутным перекрытиям в начале и в конце маршрутов.
  - ✓ Для определения перекрытий создать слой векторов, обратившись к пункту главного меню «Векторы» «Создать слой», а также вызвать окно измерений из пункта главного меню «Окна» «Окно измерений».
  - ✓ Измерить размер стороны кадра одного снимка. Для этого навести курсор на один угол кадра, отметив точку правой кнопкой мыши, а затем навести курсор на второй угол кадра. В окне измерений считать длину стороны кадра в условных единицах. Нажать клавишу «Escape».
  - ✓ Измерить длину перекрывающейся части каждой пары снимков маршрута, наводя курсор на начало и конец продольного перекрытия. Считать длину отрезка в окне «Измерения».
  - ✓ Вычислить перекрытие снимков в процентах. Для этого длину перекрывающейся части разделить на длину кадра снимка и умножить на 100%. Измерения выполнить для всех пар снимков обоих маршрутов. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2. Оценка продольных и поперечных перекрытий.

Маршрут 1		Маршрут 2		P <sub>y</sub> %	Заключения
снимки	P <sub>x</sub> %	снимки	P <sub>x</sub> %		
664	65	680	64	32	Допуски:
665	64	679	65		P <sub>x</sub> >56%
...		...			P <sub>y</sub> >20%
671	66	673	63	48	Перекрытия в

- ✓ Определить продольные перекрытия для всех пар снимков обоих маршрутов. Поперечные перекрытия вычислить для пар снимков, расположенных в начале и в конце перекрывающихся маршрутов.
- Оценить прямолинейность маршрутов
  - ✓ Для выполнения задания необходимо на каждом снимке нанести начало координат, которое находится на пересечении линий, соединяющих противоположные координатные метки. Для этого необходимо:
    - Создать слой для сохранения линий, построенных на накидном монтаже. Обратиться к пункту главного меню «Векторы» «Создать слой». В правой части экрана в списке слоев появится новый редактируемый слой Векторы.
    - В окне «Редактор блока» выделить крайний правый снимок верхнего маршрута и нажать кнопку «Показывать растры только для выделенных изображений». На экране останется только выделенный снимок.
    - Найти в углах снимка накрест лежащие метки, навести курсор на одну из них левой кнопкой мыши, и отметить метку правой кнопкой мыши. Перевести курсор на противоположную метку, отметить ее и нажать клавишу «Enter». В процессе построения программа может переключиться на другой снимок. В этом случае необходимо вновь выделить выбранный снимок. Аналогичные построения выполнить по второй паре координатных

меток. В пересечении построенных линий находится начало координат на снимке.

- Построение начала координат необходимо выполнить на всех снимках.
- Сохранить результаты построения. Установить курсор на слой «Векторы» в списке слоев, нажать правую кнопку мыши, выбрать в выпадающем меню пункт «Сохранить», «ОК»
- ✓ Построить оси маршрутов. Навести курсор на начало координат первого снимка маршрута и отметить его правой кнопкой мыши, а затем отметить начало координат последнего снимка маршрута. Аналогично построить ось второго маршрута. Сохранить векторы.
- ✓ Оценить отклонения точки начала координат снимков от оси маршрута, найти наибольшее отклонение. Измерить отклонение этой точки от оси маршрута. Для этого вызвать окно измерений: пункт главного меню «Окна», «Окно измерений». Навести курсор на точку левой кнопкой мыши и отметить правой кнопкой. Опустить из точки перпендикуляр на ось маршрута и в окне измерений считать расстояние. Этот отрезок называется стрела прогиба маршрута. Нажать клавишу Esc.
- ✓ Аналогично измерить длину маршрута. Вычислить отклонение от прямолинейности маршрута как отношение стрелы прогиба к длине маршрута, выраженное в процентах.

$$n\% = \frac{l}{L} 100\%$$

- ✓ Где  $l$  - стрела прогиба,  $L$  - длина маршрут. Результаты оформить в виде табл. 2.

Таблица 2. Оценка прямолинейности маршрута

№ маршрута	Длина маршрута	Стрела прогиба	n%	Заключение
1	35762	368	1.0	Допуск $n \leq 2\%$
2	35804	438	1.2	Отклонения от прямолинейности в допуске

- Оценить разворот снимков. Необходимо измерить угол между направлением оси маршрута и стороной снимка. Для этого вызвать окно измерений. Вблизи начальной точки маршрута выбрать пересечение со стороной ближайшего снимка установить курсор в точку пересечения и отметить точку правой кнопкой мыши. Установить курсор на конечную точку маршрута, не отмечая ее. В «Окне измерений» считать направление на точку, записать отчет. Установить курсор на край стороны снимка, в пересечении которой с осью маршрута выбрана первая точка. Считать направление стороны снимка. Вычислить угол между измеренными направлениями, полагая, что увеличение отсчета происходит против часовой стрелки относительно восточного направления оси маршрута. Вычислить отклонение полученного угла от  $90^\circ$ . Аналогичные измерения выполнить на втором маршруте. Результаты вычислений записать в табл. 3.

Таблица 3. Оценка разворота снимков

№ маршрут а	(Н) (К) маршрут а	Отсчет 1	Отсче т 2	Угол	Разворо т	Заключени е
1	Н	0°44'	92°45'	92°01'	2°01'	Допуск $\varphi \leq 7^\circ$ Значения углов разворота снимков в
	К	180°46'	92°45'	88°01'	1°59'	
2	Н	0°48'	92°55'	92°07'	2°07'	

	К	182°54 ,	91°45'	91°09 ,	1°09'	допуске
--	---	-------------	--------	------------	-------	---------

### *Контрольные вопросы*

1. Классификации видов аэрофотосъемки
2. К каким видам съемки относятся материалы, предоставленные Вам для работы
3. Назовите основные параметры аэрофотосъемки
4. Назовите основные части аэрофотоаппарата и их назначение
5. Перечислите требования, предъявляемые к составу аэросъемочной системы
6. Перечислите требования, предъявляемые к аэрофотоаппарату
7. Перечислите элементы изображения, размещаемые в пределах кадра аэрофотоаппарата
8. Перечислите требования к выполнению АФС
9. Назовите порядок составления накладного монтажа
10. Перечислите требования к фотографическому качеству аэрофотоснимков
11. Перечислите требования к фотограмметрическому качеству аэрофотоснимков
12. Расскажите о порядке определения величин перекрытия снимков
13. Расскажите о порядке определения отклонения маршрута от прямолинейности
14. Расскажите о порядке определения величин разворота снимков

## **ТЕМА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

*Цель занятия - изучение методики проектирования цифровой аэрофотосъемки.*

*Задачи работы:*

- рассчитать параметры аэрофотосъемки;
- создать проект аэрофотосъемки;

- выполнить виртуальную аэрофотосъемку;
- рассчитать стоимость аэросъемочных работ.

*Содержание занятия.* Повторить главу 1 учебника [1]. Ознакомиться с ГОСТР 59328-2021 «Аэросъемка топографическая. Технические требования» [2]. Изучить разделы: «Требования к проектированию аэрофотосъемки и ее параметрам», «Требования к подготовке и выполнению аэрофотосъемки», «Выполнение АФС, послеполетная и первичная обработка материалов аэрофотосъемки». Рассчитать и оптимизировать параметры АФС. Создать проект АФС в ГИС MapInfo, экспортировать проект в программу «Навигатор», выполнить виртуальную АФС в программе «Навигатор», рассчитать стоимость аэросъемочных работ на объекте.

### *Теоретические пояснения к занятию*

Количественные и качественные характеристики объектов получают с помощью трехмерных или двухмерных фотограмметрических моделей. Очевидно, что качество полученных результатов (точность и подробность информации) будет зависеть от масштаба и качества моделей, которое в первую очередь зависит от качества аэрофотосъемочных или космических снимков и параметров съемки. Основными показателями качества снимков являются: разрешающая способность, дисторсия объектива, деформация фотоматериала, невыравнивание пленки в плоскость; параметры съемки: высота фотографирования, фокусное расстояние съемочной камеры и перекрытия снимков.

Ориентация модели в пространстве также сказывается на точности определения координат конечной продукции. Следовательно, точность определения координат опорных точек должна обеспечивать точность продукции.

Определение качественных характеристик поверхностей объектов зависит от изобразительных свойств и масштаба снимков. Все эти факторы должны учитываться при проектировании процессов во взаимосвязи. Следует иметь в виду, что при выборе оптимальных значений приведенных факторов значительно возрастают затраты. Поэтому для повышения экономической эффективности следует ориентироваться на средства, материалы и приборы, требующие минимальных затрат.

## Практические пояснения к занятию

### Задание 2 Расчет параметров и проектирование цифровой аэрофотосъемки

1. Требуемое программное обеспечение:

- Internet;
- Microsoft Office Excel;
- SASPlanet (ver. 140303);
- Google Earth (желательно);
- Map Info (с утилитой AirRoute).

2. Расчет параметров цифровой аэрофотосъемки

Исходные данные:

- Масштаб картографирования ( $M$ );
- Высота сечения рельефа  $h_{сеч}$  (м);
- Фокусное расстояние объектива камеры  $f$  (мм);
- Размер пикселя матрицы ПЗС (мкм);
- Продольное и поперечное перекрытие (%);
- Размеры матрицы ПЗС  $l_x$   $l_y$  (мм);
- Размеры матрицы ПЗС  $L_x$   $L_y$  (в пикселях);
- Минимальный интервал фотографирования аэрофотоаппарата;
- Скорость полета летательного аппарата  $v$  (км/час).

Выполнить:

- Рассчитать допустимый размер пикселя на фотоплане ( $\Delta$ );
- Вычислить допустимый масштаб фотографирования ( $m$ );
- Рассчитать высоту фотографирования ( $H$ );
- Вычислить базисы фотографирования  $b_x$  и  $b_y$  (мм) на снимке;
- Вычислить базисы фотографирования  $B_x$  и  $B_y$  (м) на местности;
- Задать скорость полета и вычислить интервал фотографирования.

3. Порядок выполнения.

3.1. Исходные данные выбрать из таблицы в приложении А по списочному номеру в журнале преподавателя.

3.2. Расчет допустимого размера пикселя на фотоплане

Для обеспечения качественной печати цифрового фотоплана требуется, чтобы размер пикселя на местности не превышал следующего значения:

$$\Delta = 0.07 \text{ мм} \cdot M \quad (1)$$

где  $\Delta$  - допустимый размер пикселя на местности,  $M$  – знаменатель масштаба создаваемого фотоплана. Результат вычислений следует выразить в сантиметрах на местности.

### 3.3. Вычисление допустимого масштаба фотографирования

Предельное значение знаменателя масштаба фотографирования определяется отношением размера пикселя на местности к размеру пикселя на снимке.

$$m = \frac{\Delta}{\delta} \quad (2)$$

где  $\delta$  - размер пикселя на снимке.

### 3.4. Расчет высоты фотографирования

Высота фотографирования, отвечающая требованиям изготовления фотопланов, вычисляется по следующей формуле:

$$H = f \cdot m \quad (3)$$

где  $f$  - фокусное расстояние объектива фотоаппарата.

### 3.5. Вычисление базисов фотографирования на снимке и на местности.

Базис – это расстояние между центрами фотографирования пары снимков одного маршрута ( $b_x$ ), или пары снимков смежных маршрутов ( $b_y$ ). Вычисляются в зависимости от заданного продольного ( $P_x$ ) и поперечного ( $P_y$ ) перекрытия, а также от размеров матрицы ПЗС.

$$\left. \begin{aligned} b_x &= \frac{(100-P_x)}{100} \cdot l_x \\ b_y &= \frac{(100-P_y)}{100} \cdot l_y \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $l_x$  и  $l_y$  размеры матрицы ПЗС в миллиметрах.

Базис на местности выражается в метрах и вычисляется через масштаб АФС.

$$\left. \begin{aligned} B_x &= \frac{b_x \cdot m}{1000} \\ B_y &= \frac{b_y \cdot m}{1000} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

### 3.6. Вычисление интервала фотографирования.

В зависимости от типа летательного аппарата определить скорость полета (км/час) и рассчитать интервал фотографирования (сек).

$$t = 3.6 \cdot \frac{B_x}{v} \quad (6)$$

3.7. Рассчитать допустимую погрешность определения высот как 0.2 от высоты сечения рельефа.

3.8. Рассчитать ожидаемую погрешность определения высот точек.

$$m_h = \frac{H}{b} m_{\Delta p} \quad (7)$$

где,  $h$  - высота фотографирования (м),  $b$  - базис на снимке (мм),  $m_{\Delta p}$  - погрешность измерения разности продольных параллаксов, равная размеру пикселя на снимке (мм).

3.9. Расчеты выполнить в таблице Microsoft Office Excel.

Контрольный пример приведен в таблице 3.1. В желтые поля заносятся исходные данные.

Таблица 1. Пример расчета параметров фотографирования

Параметры съемки	Единицы измерения	Значения	Уточнение масштаба АФС по точности и высот
Знаменатель масштаба плана		2000	2000
Высота сечения рельефа	м	1	1
Продольное перекрытие снимков	%	65	65
Поперечное перекрытие снимков	%	30	30
Фокусное расстояние камеры	мм	28	28
Размер пикселя ПЗС матрицы камеры	мкм	5	5
Размер ПЗС матрицы по оси X	мм	24	24
Размер ПЗС матрицы по оси Y	мм	36	36
<b>Минимальный интервал фотографирования</b>	<b>сек</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Скорость полета летательного аппарата	км/час	130	130
Размер пикселя на местности	см	14	14

Масштаб АФС		28000	12000
Высота АФС	м	784	336
Базис на снимке по оси X	мм	8.4	8.4
Базис на снимке по оси Y	мм	25.2	25.2
Базис на местности по оси X	м	235.2	100.8
Базис на местности по оси Y	м	705.6	302.4
<b>Интервал фотографирования</b>	<b>сек</b>	<b>6.5</b>	<b>2.8</b>
Требуемая точность определения высот по снимкам	м	0.20	0.20
Ожидаемая ошибка определения высот по снимкам	м	0.47	0.20

3.10. Оптимизировать параметры АФС согласно требуемой точности определения высот. Для этого формулы из столбца «Значения» необходимо скопировать в столбец «Уточнение масштаба...». Если значение ожидаемой ошибки определения высот по снимкам  $m_h$  не соответствует требуемой точности определения высот, изменить формулу вычисления масштаба АФС в столбце «Уточнение масштаба...». Для этого значение масштаба АФС из столбца «Значения» необходимо умножить на отношение «Требуемой точности» к «Ожидаемой ошибке...».

3.11. При подборе значения масштаба АФС необходимо следить за изменением интервала фотографирования, чтобы это значение не оказалось меньше, чем минимальный интервал фотографирования в исходных данных. Если за счет изменения масштаба АФС не удастся получить необходимый интервал фотографирования, следует изменить **по возможности** фокусное расстояние объектива, летательный аппарат, или величины продольного и поперечного перекрытия, и вновь оптимизировать параметры АФС.

Оптимальные параметры АФС распечатать и вложить в отчет.

#### 4. Составление проекта АФС.

4.1. Установить на компьютере демонстрационную версию программы MapInfo версии не ниже 8.0.

4.2. Установить программу проектирования АФС в среде MapInfo, которая называется AirRoute.mbx. Для установки программы необходимо скопировать с сервера или с флэш-

карты файлы AirRoute.mbx и AirRouteIcons.dll в каталог c:\ProgramFiles\Mapinfo\Professional\Tools.

- 4.3. Запустить программу MapInfo, запустить программу AirRoute.mbx. Для этого в главном меню программы MapInfo выбрать пункт «Программы», «Запустить программу MapBasic», выбрать из списка программу AirRoute.mbx. На экране появится три панели инструментов: «Проект», «Операции с маршрутами», «Планирование облета».
- 4.4. Создать проект обработки. Для этого нажать кнопку «Создать проект» на панели «Проект», указать папку, в которой необходимо создать проект.
- 4.5. Открыть слой с космическим снимком в карте с проектом, нажав кнопку «Открыть» в кнопочном меню программы MapInfo. В диалоге «Открыть таблицу» установить параметр «Представление» в состояние «В активной карте», указать файл с таблицей снимка. Установить параметры отображения снимка на карте, щелкнув правой кнопкой мыши по полю карты, в появившемся меню выбрать пункт «Управление слоями», выбрать слой со снимком, нажать кнопку «Оформление», в появившемся диалоге снять ограничение на масштабный коэффициент «Показывать в пределах». Закрыть все диалоги. Отобразить снимок на карте, нажав правую кнопку мыши в поле карты, в появившемся меню выбрать пункт «Показать слой полностью».
- 4.6. Установить границы съемки. Для этого установить изменяемый слой «Project», в панели «Пенал» выбрать инструмент «Полигон» и нанести на карту границы населенного пункта. При необходимости изменить отображения полигона, нажав кнопку «Стиль области» в кнопочном меню программы MapInfo. Например, сделать полигон прозрачным, а также изменить цвет и толщину границ.
- 4.7. Задать направление маршрутов аэросъемки. Обычно направление аэросъемки выбирается вдоль длинной стороны границы участка съемки. Если участок имеет компактную форму, то направление аэросъемки выбирают по направлению преобладающих ветров. Для задания направления в слое Project создают линию, выбрав на панели инструментов «Пенал» кнопку «Линия».

- 4.8. Задать исходные данные для расчета проекта. Для этого:
- Выделить линию, показывающую направление маршрута
  - Нажать кнопку «Настройка заполнения» на панели инструментов «Операции с маршрутами»
  - Игнорировать сообщение об ошибке, если оно появилось
  - В окне «Настройки», в разделе «Параметры снимков», задать «Угол наклона», нажав кнопку «Как у прямой».

Ввести продольное и поперечное перекрытие снимков (в %), знаменатель масштаба аэрофотосъемки и размер пикселя (в мкм).

В разделе «Параметры камеры» ввести размеры ПЗС матрицы, где  $L_a$  – длина стороны матрицы (в мм), ориентированной по направлению полета летательного аппарата (ЛА),  $L_b$  – длина стороны матрицы (в мм), ориентированной поперек направления полета ЛА.

Ввести «Разрешение матрицы», имеются в виду размеры матрицы (в пикселях), где  $N_a$  – длина стороны матрицы в пикселях, ориентированной по направлению полета ЛА, а  $N_b$  – длина стороны матрицы (в пикселях), ориентированной поперек направления полета ЛА.

Ввести фокусное расстояние фотокамеры (в мм).

В разделе «Высота» установить флажок на пункт «Рассчитанная из параметров» и нажать кнопку «Применить». Сохранить параметры в файле, нажав кнопку «Сохранить». Выйти из окна «Настройки», нажав кнопку «ОК».

- 4.9. Построить проект размещения маршрутов и точек фотографирования. Для этого:

- Выделить полигон, обозначающий границы съемки
- Последовательно нажать кнопки «Заполнить область точками» и «Показать линии маршрутов» на панели инструментов «Операции с маршрутами»

- 4.10. Перенести проект в таблицу Microsoft Office Excel. Для этого:

- Создать новый список, обратившись к пункту главного меню MapInfo «Окно», «Новый список». Из предлагаемых таблиц выбрать таблицу pointtable.
- Выделить все записи списка (выделить первую запись, инвертировать выборку, добавить к выборке первую

запись - Shift+клик левой кнопкой мыши). Скопировать список в буфер обмена (Ctrl+C), открыть Microsoft Office Excel, вставить список в таблицу (Ctrl+V). В колонке А указан номер блока, в колонке В – номера маршрутов, в колонке С – номера снимков в маршруте, F – долготы точек фотографирования (в градусах), G – широты точек фотографирования (в градусах). Необходимые данные могут быть скопированы в текстовый файл и использованы для загрузки проекта в навигационные программы, используемые на борту ЛА.

#### 4.11. Перенос данных в формат программы Navigator.

- В полученной на предыдущем этапе таблице Microsoft Office Excel необходимо удалить столбцы А, D, E. В таблице должны остаться номера маршрутов, номера снимков, долгота и широта точек фотографирования. Оставшиеся столбцы скопировать. Открыть таблицу «Форма подготовки маршрутов для Навигатора», в которой необходимо очистить первые четыре столбца, и вставить скопированные данные начиная с ячейки А1.
- Данные, необходимые для программы Navigator определяются в ячейках, выделенных рамкой. Их необходимо скопировать и вставить в текстовый файл, созданный программой «Блокнот». В текстовом файле следует заменить разделитель «табуляция» на «запятая» и сохранить с именем \*.rte.

#### 4.12. Контроль проекта.

- Запустить программу Navigator.
- Открыть файл проекта. Включить режим эмуляции полета (нажать литеру Е/У, не зависимо от расклада клавиатуры), переместиться в точку взлета (нажать литеру D/В, не зависимо от расклада клавиатуры).
- Стрелками «влево» и «вправо» осуществляется управление виртуальным ЛА. Другие функции программы описаны в пункте меню «Помощь».
- Настроить проект, выбрать пункт меню «Настройка» «Проекта». Установить расчетную высоту фотографирования. Поправку высоты установить равной 0. Закрывать окно.

- Настроить камеру, выбрав пункт меню «Настройка» «Камеры». Установить размер матрицы камеры и фокусное расстояние в мм. Заккрыть окно.
- Установить заданную высоту (клавишами pg up, pg dn) и скорость полета (клавишами ^, v). Выполнить съемку по проекту. Проверить перекрытие снимков, пропуски снимков. Заккрыть программу.
- В рабочем каталоге программы Navigator найти последний созданный файл типа \*.trk. В имени файла указана дата и время выполнения съемки. В текстовом файле с траекторией необходимо произвести замену разделителя между числами. Для этого открыть файл в программе Блокнот, выбрать пункт главного меню «Правка|Заменить». Скопировать из текста символы, находящиеся между числами в окно «Заменить» в строку «Что». Выделить промежуток между числами в тексте файла и нажать на клавиатуре клавишу «Tab». Скопировать символ табуляции в окно «Заменить» в строку «Чем». Нажать кнопку «ОК». После замены из текстового файла с траекторией необходимо скопировать данные в таблицу Excel. Оставить только три первые колонки: время, широта, долгота.
- Полученные данные скопировать в буфер обмена. Запустить программу MapInfo. Создать новую таблицу, выбрав пункт меню «Файл|Новая таблица». В окне «Новая таблица» нажать кнопку «Создать». В окне «Создать структуру таблицы» нажать кнопку «Добавить поле». В строке «Имя» ввести название первого поля, например, «Время». В строке «Тип» указать «Вещественное». Аналогично добавить поля «Широта» и «Долгота». Установить проекцию карты, нажав кнопку «Проекция». В окне «Выбор проекции» в строке «Категория» указать «Широта/Долгота». В окне «Проекция» выбрать «Долгота/Широта». Вернувшись в окно «Создать структуру таблицы» нажать кнопку «Создать». В диалоге «Создать новую таблицу» выбрать рабочий каталог и указать имя таблицы, например, «Траектория.tab». На экране появится созданная карта.

- Добавить в карту точки траектории, находящиеся в буфере обмена. Для этого в пункте главного меню «Окно» выбрать пункт «Новый список» и вставить данные, нажав комбинацию клавиш Ctrl+V. Полученные в списке точки необходимо преобразовать в точечные объекты. Выбрать пункт главного меню «Таблица|Создать точечные объекты». В окне «Создать точечные объекты», в строке «Создать точки в таблице» указать таблицу «Траектория». В строке «Извлечь X из колонки» указать поле «Долгота», а в строке «Извлечь Y из колонки» указать поле «Широта». При желании можно изменить оформление точек, нажав кнопку «пометить символом». Нажать кнопку «ОК». Сохранить изменения в таблице. Закрыть список «Траектория». В окне карты нажать правую кнопку и выбрать пункт контекстного меню «Показать слой полностью», «Все слои».
- Убедившись, что траектория построена верно закрыть все таблицы, запустить программу Map Basic «AirRout», открыть проект АФС. Открыть таблицу Траектория, выбрав в диалоге в строке «Представление» пункт «В активной карте». Оценить соответствует ли траектория проекту. Записать копию экрана и оформить приложение к отчету.

## 5. Расчет стоимости АФС.

5.1. Расчет стоимости выполняется в заранее подготовленной таблице Excel. Таблица имеет три раздела. В первом разделе рассчитывается стоимость съемочного времени (строки 1 – 29). Во втором разделе рассчитываются затраты на использование аэросъемочного оборудования, работы бортоператоров и на определение координат центров фотографирования (строки 30 – 31). В третьем разделе учитываются затраты на перелет от аэропорта постоянного базирования до аэропорта временного базирования и обратно (строки 33 – 35).

5.2. Скопировать с сервера таблицу «Расчет стоимости АФС». В поля, выделенные желтым цветом ввести значения из табл. 1.

- 5.3. Среднюю ширину и длину участка съемки определить по проекту в ГИС MapInfo. Для этого открыть проект АФС, в панели инструментов «Операции» нажать кнопку «Линейка», установить курсор на угол границы съемки и зажав левую кнопку мыши перевести курсор на следующий угол, в окне «Линейка» считать расстояние. Отменить режим измерений клавишей «Esc»
- 5.4. Стоимость летного часа летательного аппарата принять 80 тыс. руб. для одномоторного самолета, 120 тыс. руб. – для двухмоторного самолета или вертолета.
- 5.5. Продолжительность 1-го полета найти в Интернете для модели летательного аппарата указанного в индивидуальном задании.
- 5.6. Удаление объекта съемки от аэропорта временного базирования и расстояние до аэропорта постоянного базирования найти по карте или в Интернете.
- 5.7. Стоимость аэросъемочных работ не должна превышать 10% стоимости комплекса работ по созданию топографических планов. Стоимость создания топографических планов наземными методами найдем в «Справочнике базовых цен на инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания для строительства». Их значения приведены в табл. 2 в расчете на 1 кв. км площади. При использовании материалов АФС вводится понижающий коэффициент  $K$  (табл. 2). Предельная стоимость АФС рассчитывается по формуле (8).

$$C_{АФС} = 0.1 \cdot K \cdot C_{топ} \cdot P \quad (8)$$

где  $C_{АФС}$  - стоимость АФС,  $K$  - коэффициент снижения стоимости топографической съемки с использованием материалов АФС,  $C_{топ}$  - стоимость наземной топографической съемки за 1 км<sup>2</sup>,  $P$  - площадь участка съемки (км<sup>2</sup>).

Табл. 2 Данные для оценки стоимости АФС

Параметры съемки	$C_{топ}$ за 1 км <sup>2</sup>	$K$
------------------	--------------------------------	-----

1:500, $h_{сеч} = 0.5 м$	2292977	0.7
1:1000, $h_{сеч} = 0.5 м$	1576784	0.7
1:2000, $h_{сеч} = 0.5 м$	1503004	0.7
1:2000, $h_{сеч} = 1.0 м$	1445561	0.5
1:5000, $h_{сеч} = 0.5 м$	847416	0.7
1:5000, $h_{сеч} = 1.0 м$	710923	0.5

Расчетную стоимость АФС следует сравнить с предельной рыночной стоимостью и сделать выводы.

#### 6. Контрольные вопросы.

- 6.1. Назовите параметры АФС необходимые для проектирования съемки.
- 6.2. Как определить максимальный допустимый размер проекции пикселя на фотоплане.
- 6.3. Как рассчитать предельный допустимый масштаб фотографирования.
- 6.4. Как обеспечиваются границы съемочных участков при проектировании АФС.
- 6.5. Как связаны между собой масштаб АФС ( $m$ ), высота фотографирования ( $H$ ) и фокусное расстояние АФА ( $f$ ).
- 6.6. Какими факторами определяется выбор продольного и поперечного перекрытия.
- 6.7. По каким критериям выполняется оптимизация параметров АФС.
- 6.8. Какие параметры АФС придется менять, если расчетный интервал фотографирования меньше минимального интервала фотографирования.
- 6.9. Как определить соответствует ли стоимость АФС рыночной стоимости.

### **ТЕМА 3. РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

*Цель занятия* – формирование у студентов представления о современных методах получения и обработки космических снимков, изучения их свойств и использования для решения прикладных задач на примере обновления кадастровой карты.

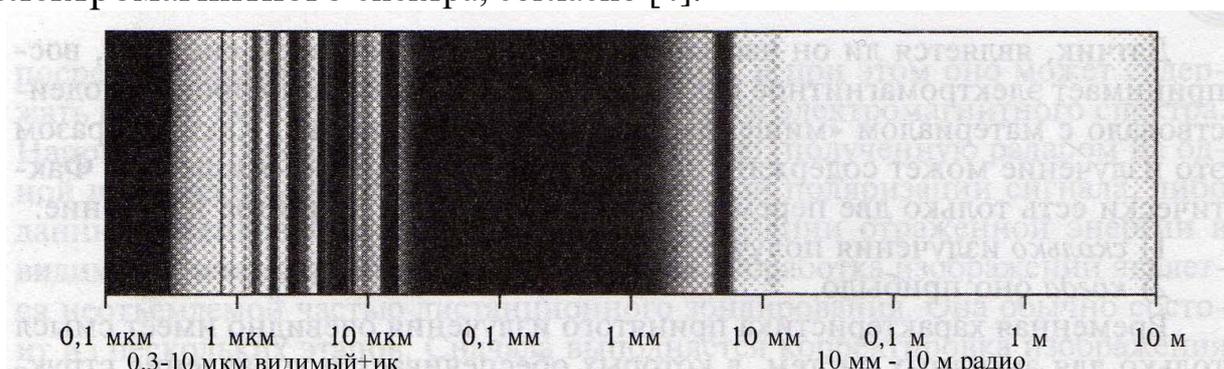
Задачи работы:

- изучить особенности мультиспектральной космической съемки и способы формирования на их основе цветных и спектральнозональных изображений с заданными изобразительными свойствами;
- изучить способы геометрической коррекции космических снимков и уровни геометрического преобразования снимков.

*Содержание занятия.* Изучить главу 13 учебника [1] и главы 1 – 4 учебника [3]. Выполнить синтезирование цветного спектральнозонального изображения из мультиспектральных снимков, полученных со спутника Landsat 7, методом Pan-Sharpening. Выполнить географическую привязку синтезированного изображения к цифровой векторной карте. Создать фотоплан. Редактировать с помощью фотоплана кадастровую карту Одесского района Омской области.

### *Теоретические пояснения к занятию*

Использование многозональных снимков обусловлено тем, что различные объекты местности имеют неодинаковые тоновые характеристики на снимках, полученных в различных частях электромагнитного спектра. Это связано с неоднородной прозрачностью земной атмосферы, а также с различной отражательной способностью объектов местности для волн различной длины. На рис. 3.1 показана схематическая диаграмма проницаемости земной атмосферы в различных зонах электромагнитного спектра, согласно [4].



*Рис. 3.1.* Проницаемость земной атмосферы в различных зонах электромагнитного спектра

Светлые полосы соответствуют «прозрачным» диапазонам, а темные, соответственно, непрозрачным. Аппаратура для многозональной съемки настраивается таким образом, чтобы изображения получались в узких спектральных зонах, соответствующих максимальной проницаемости атмосферы в выбранном диапазоне. Обобщенная характеристика диапазонов представлена на рис. 3.2.

Различие в спектральной отражательной способности объектов местности учитывается использованием достаточно большого количества зон, в которых выполняется съемка. Современные системы дистанционного зондирования позволяют получать изображения в нескольких спектральных диапазонах. Так, снимки с индийского спутника IRS-1C/1D получают в широкой видимой (панхроматической) зоне, а также в узкой инфракрасной зоне спектра. Изображения с французского спутника Spot поставляются в панхроматическом диапазоне, а также в зеленой, красной, ближней инфракрасной и тепловой зоне. Рекордсменами по количеству спектральных каналов являются американские спутники серии Landsat. За один проход спутник Landsat 7 TM формирует 8 снимков, соответствующих панхроматическому диапазону, а также различным частям видимой и инфракрасной зоны спектра.

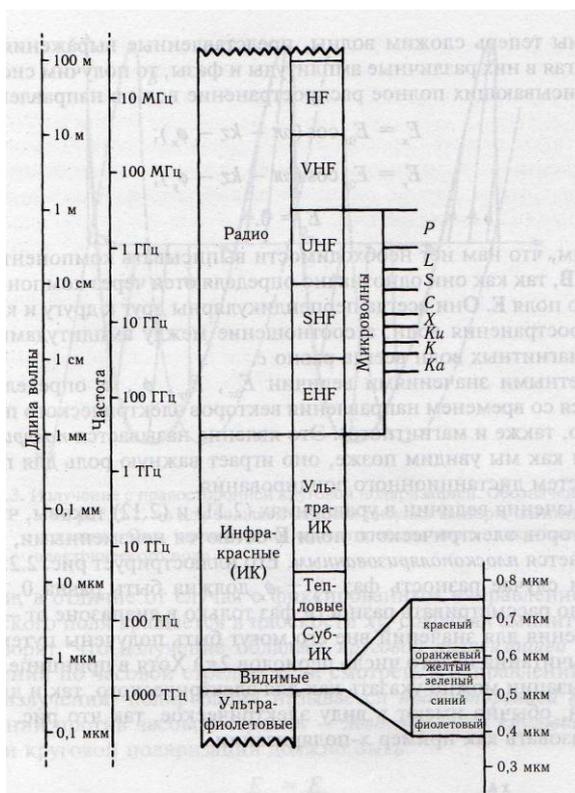


Рис. 3.2. Диаграмма электромагнитного спектра, используемая при дистанционном зондировании

Поскольку тоновые характеристики объектов местности на многозональных снимках различны, появляется возможность выбирать снимки с более четким изображением интересующих объектов.

Наилучшее представление об объектах местности можно получить по цветным синтезированным изображениям. Смысл синтеза заключается в объединении нескольких черно-белых снимков, полученных в различных зонах спектра, в одно цветное изображение. Простейший вариант синтеза можно рассмотреть на примере RGB палитры. RGB – это аббревиатура английских слов Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий. Эти цвета, смешанные в различных пропорциях позволяют образовать до 65 миллионов цветовых оттенков. RGB – палитра используется для получения цветных изображений, которые предназначены для обработки на компьютере. Смешение этих цветов в равных пропорциях даст черный цвет. Если изображение предназначено для печати, то цветное изображение формируют в CMYK палитре. CMYK – это аббревиатура английских слов Cyan, Magenta, Yellow, Black – голубой, пурпурный, желтый, черный. Смешение этих цветов в равных пропорциях даст белый цвет.

Если выбрать три мультиспектральных черно-белых снимка одного и того же объекта, окрасить каждый из них в один из указанных цветов и сформировать единое изображение то получится цветное изображение. Цвета могут получиться натуральными или условными. При дешифрировании чаще пользуются условными цветами, так как стремятся добиться не столько натуральной цветопередачи, сколько получить максимальный цветовой контраст между объектами местности. Среди способов получения изображений в условных цветах выделяется вариант, называемый Pan-Sharpning, при котором на панхроматическое изображение высокого разрешения накладываются мультиспектральные изображения той же сцены меньшей разрешающей способности. В результате достигается эффект повышения пространственного разрешения изображения, что облегчает визуальное дешифрирование.

Для синтеза цветных космических изображений используют как специализированные программы, так и обычные графические редакторы. Среди специализированных программ выделяются такие, как ENVI (США), линейка программных продуктов фирмы ScanEX (Россия).

Программный комплекс ENVI является одним из наиболее доступных продуктов для визуализации и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), который включает в себя набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и её интеграции с данными ГИС.

Автономное Windows-приложение ScanMagic® фирмы ScanEX представляет собой программное обеспечение для просмотра, анализа и обработки изображений Земли из космоса. Программа позволяет получать выходные продукты космической съемки без привлечения дополнительных программных средств. ScanMagic позволяет обрабатывать данные дистанционного зондирования в оперативном (near-real time, NRT) режиме.

Более подробная справочная информация об этих комплексах приведена в Приложении А и Б.

Частную задачу синтеза цветных и спектрзональных изображений можно решить с помощью графических редакторов Adobe Photoshop или Corel PHOTO-PAINT. Необходимо учитывать,

что при синтезировании в простейших графических редакторах снимки должны быть представлены в 8-ми битовой палитре, то есть интервал от белого до черного цвета разбит на 256 градаций серого цвета. Поскольку современные космические снимки получают в 10 или 11 битовой палитре, что в пределе соответствует 2048 градациям серого цвета, то снимки следует преобразовать в 8-битовую палитру. Для сохранения радиометрических свойств снимков на уровне 10 или 11-битовой палитры обработку следует выполнять в специализированном программном обеспечении.

### **Задание 3.1. Синтез цветных космических снимков.**

**Цель:** Освоение технологии создания цветных спектральных снимков с заданными изобразительными свойствами способом Pan-Sharpning.

**Содержание:** Свойства мультиспектральных снимков. Характеристика палитры цветных снимков. Методика синтезирования цветных спектральных снимков.

#### **Исходные данные:**

- Пять космических снимков территории Одесского района Омской области, полученных со спутника Landsat 7ТМ. Изображения получены в узких спектральных диапазонах и в широком видимом панхроматическом диапазоне. Характеристика снимков приведена в таблице 3.1.

*Таблица 3.1*

#### **Характеристика снимков Landsat 7 ТМ**

Имя файла снимка	Диапазон (мкм)	Диапазон (цвет)	Разрешающая способность (м)
Landsat-10-odessa-small	0.450-0.515	Синий	30
Landsat-20-odessa-small	0.525-0.605	Зеленый, желтый, оранжевый	30
Landsat-30-odessa-small	0.630-0.690	Красный	30
Landsat-40-odessa-small	0.750-0.900	СубИК	30
Landsat-50-odessa-small	1.550-1.750	Тепловой	60
Landsat-80-odessa-small	0.520-0.900	Панхром	15

**Выполнить:**

- Изучить процесс синтеза космических снимков с целью получения цветного спектронального изображения по принципу Pan-Sharpening.
- За счет изменения комбинации каналов, подбора палитры и настройки цвета добиться на синтезированном снимке максимального цветового контраста изображения растительности и линейных объектов.

### **Порядок выполнения:**

- На рабочем диске (D:), в каталоге Students создать личный каталог с произвольным именем.
- Скопировать с сервера растры космических снимков на рабочий диск Вашего компьютера в свой каталог.
- Выбрать палитру, в которой будет выполняться синтез. Характеристика доступных видов палитры представлена в таблице 3.2.

*Таблица 3.2.*

### **Характеристики палитры в Adobe Photoshop или Corel PHOTO-PAINT.**

№ п/п	Обозначение палитры	Расшифровка аббревиатуры (английская)	Расшифровка аббревиатуры (русская)
1	RGB	Red, Green, Blue	Красный, зеленый, синий
2	CMY	Cyan, Magenta, Yellow	Голубой, пурпурный, желтый
3	CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Black	Голубой, пурпурный, желтый, черный

- Запустить программу Corel PHOTO-PAINT и загрузить три снимка, для формирования цветного изображения в соответствии с палитрой RGB.
- Преобразовать палитру каждого снимка в 8-битовую. Для этого обратиться к пункту главного меню программы «Изображение», «Преобразовать в оттенки серого (8 бит)».
- Синтезировать цветное изображение. Для этого обратиться к пункту главного меню программы «Изображение», «Объединить каналы». На экране появится окно «Объединение», предназначенное для выбора режима и назначения каналов каждому изображению. Выбрать режим RGB. Последовательно выбирая каналы R, G, B, двойным щелчком мыши назначить каждому из них одно изображение из списка. Проверить правильность назначения. Для этого

щелчком мыши последовательно отметить выбранные изображения и проверить соответствие назначенного канала. При необходимости повторно назначить изображения соответствующим каналам.

- Снять пометку «Закрывать исходные файлы». Нажать клавишу ОК.
- Программа сформирует цветное синтезированное изображение.
- Откорректировать яркость, контраст и интенсивность полученного изображения. Для этого обратиться к пункту главного меню программы «Настройки», «Яркость/Контраст/Интенсивность». Программа выполнит выравнивание контраста, яркости и интенсивности изображения. Если результат выравнивания не устраивает, можно отменить результат выравнивания, обратившись к пункту меню программы «Правка», «Отменить». Повторно выполнить настройку, подав команды «Изображение», «Корректировка», «Яркость/Контраст/Интенсивность». В появившемся окне, меняя соответствующие установки, добиться наилучшего изображения.
- Если в цветном изображении наблюдается преобладание какого-либо цвета, следует обратиться к пункту меню «Настройка», «Баланс цветов». На экране появится окно, в котором за счет изменения баланса цвета можно устранить нежелательное преобладание цвета.
- Если в результате объединения каналов и корректировок изображения не удается добиться необходимого цветового контраста, следует поменять настройку каналов или выбрать другую комбинацию изображений.
- Результатом работы должен быть записанный на диск файл в формате \*.bmp, с наилучшими, на ваш взгляд дешифровочными свойствами изображения. Файл следует сохранить в личной папке, записав для отчета комбинацию каналов и соответствующих им изображений.

### **Контрольные вопросы**

- Назовите современные спутники, позволяющие получать космические снимки сверхвысокой разрешающей способности.

- Назовите современные спутники, позволяющие получать космические снимки высокой разрешающей способности.
- Назовите современные спутники, позволяющие получать космические снимки средней разрешающей способности.
- Назовите современные спутники, позволяющие получать космические снимки низкой разрешающей способности.
- Назовите пределы, в которых разрешающая способность снимков считается сверхвысокой.
- Назовите пределы, в которых разрешающая способность снимков считается высокой.
- Назовите пределы, в которых разрешающая способность снимков считается средней.
- Назовите пределы, в которых разрешающая способность снимков считается низкой.
- Дайте определение геометрической разрешающей способности снимка.
- Как подсчитать необходимую разрешающую способность снимка для создания или обновления планов и карт заданного масштаба?
- Дайте определение радиометрической разрешающей способности снимка.
- Приведите классификацию снимков по их радиометрическим свойствам.
- Что означает термин «Градации серого (8-бит)»?
- Что означает термин «RGB цвета (24-бит)»?
- Что означают аббревиатуры RGB, CMYK.
- Охарактеризуйте снимки, полученные со спутника Landsat 7TM.
- Что означает термин мультиспектральная съемка?
- Охарактеризуйте панхроматический канал мультиспектральной съемки.
- Раскройте сущность процесса синтезирования цветного изображения.
- Перечислите программы, в которых может выполняться синтезирование цветных изображений.
- Охарактеризуйте специализированное программное обеспечение для обработки космических снимков.

## **Задание 3.2. Геометрическая коррекция космических снимков**

### *Теоретические пояснения к занятию*

Под геометрической коррекцией космических снимков понимают предварительную радиометрическую и геометрическую калибровку изображения, определение элементов ориентирования снимка, преобразование его в заданную картографическую проекцию и устранение искажений, вызванных влиянием рельефа местности и другими факторами.

При радиометрической калибровке снимков устраняются ошибки юстировки аппаратуры, такие как шумы, полосность изображения, смещения линий или пикселей. Эти ошибки вызваны неодинаковой чувствительностью элементов сенсора. Снимки преобразуются в заданную палитру (8-ми, 10-ти, 11-ти или 16-ти битную). Радиометрическая калибровка необратима.

При геометрической калибровке учитываются параметры дисторсии сенсора, влияние вибрации и эффекта угла съемки, отклонение положения спутника от расчетного, влияние кривизны и вращения Земли.

Определение элементов ориентирования выполняется по навигационным данным или по опорным точкам. Точность ориентирования снимков по навигационным данным, как правило, ниже, чем по опорным точкам. Поэтому в практике картографических и кадастровых работ чаще применяют ориентирование по опорным точкам. В процессе ориентирования снимков определяют элементы внешнего ориентирования или элементы трансформирования снимков.

Преобразование изображения в заданную проекцию выполняется по опорным точкам. При работе в проекции Гаусса-Крюгера снимки трансформируют на плоскость. При этом, необходимо учитывать различие между ортогональными и нормальными высотами опорных точек.

Процесс устранения искажений, вызванных влиянием рельефа известен как ортофототрансформирование снимков. Для учета этих смещений применяют цифровую модель рельефа (ЦМР) местности. При работе с космическими снимками необходимо предварительно решить вопрос о необходимости ортогонального преобразования изображения. Большие высоты фотографирования и малые углы зрения космической съемочной аппаратуры создают благоприятные

условия для минимизации перспективных смещений, особенно в условиях равнинной местности. Однако при съемке горных территорий или при использовании наклонных снимков необходимо выполнять ортофототрансформирование снимков.

Преобразования снимков, упомянутые выше, представляют собой так называемые уровни обработки космических снимков. Для различных съемочных систем предусмотрены свои стандартные уровни обработки. Элементарные преобразования изображений, предусмотренные поставщиками космических снимков, представлены в таблице 3.3.

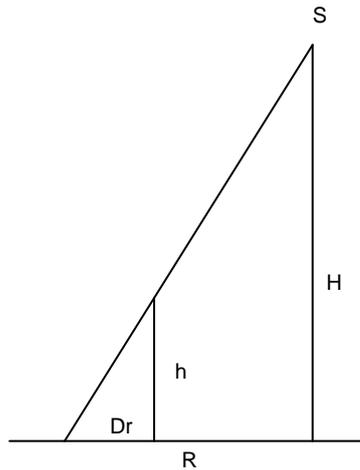
*Таблица 3.3.*

**Уровни обработки некоторых космических снимков**

Съемочная система	Обозначение уровня обработки	
	Радиометрическая коррекция	Радиометрическая и геометрическая коррекция
Spot, Aster	1A	1B
Komposat, Landsat	1R	1G
QuickBird	Basic	Standart
OrbView-3	Basic	Geo

Снимки со спутника Landsat 7ТМ поставляются с уровнем обработки 1G. Для преобразования их в картографическую проекцию необходимо выполнить трансформирование снимков. Исходное изображение представляет собой сложную проекцию, близкую к перспективно-параллельной проекции. Как известно из курса фотограмметрии, эти проекции преобразуются в плоскость карты проективным преобразованием. При значительном рельефе местности может возникнуть необходимость ортофототрансформирования.

Рассчитаем допустимое превышение  $h$  точек местности для случая трансформирования снимка на одну плоскость.



*Рис. 3.1.* Расчет допустимых превышений точек местности.

Для этого необходимо знать высоту орбиты спутника и ширину сцены на местности. Высота орбиты составляет  $H=700$  км, а ширина сцены  $2R=190$  км. Из чертежа следует, что:

$$h = \pm \frac{D_r \cdot H}{R}$$

если выразить допустимое смещение точек за рельеф в масштабе плана

$$h = \pm \frac{0.3 \cdot M \cdot H}{1000 \cdot R}$$

Примем масштаб карты  $1:50000$ , и получим допустимое превышение точек в пределах снимка  $h=\pm 110$  м. Учитывая равнинный рельеф района работ с превышениями в пределах  $\pm 50$  м, ограничимся трансформированием снимка на одну плоскость без учета влияния рельефа местности.

#### *Практические пояснения к заданию*

**Цель:** Освоение особенностей создания фотопланов по космическим снимкам с использованием ГИС «Панорама».

**Содержание:** Преобразование векторной карты и снимка в формат ГИС «Панорама». Трансформирование снимка по контурным точкам карты, Оценка точности создания фотоплана.

#### **Исходные данные:**

- Векторная кадастровая карта Одесского района Омской области масштаба  $1:25000$  в формате ГИС MapInfo (\*.mif).
- Программное обеспечение ГИС «Панорама».
- Цветной синтезированный космический снимок.

### **Выполнить:**

- Подготовительные работы
- Трансформирование космического снимка по опорным точкам, используя в качестве опоры идентичные точки векторной карты,
- Создание фотоплана масштаба 1:50000.

### **Подготовительные работы.**

Векторную карту и синтезированный космический снимок необходимо поместить в личную папку. Создать векторную карту в формат ГИС «Панорама». Для этого выполнить следующие действия:

- Запустить ГИС «Панорама», создать план масштаба 1:2000 (масштаб условный, поскольку демо-версия ГИС «Панорама» работает только с масштабом 1:2000).
- Выбрать пункт меню «Файл», «Создать», «План».
- На экране появится диалоговое окно сохранения файла. Необходимо выбрать личную папку и задать имя \*.map файла.
- На экране появится диалог создания плана. Необходимо задать файл ресурсов, который можно найти в папке, в которой установлена «Панорама» на Вашем компьютере. Следует выбрать файл с именем map2000.rsc.
- Необходимо задать произвольное название карты. К выбору названия карты отнеситесь ответственно, поскольку оно будет украшать Ваш планшет при распечатке и выводе на экран.
- Задать следующие габариты объекта, указанные в табл. 3.
- Нажать клавишу «Создать». На экране появится окно с рамкой карты.

*Таблица 3.*

### **Габариты векторной карты.**

Угол рамки	Координаты	
	X	Y
Юго-Западный	73600	74500
Северо-Восточный	130400	143200

Импортировать кадастровую карту в формат пользовательской карты ГИС «Панорама». Для этого выполнить следующие действия:

- Обратиться к пункту меню «Файл», «Импорт из», «Файл MapInfo (MIF)». На экране появится диалог загрузки файла \*.mif. Необходимо найти файл в личной папке и загрузить его.
- На экране появится диалог «Конвертор из MapInfo». В строке классификатор необходимо указать путь к файлу ресурсов. После первого обращения к этому файлу Вы найдете его в своей личной папке.
- Указать масштаб карты 1:2000, поскольку демо-версия программы позволяет работать только с этим масштабом.
- Обратите внимание на строку, содержащую путь к выходной карте. При необходимости измените путь и имя файла.
- Нажать кнопку «Выполнить». На экране появится пользовательская карта. Закройте окно пользовательской карты и добавьте ее в \*.map карту, обратившись к пункту меню «Вид», «Пользовательские карты». В появившемся окне нажать кнопку «Добавить». В диалоге «Создание пользовательской карты» указать файл \*.sit. В рамке \*.map карты появится пользовательская карта.

Преобразовать синтезированный космический снимок из формата \*.bmp во внутренний формат ГИС «Панорама» \*.rsw. Для этого выполнить следующие действия:

- Открыть файл, содержащий снимок, обратившись к пункту меню «Файл», «Открыть». В появившемся диалоге указать тип файлов – Растровые карты. Указать файл с цветным синтезированным космическим снимком.
- На экране появится диалог «Загрузка растровой карты». Необходимо указать масштаб 1:50000 и нажать клавишу «Да». На экране появится окно с растровой картой. Закройте его, а изображение добавьте в \*.map карту, обратившись к пункту меню «Вид», «Список растров». В появившемся диалоге нажать кнопку «Добавить» и указать \*.rsw файл. На экране появится изображение космического снимка.

### **Трансформирование снимка.**

Выполнить предварительное ориентирование снимка по одной, а затем по двум общим точкам растра и векторной карты. Для этого необходимо:

- Найти общие точки и обратиться к пункту меню «Вид», «Список растров». В появившемся окне нажать кнопку «Свойства», выбрать пункт «Привязка по одной точке».
- Руководствуясь подсказками в строке состояния, указать точку на растре и идентичную ей на векторной карте. Подтвердить сохранение изменений.
- Найти две общие точки и обратиться к пункту меню «Вид», «Список растров». В появившемся окне нажать кнопку «Свойства», выбрать пункт «Привязка по двум точкам», «С масштабированием и поворотом».
- Последовательно указать каждую из них сначала на растре, а затем на векторной карте. Подтвердить сохранение изменений.

Выполнить трансформирование по набору опорных точек, используя в качестве опорных точек контурные точки векторной карты, опознающиеся на снимке. Для этого выполнить следующее:

- Обратиться к пункту меню «Задачи», «Запуск приложений». Выбрать приложение «Трансформирование данных», «Трансформирование растровых данных». Нажать кнопку «Выполнить». На экране появится окно «Трансформирование растровой карты».
- Установить параметры трансформирования. В строке «Способ трансформирования» указать «По набору опорных точек». В строке «Теория» указать «Из карты». Нажать кнопку «Указать опору».
- Найти идентичные точки и последовательно указать их, сначала на растре, а затем на векторе. Точки необходимо выбрать равномерно по периферии векторной карты и в центре. Всего необходимо набрать 30-35 точек. Окончание набора точек обозначить клавишей «Пробел».
- На экране появится окно «Выбор опорных точек», в котором дается оценка точности ориентирования снимка и расхождения координат на каждой точке. Установить режим предварительной отбраковки.
- Проанализировать среднюю квадратическую ошибку и максимальные отклонения. Выполнить отбраковку точек и записать в отчет остаточную среднюю квадратическую ошибку,

максимальную ошибку после отбраковки и оставшееся количество точек.

- Выполнить оценку точности трансформирования снимка. Согласно инструкции по фотограмметрическим работам [5], средняя ошибка положения опорной точки на трансформированном изображении не должна превышать 0.5 мм в масштабе фотоплана. Для масштаба 1:50000 средняя погрешность составит 25 м на местности. В отчете программы выдается средняя квадратичная ошибка. Для корректной оценки точности необходимо перейти от средней квадратичной ошибки к средней погрешности. Средняя ошибка всегда меньше средней квадратичной ошибки примерно в 1.25 раза. При оценке точности полученную среднюю квадратичную ошибку достаточно разделить на 1.25, полученный результат сравнить с допуском.
- Нажать кнопку «Выход». На экран вернется окно «Трансформирование растровой карты». Нажать кнопку «Выполнить». По окончании процесса нажать кнопку «Выход».
- Удалить из списка растров нетрансформированное изображение, обратившись к пункту меню «Вид», «Список растров», выбрать из списка ненужное изображение и нажать кнопку «Убрать».
- В результате на экране останется трансформированное изображение и векторная карта.

### **Контрольные вопросы**

- Сущность радиометрической коррекции космических снимков.
- Сущность геометрической коррекции космических снимков.
- Способы ориентирования космических снимков и преобразования их в заданную проекцию.
- Уровни обработки космических снимков.
- Обоснование необходимости ортофототрансформирования космических снимков.
- Способы привязки растрового изображения к карте.
- Оценка точности трансформирования и отбраковка ошибочных измерений.

### Задание 3.3. Корректировка кадастровой карты

#### *Теоретические пояснения к занятию*

Объектами кадастрового картографирования являются границы земельных участков, занятых объектами недвижимости. В данном случае мы будем иметь дело со следующими объектами:

- Земельными участками межселенной территории, используемыми в сельскохозяйственном производстве.
- Лесными участками, которые относятся к государственному лесному фонду и подлежат отдельному учету. Они должны быть вырезаны из площади земельных участков. Исключение составляют отдельные колки, отображаемые точечными объектами.
- Земельными участками общего пользования – это, в основном, проезды между земельными участками, защитные лесополосы. Они должны быть оформлены отдельными участками.
- Землями, занятыми посторонними землепользователями – это участки под шоссейными и железными дорогами. Они также формируются как отдельные земельные участки.
- Населенными пунктами, которые нанесены на карту схематично и при выполнении задания не учитываются.

Границы земельных участков отличаются от границ топографических объектов или границ сельскохозяйственных угодий тем, что они установлены на местности, согласованы с заинтересованными сторонами и утверждены органами власти. Иначе говоря, они признаны юридически. Это означает, что границы земельных участков не обязательно совпадают с видимыми на местности границами естественных контуров или искусственных сооружений. Их юридически статус диктует особые условия корректировки кадастровых карт.

Корректировку кадастровой карты необходимо произвести в связи с тем, что на ней имеются объекты, некорректно построенные в топологическом отношении. При корректировке недопустимо изменение положения границ земельных участков. Допускается незначительное спрямление границ, согласование общих точек смежных объектов, устранение пресечения земельных участков. Фотопланы помогают оперативно выявить изменения на местности, произошедшие с момента издания картографического материала. Для их создания используются материалы аэрофотосъемки или

космической съемки. Материалы космической съемки можно принимать практически в режиме реального времени. Потому их значение для мониторинга состояния территорий чрезвычайно велико.

### *Практические пояснения к заданию*

Цель: Усвоение особенностей создания и ведения кадастровых карт с использованием ортофотопланов.

Содержание: Особенности корректировки кадастровой карты. Топологические принципы создания векторных объектов карты. Классификация объектов кадастровой карты.

#### **Исходные данные:**

- Векторная кадастровая карта Одесского района Омской области.
- Фотоплан на эту же территорию в масштабе 1:50000.
- Программное обеспечение «Панорама».

#### **Выполнить:**

- Корректировку карты на согласованной с преподавателем площади.
- Формирование площадных объектов земельных участков, и лесных участков.
- Распечатать обработанный фрагмент карты для отчета.

#### **Корректировка карты**

- Вызвать редактор карты, обратившись к пункту меню «Задачи», «Редактор карты».
- Для корректировки точек необходимо воспользоваться группой инструментов «Точка». Для исправления топологических ошибок карты следует вызвать группу инструментов «Топология». Для удаления объектов – открыть группу инструментов «Удаление».
- Изучить с помощью справочной системы программы методику использования перечисленных инструментов и выполнить корректировку объектов.
- Для создания площадных объектов вызвать группу инструментов «Создание», инструмент «Создание объекта». На экране появится окно «Создание нового объекта карты». В разделе «Локализация» выбрать пункт «Площадные». В разделе «Слои» укажите слой «Кадастр» для земельных

участков и слой «Растительность < Леса >» для лесных участков. Выберите подходящий объект из списка объектов и нажмите кнопку «Сохранить». Выполните векторизацию объекта. Замыкание контура обозначьте одновременным нажатием клавиш Ctrl и Enter.

- Если граница объекта совпадает с границей существующего объекта, полезно использовать режим копирования точек смежного объекта или копирования части границы смежного объекта. Копирование точек выполняется нажатием клавиши К (англ.). Копирование части границы смежного объекта выполняется нажатием клавиши Р (англ.). Внимательно следите за подсказками в строке состояния. В случае ошибки отмените операцию нажатием клавиш Ctrl и С.
- Если один площадной объект перекрывается другим площадным объектом, то вкрапленный объект необходимо вырезать. Для этого пользуются инструментом «Создание подобъекта копированием» группы инструментов «Топология». Следите за подсказками в строке состояния. На запрос «Выберите объект – источник», укажите вкрапленный контур. На запрос «Выберите редактируемый объект», укажите контур, в который вкраплен вырезаемый объект. Отключите режим «Создание подобъекта копированием». Желаю успеха.

### **Контрольные вопросы**

- Перечислите объекты кадастровой карты межселенной территории.
- В чем отличие границ объектов кадастровой и топографической карты.
- Особенности корректировки объектов кадастровой карты.
- Редактирование точек в ГИС «Панорама».
- Редактирование топологии в ГИС «Панорама».
- Создание объектов в ГИС «Панорама».
- Создание подобъектов копированием в ГИС «Панорама».

## ТЕМА 4. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКА QUICKBIRD, WORLDVIEW»

*Цель занятия* – исследование точности ориентирования космических снимков по навигационным данным и по опорным точкам, оценка фотопланов по изобразительным свойствам.

Задачи работы:

- исследовать точность ориентирования снимка по навигационным данным (RPC);
- исследовать точность ориентирования космического снимка по опорным точкам (GCP);
- установить оптимальное количество опорных и контрольных точек при ориентировании космических снимков с использованием RPC.
- создать фотоплан населенного пункта и оценить его дешифровочные свойства.

*Содержание занятия.* Изучить главу 13 учебника [1] и главы 1 – 4 учебника [3]. Выполнить радиометрическую коррекцию снимка. Выполнить ориентирование снимка по RPC. Выполнить географическую привязку снимка по опорным точкам и RPC. Найти оптимальное количество опорных и контрольных точек. Создать фотоплан. Определить масштаб в зависимости от дешифровочных свойств фотоплана.

### *Теоретические пояснения к занятию*

В комплекте поставки большинства современных космических снимков имеются сведения о географической привязке изображений к системе координат местности. Эти данные позволяют реализовать строгие или приближенные методы ориентирования снимков.

Строгие методы обработки космических изображений обеспечивают самую высокую точность определения координат точек местности. Однако они не гарантируют выполнения высокоточной обработки изображений, прошедших предварительную коррекцию, а также изображений, представляющих собой часть сцены.

В последнее время для обработки космических изображений вместо строгих моделей, которые не всегда доступны, чаще используется обобщенная модель в виде дробно-рациональных функций с RPC-коэффициентами. Главным образом это связано с желанием операторов космических данных сохранить в секрете информацию об особенностях геометрической модели сенсора. Метод RPC стал популярен после того, как его начали использовать в Разведывательном сообществе Соединенных Штатов. В 1999 году он был включён в состав стандарта The Open GIS Abstract Specification в качестве одного из вариантов аппроксимации строгого подхода при фотограмметрической обработке данных ДЗЗ.

Метод RPC основан на соотношении двух полиномов третьей степени, которые, в отличие от элементов ориентирования, не содержат в явном виде информации о характеристиках использованной съёмочной системы и полученных изображениях. В состав этих дробно-рациональных функций входят так называемые RPC-коэффициенты (Rational Polynomial Coefficients / Rapid Positioning Capability), которые распространяются вместе с космическими изображениями начальных уровней обработки вместо элементов ориентирования сканера.

Исходными данными для определения параметров модели географической привязки снимков являются результаты навигационных измерений, производимых в полете, а также координаты контрольных точек, измеренные на картах и на снимках. Операторы космических данных гарантируют определенную точность привязки снимков. Так, например, известно, что КС со спутника QUICKBIRD привязаны с погрешностью не хуже 23 м на местности, а КС со спутника GEOEYE-1 – 3 м. Реальные погрешности определения координат по КС могут отличаться от заявленной точности. Определить реальную точность ориентирования конкретного снимка можно по контрольным точкам, координаты которых определены в поле или по крупномасштабным планам или картам. Использование контрольных точек в качестве опорных точек в сочетании с RPC позволяет существенно повысить точность географической привязки снимков. Так, например, добавление даже одной опорной точки может повысить точность ориентирования снимка до

величины, сравнимой с проекцией размера пикселя на местности. Это примерно 0,6 м для снимков со спутника QUICKBIRD и 0,4 м для снимков со спутника GEOEYE-1.

Настоящим заданием предусмотрено определение точности ориентирования КС по RPC, по опорным точкам и RPC, определение оптимального количества опорных и контрольных точек, а также оценка дешифровочных свойств КС.

### *Практические пояснения к заданию*

#### Подготовка к работе.

1. Установить на компьютере демонстрационную версию программы «Фотомод», версии 5.2.
2. На сервере, по указанию преподавателя, найти исходные данные. Выбрать космический снимок в соответствии с индивидуальным заданием. Снимок в папке 052449959020\_01 выполнен на территорию с. Кирсаново Горьковского района, снимок 052449959080\_01 – на территорию с. Пашенная роща Павлоградского района, а снимок 052449959090\_01 – на территорию с. Раздольное Павлоградского района.
3. Скопировать с сервера исходные данные: папку со снимком (052449959080\_01, 052449959090\_01 или 052449959020\_01). Скопировать с сервера данные об опорных точках: папку с каталогами координат (Кирсаново, Пашенная роща или Раздольное), а также папку с абрисами опорных точек (Горьковский район или Павлоградский район).
4. При первом запуске программы Фотомод необходимо создать Локальный профиль для упорядочения работы и записи данных. Дополнительно требуется создать виртуальный каталог – произвольное наименование данных, и реальный каталог, куда будут записываться результаты обработки данных. При последующих запусках программы эти действия можно выполнить при запуске модуля управление проектами командами: «Проекты», «Открыть управление». В окне управления необходимо вызвать «Панель управления».

#### Подготовка проекта

1. Создать проект. В окне управления проектами подать команду «Создать». В окне «Новый проект» задать Имя проекта, составить Описание проекта, Определить Тип проекта – «Космическая сканерная съемка», Выбрать из БД российских систем координат – WGS-84/UTM 43N. Отметить размещение проекта и нажать клавишу «ОК».
2. Создать «Новый маршрут», задав его имя.
3. Добавить изображение в маршрут. Для этого активизировать панель «Редактор блока» («Окна», «Редактор блока»), в окне «Редактор блока» выбрать команду «Добавить изображение из файла». В окне «Добавление сканерных изображений» открыть папку со снимком, в параметрах автопоиска установить «Начиная с текущей папки» и нажать кнопку «Поиск». В случае удачного поиска характеристика снимка появится в разделе «Добавляемые изображения».
4. В разделе «Добавляемые изображения» отметить найденный снимок и нажать кнопку «Радиометрия», выполнить автоуровни, корректировать яркость, контраст, баланс цветов. Повторно отметить снимок в разделе «Добавляемые изображения» и нажать кнопку «Добавить выбранные». Согласиться на создание папки Images для хранения растров. Принять параметры по умолчанию.

#### Фотограмметрическая обработка снимка

1. Активизировать панель «Триангуляция». Выбрать команду «Открыть для измерения изображения с маркером». В окне «Точки триангуляции» переключить таблицу на опорные точки. Импортировать координаты опорных точек командой «Импорт». Указать файл с координатами опорных точек. В окне импорта подобрать разделитель данных «Табуляция» Данные в окне «Просмотр файла» должны разнестись по колонкам. Если колонки неправильно идентифицированы уточнить шаблон строки и имена колонок. Нажать кнопку «ОК».
2. Открыть абрисы точек с описанием в программе «Панорама».
3. Измерить координаты опорных точек на снимке. Для этого установить курсор на измеряемую точку, найти точку в абрисе,

найти точку на снимке, подобрать подходящее увеличение изображения, установить курсор на контур, выбранный в качестве опорной точки и измерить координаты командой «Перенести или добавить измерение точки в положение маркера на всех снимках». Повторить операцию измерения координат на снимке для всех опорных точек. По окончании измерения нажать кнопку «ОК».

4. Выполнить уравнивание измерений и ориентировать снимок. Для этого на панели «Триангуляция» подать команду «Запуск модуля уравнивания». В окне «Уравнивание блока» установить «Параметры». В закладке «Точки» проверить правильность выбора системы координат, задать точность измерения точек на снимках и веса геодезических координат в плане и по высоте. В закладке «Снимки», в разделе «Настройки уравнивания» установить метод «RPC». В разделе «Параметры» установить «Автовыбор». В закладке «Отчет» принять параметры по умолчанию. Нажать кнопку «ОК».
5. Порядок уравнивания. Открыть окна «Список точек» и «Атрибуты точек». Всем опорным точкам придать статус «Опорная». Уравнять построение командой «Уравнять». Просмотреть отчет. Средние смещения точек не должны превышать размера пикселя. Необходимо отбраковать ошибочные измерения и сохранить отчет варианта уравнивания с использованием всех опорных точек и RPC.
6. Выполнить исследовательскую работу. Перевести все опорные точки в разряд контрольных, уравнять сеть с использованием лишь RPC коэффициентов. Сохранить отчет. Средние расхождения координат опорных точек сравнить с погрешностью, гарантированной операторами космических данных по точности ориентирования снимка с использованием RPC для данного типа снимков.
7. Последовательно, добавляя по одной опорной точке, выполнить уравнивание и сохранить отчеты. Сравнить результаты уравнивания, полученные во всех вариантах. Допустимые средние погрешности по расхождениям координат опорных точек и контрольных точек вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\text{оп}} &\leq 0.2 \text{ мм} \cdot M \\ \delta_{\text{кон}} &\leq 0.3 \text{ мм} \cdot M \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где  $\delta_{\text{оп}}$ ,  $\delta_{\text{кон}}$  – средние расхождения координат опорных и контрольных точек, полученные в результате уравнивания измерений;  $M$  – масштаб создаваемого плана.

В нашем случае масштаб создаваемого плана неизвестен, но известны средние расхождения координат опорных и контрольных точек, поэтому оптимальный вариант соотношения опорных и контрольных точек будем искать по вычисленному значению знаменателя масштаба плана.

$$\left. \begin{aligned} M &\geq \frac{\delta_{\text{оп}}}{0.2} \cdot 1000 \\ M &\geq \frac{\delta_{\text{кон}}}{0.3} \cdot 1000 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Из двух значений знаменателей масштабов, вычисленных для одного и того же соотношения опорных и контрольных точек для дальнейшего анализа следует выбрать максимальное, т.е. наиболее грубое значение.

Из различных вариантов уравнивания оптимальным будем считать тот, в котором выбранное значение знаменателя масштаба будет наименьшим.

### Трансформирование снимка

- 7.1. Запустить модуль «Мозаика»
- 7.2. Открыть изображение снимка командами «Изображение», «Открыть».
- 7.3. Построить область трансформирования. Для этого вызвать «Редактор областей трансформирования», Установить параметр «Трансформируемая область», отметить граничные точки курсором и клавишей Insert. Выполнить предварительный просмотр командами: «Мозаика», «Предварительный просмотр».
- 7.4. Построить фотоплан. Подать команды: «Мозаика», «Построить!». Выбрать формат RSW. Указать размещение и имя файла. Создать карту, указав ее имя. Указать название региона и файл классификатора map2000.rsc.
- 7.5. Открыть фотоплан в программе «Панорама». Оценить изобразительные качества фотоплана.

7.6. Вычислить масштаб плана, которому соответствует изображение космического снимка по своим дешифровочным свойствам. Для этого воспользуемся формулой вычисления допустимого размера пикселя на фотоплане:

$$\Delta = 0.07 \text{ мм} \cdot M \quad (12)$$

где  $\Delta$  - размер пикселя снимка в проекции на местность (м).

Для данного типа КС нам известна величина  $\Delta$ . Определим знаменатель масштаба плана, которому соответствует этот размер пикселя на снимке.

$$M = \frac{\Delta}{0.07} \cdot 1000$$

8. Ответить на вопросы:

- 8.1. Какова точность построения по RPC коэффициентам;
- 8.2. Какова точность уравнивания по опорным точкам.
- 8.3. Каково оптимальное количество опорных точек при использовании RPC коэффициентов.
- 8.4. Планам какого масштаба соответствуют погрешности ориентирования данного космического снимка.
- 8.5. Планам какого масштаба соответствуют дешифровочные свойства данного космического снимка.

#### Содержание отчета

1. Отчет о выполненной работе
2. Отчет о научно-исследовательской работе
3. Приложения

#### Основная учебная литература

1. Назаров А. С. Фотограмметрия : учеб. пособие для студентов вузов / А.С. Назаров – Мн. : ТетраСистемс, 2010. – 399 с.
2. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. Москва: Техносфера, 2006.-336 с., 12 с. цв. вклейки.
3. Чандра П.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы.-М.; Техносфера. 2008. - 274с.

#### Нормативно-правовые акты

4. *ГКИНП* (ГНТА) – 02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов / Геодезические и картографические инструкции, нормы и правила (Федеральная служба геодезии и картографии России) – М.; ЦНИИГАиК, 2002.- 100 с.

5. *ГКИНП* – 02-033-82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1: 5000, 1:2000,1:1000 и 1: 500 / Главное управление геодезии картографии при Совете Министров СССР. - М. : Недра, 1985. – 152 с.: ил.

6. *Инструкция* по топографическим съемкам в масштабах 1: 10000 и 1: 25000 / Главное управление геодезии картографии при Совете Министров СССР.- М. : Недра, 1978. – 78 с.

7. *ГОСТР 59328-2021* Аэросъемка топографическая. Технические требования: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 февраля 2021 г. № 85-ст. – Москва : Стандартинформ, 2014 - 22 с. - Текст : непосредственный.