

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ  
ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|    |                          |                                                  |
|----|--------------------------|--------------------------------------------------|
| 1. | Кафедра                  | Горного дела, наук о Земле и природообустройства |
| 2. | Направление подготовки   | 05.03.01 Геология                                |
| 3. | Направленность (профиль) | Геофизика                                        |
| 4. | Дисциплина (модуль)      | Геодезия с основами космоаэрофотосъемки          |
| 5. | Форма обучения           | очная                                            |
| 6. | Год набора               | 2021                                             |

**1. Методические рекомендации**

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой, умение создавать тексты. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях, изучения рекомендованной литературы, решения задач.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную научно-практическую и учебную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции, лабораторные занятия.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

В процессе изучения дисциплины «Геодезия с основами космоаэрофотосъемки» используются следующие методы обучения и формы организации занятий:

- лекции;
- обсуждение подготовленных студентами контрольных работ;
- консультация преподавателя;
- самостоятельная работа студентов, которая включает освоение теоретического материала, подготовку к лабораторным занятиям.

При реализации программы используются следующие образовательные технологии:

- внеаудиторная работа в форме обязательных консультаций и индивидуальных занятий со студентами (помощь в понимании тех или иных методов исследования материалов, в подготовке контрольных работ и тезисов для студенческих конференций и т.д.);

- лекционно-семинарская работа;
- командная работа;
- консультационная работа.

В качестве оценочных средств контроля знаний применяются:

- контрольные вопросы;
- устный опрос студентов;
- промежуточная аттестация;

- решение задач;
- проверка конспектов и остаточных знаний студентов;
- обсуждение подготовленных студентами контрольных и лабораторных работ, рефератов; разбор ошибок при решении контрольных и лабораторных работ.

В учебном процессе, помимо чтения лекций и аудиторных занятий, используются активные и интерактивные формы (разбор конкретных ситуаций, выполнение практических работ, обсуждение отдельных разделов дисциплины, консультации). В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

При изучении курса в рамках самостоятельных заданий используются: самостоятельное освоение отдельных вопросов теоретического курса. Как видно из приведенных учебно-методических материалов, каждая тема содержит самостоятельную работу студентов. Самостоятельная работа включает как освоение теоретического материала, так и подготовку к практическим занятиям, выполнение контрольных и лабораторных работ. Это также изучение рекомендованной литературы, выполнение рефератов, решение различных задач и другие виды самостоятельной работы.

Лабораторные занятия являются временем, в течение которого студенты приобретают практические навыки по изучаемой дисциплине. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, решении практических задач, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

### **1.1. Методические рекомендации по организации работы студентов во время проведения лекционных занятий**

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на лабораторные занятия и указания на самостоятельную работу.

Знакомство с дисциплиной происходит уже на первой лекции, где от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. При работе с конспектом лекций необходимо учитывать тот фактор, что одни лекции дают ответы на конкретные вопросы темы, другие – лишь выявляют взаимосвязи между явлениями, помогая студенту понять прохождение той или иной реакции.

Конспектирование лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы, предполагающий интенсивную умственную деятельность студента. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное и сделано это самим обучающимся. Целесообразно вначале понять основную мысль, излагаемую лектором, а затем записать ее. Желательно запись осуществлять на одной странице листа или оставляя поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, формулы, которые делает лектор, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

Целесообразно разработать собственную систему сокращений, аббревиатур и символов. Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

## **1.2. Методические рекомендации по подготовке и оформлению реферата**

Реферат – письменная работа объемом 12-15 печатных страниц, выполняемая студентом в течение от одной недели до месяца. Реферат – краткое точное изложение сущности какого-либо вопроса, темы на основе одной или нескольких книг, монографий или других первоисточников. Реферат должен содержать основные фактические сведения и выводы по рассматриваемому вопросу.

Реферат отвечает на вопрос – что содержится в данной публикации (публикациях). Однако реферат – не механический пересказ работы, а изложение ее сущности. В настоящее время, помимо реферирования прочитанной литературы, от студента требуется аргументированное изложение собственных мыслей по рассматриваемому вопросу. Тему реферата предложить преподаватель или сам студент, в последнем случае она должна быть согласована с преподавателем.

В реферате нужны развернутые аргументы, рассуждения, сравнения. Материал подается не столько в развитии, сколько в форме констатации или описания. Содержание реферируемого произведения излагается объективно от имени автора. Если в первичном документе главная мысль сформулирована недостаточно четко, в реферате она должна быть конкретизирована и выделена. Функции реферата:

- информативная (ознакомительная);
- поисковая; справочная;
- сигнальная;
- индикативная;
- адресная коммуникативная.

Степень выполнения этих функций зависит от содержательных и формальных качеств реферата, а также от того, кто и для каких целей их использует.

Требования к языку реферата: он должен отличаться точностью, краткостью, ясностью и простотой. Структура реферата:

- Титульный лист (см. образец ниже).
- Содержание, в котором указаны названия всех разделов реферата и номера страниц, указывающие начало этих разделов в тексте реферата;
- Введение. Объем введения составляет 1-1.5 страницы.
- Основная часть реферата может иметь одну или несколько глав, состоящих из 2-3 параграфов (подпунктов, разделов) и предполагает осмысленное и логичное изложение главных положений и идей, содержащихся в изученной литературе. В тексте обязательны ссылки на первоисточники. В том случае если цитируется или используется чья-либо неординарная мысль, идея, вывод, приводится какой-либо цифрой материал, таблицу – обязательно сделайте ссылку на того автора у кого вы взяли данный материал.
- Заключение содержит главные выводы, и итоги из текста основной части, в нем отмечается, как выполнены задачи и достигнуты ли цели, сформулированные во введении.
- Приложение может включать графики, таблицы, расчеты.
- Список литературы. Здесь указывается реально использованная для написания реферата литература. Список составляется согласно правилам библиографического описания. Библиографический список составляется в алфавитном порядке или в порядке упоминания источника. Список использованных источников должен быть составлен единообразно. Каждый источник отражается в списке в порядке его упоминания в тексте арабскими цифрами.

Правила технического оформления текста отчета подробно изложены в методических указаниях по подготовке и оформлению рефератов для студентов, обучающихся по: направлению подготовки 05.03.01 Геология профиль Геофизика (квалификация «бакалавр»); сост. Е.Б. Бекетова.

### **1.3 Методические рекомендации по работе с литературой.**

Работу с литературой целесообразно начать с изучения общих работ по теме, а также учебников и учебных пособий. Далее рекомендуется перейти к анализу монографий и статей, рассматривающих отдельные аспекты проблем, изучаемых в рамках курса, а также официальных материалов и неопубликованных документов (научно-исследовательские работы, диссертации), в которых могут содержаться основные вопросы изучаемой проблемы.

Работу с источниками надо начинать с ознакомительного чтения, т.е. просмотреть текст, выделяя его структурные единицы. При ознакомительном чтении закладками отмечаются те страницы, которые требуют более внимательного изучения.

В зависимости от результатов ознакомительного чтения выбирается дальнейший способ работы с источником. Если для разрешения поставленной задачи требуется изучение некоторых фрагментов текста, то используется метод выборочного чтения. Если в книге нет подробного оглавления, следует обратить внимание ученика на предметные и именные указатели.

Избранные фрагменты или весь текст (если он целиком имеет отношение к теме) требуют вдумчивого, неторопливого чтения с «мысленной проработкой» материала. Такое чтение предполагает выделение: 1) главного в тексте; 2) основных аргументов; 3) выводов. Особое внимание следует обратить на то, вытекает тезис из аргументов или нет.

Необходимо также проанализировать, какие из утверждений автора носят проблематичный, гипотетический характер и уловить скрытые вопросы.

Понятно, что умение таким образом работать с текстом приходит далеко не сразу. Наилучший способ научиться выделять главное в тексте, улавливать проблематичный характер утверждений, давать оценку авторской позиции – это сравнительное чтение, в ходе которого студент знакомится с различными мнениями по одному и тому же вопросу, сравнивает весомость и доказательность аргументов сторон и делает вывод о наибольшей убедительности той или иной позиции.

Если в литературе встречаются разные точки зрения по тому или иному вопросу из-за сложности прошедших событий и правовых явлений, нельзя их отвергать, не разобравшись. При наличии расхождений между авторами необходимо найти рациональное зерно у каждого из них, что позволит глубже усвоить предмет изучения и более критично оценивать изучаемые вопросы. Знакомясь с особыми позициями авторов, нужно определять их схожие суждения, аргументы, выводы, а затем сравнивать их между собой и применять из них ту, которая более убедительна.

Следующим этапом работы с литературными источниками является создание конспектов, фиксирующих основные тезисы и аргументы. Можно делать записи на отдельных листах, которые потом легко систематизировать по отдельным темам изучаемого курса. Другой способ – это ведение тематических тетрадей-конспектов по одной какой-либо теме. Большие специальные работы монографического характера целесообразно конспектировать в отдельных тетрадях. Здесь важно вспомнить, что конспекты пишутся на одной стороне листа, с полями и достаточным для исправления и ремарок межстрочным расстоянием (эти правила соблюдаются для удобства редактирования). Если в конспектах приводятся цитаты, то непременно должно быть дано указание на источник (автор, название, выходные данные, № страницы). Впоследствии эта информация может быть использована при написании текста реферата или другого задания.

Таким образом, при работе с источниками и литературой важно уметь:

- сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать информацию в соответствии с определенной учебной задачей;
- обобщать полученную информацию, оценивать прослушанное и прочитанное;
- фиксировать основное содержание сообщений; формулировать, устно и письменно, основную идею сообщения; составлять план, формулировать тезисы;
- готовить и презентовать развернутые сообщения типа доклада;
- работать в разных режимах (индивидуально, в паре, в группе), взаимодействуя друг с другом;
- пользоваться реферативными и справочными материалами;
- контролировать свои действия и действия своих товарищей, объективно оценивать свои действия;
- обращаться за помощью, дополнительными разъяснениями к преподавателю, другим студентам.
- пользоваться лингвистической или контекстуальной догадкой, словарями различного характера, различного рода подсказками, опорами в тексте (ключевые слова, структура текста, предваряющая информация и др.);
- использовать при говорении и письме перифраз, синонимичные средства, слова-описания общих понятий, разъяснения, примеры, толкования, «словотворчество»;
- повторять или перефразировать реплику собеседника в подтверждении понимания его высказывания или вопроса;
- обратиться за помощью к собеседнику (уточнить вопрос, переспросить и др.);
- использовать мимику, жесты (вообще и в тех случаях, когда языковых средств не хватает для выражения тех или иных коммуникативных намерений).

#### **1.4 Методические рекомендации по подготовке к зачету**

Подготовка к зачету способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к зачету, обучающийся ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На зачете обучающийся демонстрирует то, что он приобрел в процессе изучения дисциплины.

В условиях применяемой в МАГУ балльно-рейтинговой системы подготовка к зачету включает в себя самостоятельную и аудиторную работу обучающегося в течение всего периода изучения дисциплины и непосредственную подготовку в дни, предшествующие зачету по разделам и темам дисциплины.

При подготовке к зачету обучающимся целесообразно использовать не только материалы лекций, а и рекомендованную преподавателем дополнительную литературу.

При подготовке к промежуточной аттестации целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

#### **1.5 Методические рекомендации по созданию презентации**

Алгоритм создания презентации:

- 1 этап – определение цели презентации
- 2 этап – подробное раскрытие информации,
- 3 этап – основные тезисы, выводы.

Следует использовать 10-15 слайдов. При этом:

- первый слайд – титульный. Предназначен для размещения названия презентации, имени докладчика и его контактной информации;
  - на втором слайде необходимо разместить содержание презентации, а также краткое описание основных вопросов;
  - оставшиеся слайды имеют информативный характер.
- Обычно подача информации осуществляется по плану:  
тезис – аргументация – вывод.

#### **Основные требования к оформлению и представлению презентации:**

1. Читабельность (видимость из самых дальних уголков помещения и с различных устройств), текст должен быть набран 24-30-ым шрифтом.
2. Тщательно структурированная информация.
3. Наличие коротких и лаконичных заголовков, маркированных и нумерованных списков.
4. Каждому положению (идее) надо отвести отдельный абзац.
5. Главную идею надо выложить в первой строке абзаца.
6. Использовать табличные формы представления информации (диаграммы, схемы) для иллюстрации важнейших фактов, что даст возможность подать материал компактно и наглядно.
7. Графика должна органично дополнять текст.
8. Выступление с презентацией длится не более 10 минут.

#### **1.6 Методические рекомендации по подготовке доклада**

Алгоритм создания доклада:

- 1 этап – определение темы доклада
- 2 этап – определение цели доклада
- 3 этап – подробное раскрытие информации
- 4 этап – формулирование основных тезисов и выводов.

#### **1.7 Методические рекомендации по составлению глоссария**

1. Внимательно прочитайте и ознакомьтесь с текстом. Вы встретите в нем много различных терминов, которые имеются по данной теме.

2. После того, как вы определили наиболее часто встречающиеся термины, вы должны составить из них список. Слова в этом списке должны быть расположены в строго алфавитном порядке, так как глоссарий представляет собой не что иное, как словарь специализированных терминов.

3. После этого начинается работа по составлению статей глоссария. Статья глоссария - это определение термина. Она состоит из двух частей: 1) точная формулировка термина в именительном падеже; 2) содержательная часть, объемно раскрывающая смысл данного термина.

При составлении глоссария важно придерживаться следующих правил:

- стремитесь к максимальной точности и достоверности информации;
- старайтесь указывать корректные научные термины и избегать всякого рода жаргонизмов. В случае употребления такового, дайте ему краткое и понятное пояснение;
- излагая несколько точек зрения в статье по поводу спорного вопроса, не принимайте ни одну из указанных позиций. Глоссарий - это всего лишь констатация имеющихся фактов;
- также не забывайте приводить в пример контекст, в котором может употребляться данный термин;
- при желании в глоссарий можно включить не только отдельные слова и термины, но и целые фразы.

### 1.8 Методические рекомендации для занятий в интерактивной форме

В учебном процессе, помимо чтения лекций и аудиторных занятий, используются интерактивные формы (разбор конкретных ситуаций как для иллюстрации той или иной теоретической модели, так и в целях выработки навыков применения теории при анализе реальных экономических проблем, обсуждение отдельных разделов дисциплины, консультации). В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

Интерактивное обучение представляет собой способ познания, осуществляемый в формах совместной деятельности обучающихся, т.е. все участники образовательного процесса взаимодействуют друг с другом, совместно решают поставленные проблемы, моделируют ситуации, обмениваются информацией, оценивают действие коллег и свое собственное поведение, погружаются в реальную атмосферу делового сотрудничества по разрешению проблем.

В курсе изучаемой дисциплины «Геодезия с основами космозръемки» в интерактивной форме часы используются в виде: устных опросов, групповых дискуссий, заслушивания и обсуждения, подготовленных студентами лабораторных и контрольных работ, докладов и рефератов по тематике дисциплины.

#### Тематика занятий с использованием интерактивных форм

| № п/п         | Тема                                                               | Интерактивная форма                                                       | Часы, отводимые на интерактивные формы |
|---------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|               |                                                                    |                                                                           | Лабораторные занятия                   |
| 1.            | <i>Введение.</i>                                                   | Устный опрос на понимание терминов                                        | 1                                      |
| 2.            | <i>Геодезические работы на местности.</i>                          | Реферат.<br>Групповая дискуссия.<br>Решение задач на лабораторных работах | 1                                      |
| 3.            | <i>Применяемые системы координат в геодезии.</i>                   | Контрольная работа №1.<br>Решение задач на лабораторных работах           | 1                                      |
| 4.            | <i>Картографические изображения местности.</i>                     | Контрольная работа №2.<br>Решение задач на лабораторных работах           | 2                                      |
| 5.            | <i>Фотографирование местности в топографо-геодезических целях.</i> | Доклад с презентацией.<br>Групповая дискуссия.                            | 2                                      |
| 6.            | <i>Топографические карты.</i>                                      | Контрольная работа №3.<br>Групповая дискуссия.                            | 1                                      |
| <b>Итого:</b> |                                                                    |                                                                           | <b>8 часов</b>                         |

### 1.9 Методические рекомендации по проведению групповых дискуссий

Во время проведения групповых дискуссий осуществляется разбор конкретных ситуаций, нарабатываются навыки применения теории при решении реальных геологических проблем, обсуждение наиболее актуальных разделов дисциплины. В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся. Существенная роль отводится консультациям, которые преподаватель проводит со студентами, как во время аудиторных занятий, так и во внеурочное время.

Групповая дискуссия – это особая форма занятий, представляющая собой оригинальный способ познания истины. Дискуссия реализуется, как правило, на равноправных началах в виде совместной работы и преподавателя, и обучающихся, причём приоритет отдаётся коллективу студенческой группы. Все участники образовательного процесса взаимодействуют друг с другом, совместно решают поставленные проблемы, моделируют ситуации, обмениваются информацией, оценивают действие коллег и свое собственное поведение, погружаются в реальную атмосферу делового сотрудничества по разрешению проблем.

На таких занятиях нередко используются уже проверенные многолетней практикой такие образовательные технологии и формы, как:

- лекция с элементами направляемой дискуссии, постановкой проблем, использованием электронных презентаций, методов провокации;
- мозговой штурм;
- работа в малых группах;
- демонстрация видеофильмов;
- комментирование научных статей;
- подготовка обзора научной литературы по теме;
- составление рецензии на научную работу (статью);
- комментирование ответов студентов;
- творческие задания;
- решение задач;
- анализ конкретных ситуаций;
- составление резюме;
- «круглый стол»;
- составление таблиц и схем;
- тестирование;
- ролевая игра
- встречи с учеными КНЦ РАН, обладающими высокой квалификацией.

В качестве оценочных средств контроля знаний применяются:

- контрольные вопросы;
- тесты;
- устный опрос студентов;
- промежуточная аттестация;
- решение практических задач;
- проверка конспектов и остаточных знаний студентов;
- обсуждение подготовленных студентами расчетно-графических, контрольных и курсовых работ и рефератов; разбор ошибок при их выполнении.

В курсе изучаемой дисциплины «Геология» в форме групповой дискуссии заслушиваются также доклады с презентациями и рефераты по тематике дисциплины, затрагивающие актуальные проблемы в области открытия новых рудных объектов, их последующей разработки, а также обогащения руд. Самые интересные работы предлагаются для сообщения на студенческих научно-практических конференциях. При этом основной акцент делается на качественную подготовку студента к выступлению на конференции. Студент должен легко ориентироваться в обсуждаемой проблеме, грамотно высказывать и обосновывать свои суждения, профессионально владеть терминологией, осознанно применять теоретические знания. Материал доклада должен излагаться логично, грамотно и без ошибок. Студент должен демонстрировать в своём сообщении наглядную связь теории с практикой.

#### **1.10 Методические рекомендации по подготовке к занятиям по лабораторным и контрольным работам**

Подготовку к каждому занятию студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке текущего материала лекции, а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме. Все новые понятия и определения по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, его выступлении и участии в



коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении лабораторных заданий.

В процессе подготовки к лабораторным занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

Контрольные работы подводят итог изучению отдельных разделов дисциплины. Самостоятельная работа студента предполагает кропотливую работу с научной и учебно-методической литературой. Особое внимание предлагается обратить на следующие учебные пособия:

1. Кусов, В.С. Основы геодезии, картографии и космоаэро съемки. Учебное пособие / В.С. Кусов. - М.: Академия, 2009. - 256 с.
2. Лыткин, В.А. Структурная геология: практические занятия. Учебное пособие / В.А. Лыткин. – Апатиты: Изд. КФ ПетрГУ, 2010. – 78 с.
3. Лыткин, В.А. Геологическая практика. Учебно-методическое пособие / В.А. Лыткин, Ю.Н. Нерадовский. – Апатиты: Изд. КФ ПетрГУ, 2010. – 78 с.
4. Судариков, В.Н. Основы аэрокосмофото съемки: учебное пособие / В.Н. Судариков, О.Н. Калинина. - Оренбург: ОГУ, 2013. - 191 с. - [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.biblio-online.ru/book/4628BB2E-7D89-43BA-8ED4-C6FE27B53FB3>.

Структура КР заданий отвечает структуре рассматриваемой дисциплины. КР выполняются по следующим темам:

Контрольная работа № 1 по теме 3: «Применение системы координат в геодезии».

Контрольная работа № 2 по теме 4: «Картографические изображения местности».

Контрольная работа № 3 по теме 6: «Топографические карты».

При подготовке к практическому занятию студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

### **1.11 Методические рекомендации по выполнению курсовых работ.**

Выполнение курсовой работы учебным планом не предусмотрено.

## **2. Планы лабораторных занятий**

Ниже приводится примерный перечень тем занятий, которые будут проводиться на кафедре в лаборатории геодезии и маркшейдерии.

### **Темы занятий на лабораторных работах**

| № занятия | Темы лабораторных занятий                                                           | Кол-во часов |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1         | Ознакомительные работы с геодезическими инструментами на примере изучения нивелира. | 2            |
| 2         | Единицы и технические средства измерения углов.                                     | 2            |
| 3         | Геодезические измерения углов.                                                      | 4            |
| 4         | Измерения длин линий мерными приборами.                                             | 4            |
| 5         | Тахеометрическая съемка.                                                            | 4            |

| № занятия     | Темы лабораторных занятий                                                                  | Кол-во часов |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 6             | Изучение топографической карты: масштабный ряд, разграфка, номенклатура, условные знаки.   | 4            |
| 7             | Определение по карте площадей с помощью планиметра и палетки.                              | 3            |
| 8             | Технические средства аэрофотосъемки для целей картографирования.                           | 7            |
| 9             | Совершенствование топокарт. Понятие о фотокартах и географических информационных системах. | 2            |
| <b>Итого:</b> |                                                                                            | <b>32</b>    |

### **Лабораторные занятия**

#### **Занятие 1. Ознакомительные работы с геодезическими инструментами на примере изучения нивелира.**

Получение качественной информации о высотах точек местности или о их разностях – превышениях – называется *нивелированием*. Существует несколько видов нивелирования, прежде всего геометрическое и тригонометрическое, требующие наличия прямой видимости между измеряемыми точками: по горизонтально расположенному лучу визирования для геометрического нивелирования и по наклонному - для тригонометрического.

#### **Техническое оснащение для выполнения высотной съемки**

Для выполнения полевых работ необходимы следующие приборы и принадлежности: нивелир, штатив, две рейки, деревянные колышки для закрепления точек на местности, молоток, журналы нивелирования и рабочая тетрадь.

В комплект необходимого оборудования в первую очередь входят инструмент на штативе (нивелир) и нивелирные рейки, обычная длина которых от 3 до 5 м. Такой же должна быть величина максимального превышения, измеряемого с одной постановки инструмента – одной станции. Расстояние от нивелира до реек называется нивелирным плечом. Требования точности ограничивают величину нивелирных плеч в пределах 100-150 м. С одной станции можно передать превышение не далее чем на 200-300 м. Для передачи высот на значительные расстояния применяется методика так называемого последовательного нивелирования (нивелирного хода), заключающаяся в многократных установках инструмента для измерения сравнительно небольших ступеней – превышений с последующим их суммированием (см. рис.1 и 2).

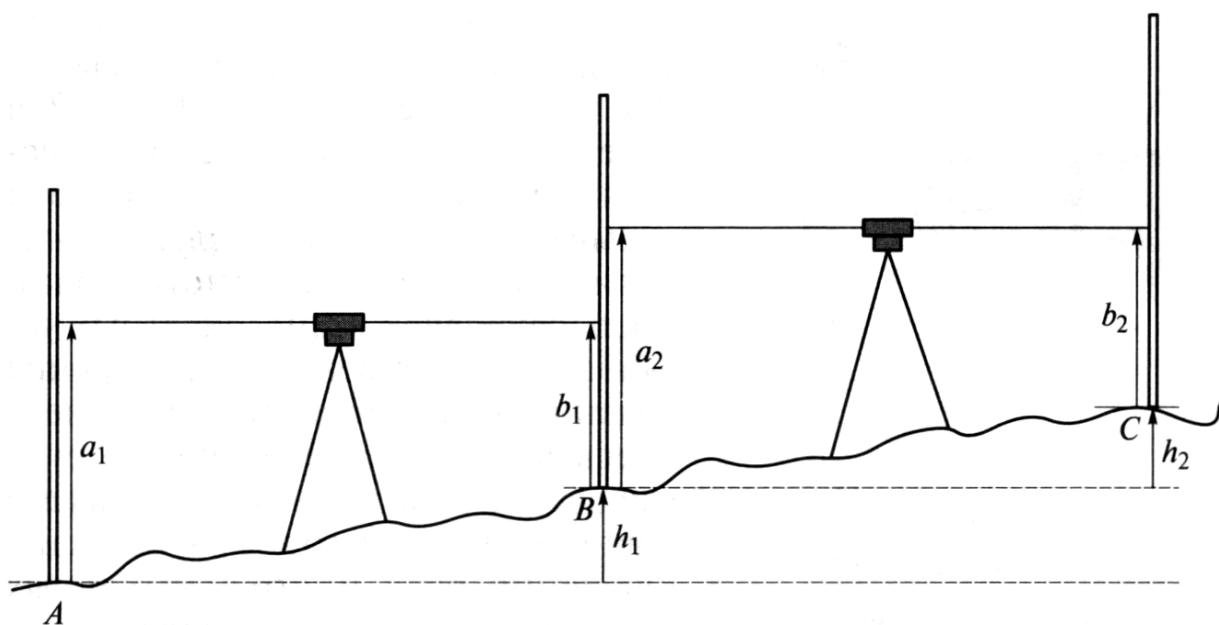


Рис. 1. Геометрическое нивелирование.

На рисунке 2 показаны две станции нивелирного хода. Нивелиры по возможности устанавливаются на равных расстояниях от реек, но совсем не обязательно устанавливать нивелир в створе реек.

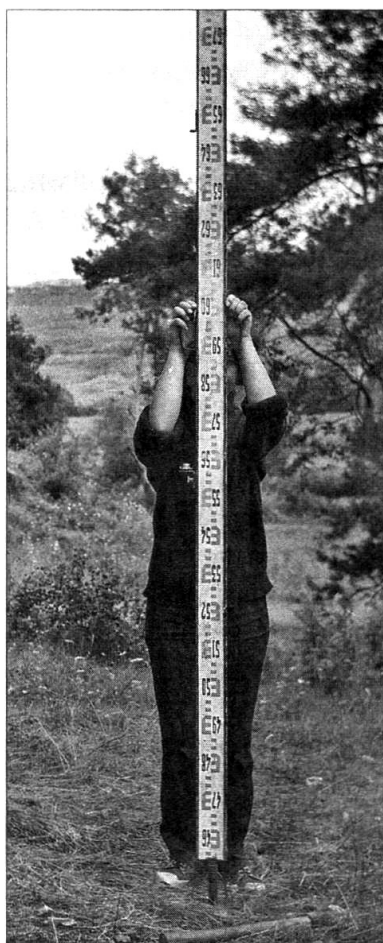


Рис. 2. Установка рейки при измерениях.

## Устройство нивелира и реек



Рис. 3. Нивелир с компенсатором серии АТ.

## Технические характеристики нивелиров серии АТ

Таблица 1

| Параметр \ Модель                                                                                         | АТ-20К                                     | АТ-24К           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| Допускаемое СКО измерения превышения на 1 км двойного хода при длине визирного луча:<br>• 25 м<br>• 100 м | 2,5 мм<br>5,0 мм                           | 2,0 мм<br>5,0 мм |
| Изображение                                                                                               | прямое                                     | прямое           |
| Увеличение                                                                                                | 20 <sup>x</sup>                            | 24 <sup>x</sup>  |
| Диаметр объектива                                                                                         | 30 мм                                      | 30 мм            |
| Угловое поле зрения                                                                                       | 1°20'                                      | 1°20'            |
| Минимальное расстояние визирования                                                                        | 0,6 м                                      | 0,6 м            |
| Коэффициент нитяного дальномера                                                                           | 100                                        | 100              |
| Значение постоянного слагаемого нитяного дальномера                                                       | 0 м                                        | 0 м              |
| Цена деления круглого уровня                                                                              | 8'/2 мм                                    | 8'/2 мм          |
| Цена деления горизонтального лимба                                                                        | 1°                                         | 1°               |
| Тип компенсатора                                                                                          | V-образный подвесной с магнитным демпфером |                  |
| Рабочий диапазон компенсатора                                                                             | ±15'                                       | ±15'             |
| Допускаемая СКО установки линии визирования                                                               | 0,5"                                       | 0,5"             |
| Размеры                                                                                                   | 190 x 128 x 123 (мм) <sup>3</sup>          |                  |
| Вес                                                                                                       | 1,22 кг                                    | 1,22 кг          |
| Отверстие для станového винта                                                                             | 5/8"                                       | 5/8"             |
| Рабочий диапазон температур                                                                               | от -40°C до 50°C                           |                  |

Главный элемент прибора – зрительная труба с объективом и окуляром. С помощью кремальеры (см. рис. 3) осуществляют фокусировку зрительной трубы. Для приближенного наведения зрительной трубы на рейку используют мушку (визир), расположенную на верхней части трубы непосредственно над окуляром. Нивелир с компенсатором обеспечивает автоматическую установку линии визирования в

горизонтальное положение в пределах угла компенсации  $\pm 15'$ , что достигается предварительной установкой прибора по круглому уровню с помощью подъемных винтов.

В таблице 1 приводится техническая характеристика нивелиров серии АТ.

При внешнем осмотре прибора должно быть установлено соответствие нивелира следующим требованиям:

- отсутствие механических повреждений, коррозии и других дефектов;
- наличие маркировки и комплектности;
- оптические системы должны иметь чистое и равномерно освещенное поле зрения.

## I. Работа с прибором

### 1. Установка прибора и горизонтирование

а) Установите необходимую высоту штатива и, выдерживая приблизительно горизонтальное положение площадки штатива, вдавите ножки штатива в землю. Используя становой винт, плотно закрепите нивелир на штативе (см. рис. 4)

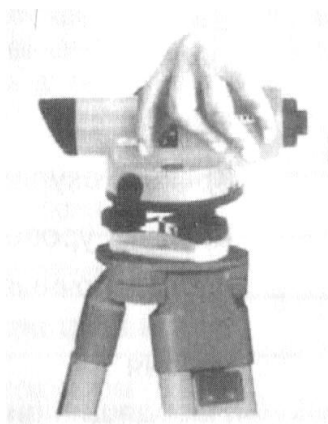


Рисунок 4.

б) Подъемными винтами А, В, С установите пузырек в центр (см. рис. 5).

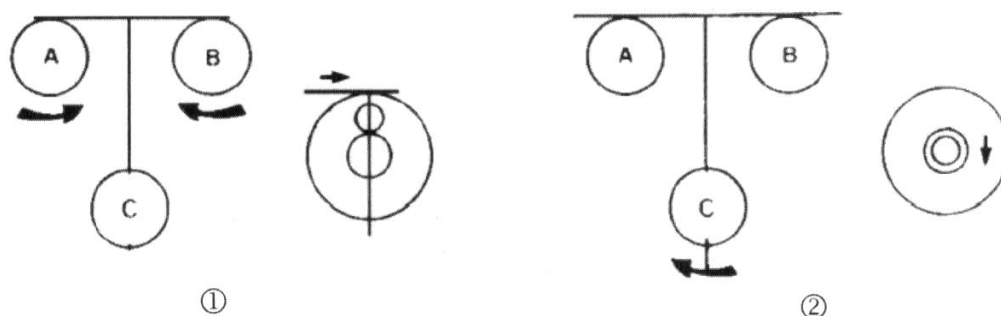


Рисунок 5.

в) Одновременным вращением винтов А и В переместите пузырек вправо (рис. 5).

г) Вращением винта С переместите пузырек назад (рис. 5).

### 2. Наведение и фокусирование

а) Сетка нитей: Наведите зрительную трубу на яркую поверхность или на рейку, используя прицел. Вращая окуляр, добейтесь четкого и яркого изображения сетки.



б) Наведение: Вращайте кремальеру вперед для фокусировки на рейку, стоящую дальше, или назад для фокусировки на рейку, расположенную ближе, до тех пор, пока не появится отчетливое изображение. Вращением винта горизонтального наведения, расположите изображение рейки в центре поля зрения.

### 3. Измерения

Рисунок 6.

а) Превышение: После наведения на рейку снимите отсчет по средней нити, как показано на рисунке 6. (Отсчет равен 1.195 м).

б) Расстояние: Возьмите отсчет по верхней и нижней дальномерным нитям и расстояние между прибором и рейкой будет следующим: (отсчет по верхней нити минус отсчет по нижней нити)  $\times 100$ , и как показано на рис. 6:  $(1.352 \text{ м} - 1.038 \text{ м}) \times 100 = 31.4 \text{ м}$ .

в) Угол: Наведите вертикальную нить сетки нитей на цель А и возьмите отсчет угла  $\alpha$  на лимбе. Наведите на цель В и возьмите отсчет угла  $\beta$  на лимбе (см. рис. 7). Угол между А и В будет равен  $\alpha - \beta$ .

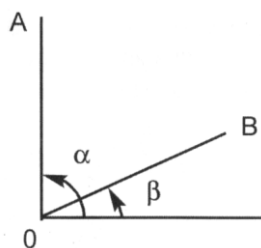


Рисунок 7.

## Занятие 2. Единицы и технические средства измерения углов

При геодезических измерениях обычно имеют дело с двумя видами углов (см. рис. 8) — горизонтальными  $\beta$  и вертикальными  $\nu$ , соответственно лежащими в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На рисунке 8 видно, что горизонтальные углы могут принимать значения в диапазоне  $0 - 2\pi$ , вертикальные углы, или углы наклона, отсчитываемые от плоскости горизонта до направления на цель, существуют в диапазоне от 0 до  $\pm\pi/2$  (знак «+» или «-» в зависимости от высоты цели относительно горизонта точки стояния). В некоторых специальных разделах геодезии и геофизики вместо вертикальных углов пользуются смежными с ним углами — зенитным расстоянием (угол  $z$  на рис. 8) или зенитным углом (угол между отвесной линией и направлением на цель).

Формально основной единицей измерения плоского угла является радиан (рад), однако на практике наиболее распространены внесистемные единицы: градус ( $\pi:180$  рад) и град ( $\pi:200$  рад). Градусную, или шестидесятиричную, систему ( $1^\circ = 60'$ ,  $1' = 60''$ ) постепенно вытесняет градовая, или десятичная, система (1 град = 100 градовых минут, или сантиградов, 1 градовая минута = 100 градовых секунд, или сантисантиградов). В некоторых специальных разделах измерения углов применяется так называемая тысячная система ( $360^\circ = 6000$ , значение обычно записывается в форме пары двухзначных чисел, например 12 — 33 тысячных или 12 — 33 делений угломера, в англоязычных текстах

единица обозначается mils, в отличие от miles — мили), а также система в единицах времени ( $24^h = 360^\circ$ ,  $1^h = 15^\circ$ ,  $1^m = 15'$ ,  $1^s = 15''$ ).

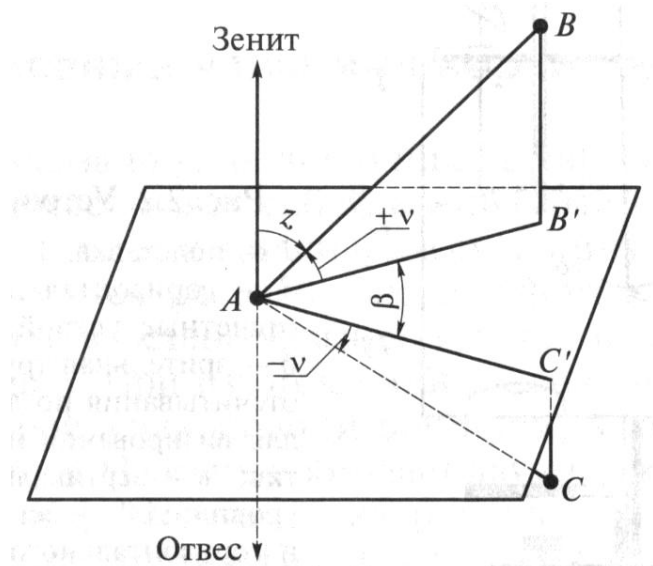


Рис. 8. Основные физические величины, измеряемые в геодезии.

На рисунке 8 изображены и остальные важнейшие физические величины, измеряемые в геодезии: отрезок  $AB$  — расстояние, в общем случае это наклонная дальность; отрезок  $AB'$  — проекция  $AB$  на плоскость горизонта — называется горизонтальным проложением; отрезки отвесных линий  $BB'$  и  $CC'$  называют превышениями.

Основным техническим средством измерения углов является *теодолит*. Согласно государственному стандарту ГОСТ 10529 — 96 в России предусматривается выпуск шести типов теодолитов: Т1, Т2, Т5, Т15, Т30 и Т60 («Т» — теодолит, цифры обозначают величину средней квадратической погрешности однократного измерения горизонтального угла в лабораторных условиях). Разработанный в начале 1960-х гг. принцип обозначения теодолитов претерпел некоторое развитие. Обозначение теодолита, изготовленного в настоящее время, имеет иной вид, например 4Т15МКП, где первая цифра — номер модификации (в заводской терминологии номер «поколения»); буква «М» означает «в маркшейдерском исполнении» (для работ в шахтах, тоннелях и на других объектах, где нужна искробезопасная подсветка); буква «К» говорит о наличии компенсатора (устройство в виде маятника, позволяющее автоматически устанавливать отсчетный индекс вертикального круга в нужное положение); буква «П» — труба с прямым изображением. Кроме того, в обозначении типов теодолитов могут быть буквы «А» («теодолит с автоколлимационным окуляром» — для визирования на близкие цели) и «Э» («теодолит электронный» — с автоматической регистрацией отсчетов, ранее такие теодолиты называли «кодовыми»).

### Занятие 3. Геодезические измерения углов.

Теодолит — один из самых массовых геодезических инструментов. В разных странах выпускается множество его модификаций, но схема всех конструкций одинакова. Любой теодолит состоит из следующих основных узлов (рис. 9, 10): подставка 1 с тремя подъемными винтами 2, которые служат для установки теодолита в рабочее положение в пространстве (подставку иногда называют трегером, в некоторых заводских описаниях — «низком»); горизонтальный (3) и вертикальный (10) стеклянные диски (лимбы, или круги) с делениями, предназначенные для измерения углов, горизонтальный круг может вращаться

вокруг линии  $AA'$ ; алидада 5, вращающаяся независимо от лимба вокруг линии  $AA'$ , — торсионное устройство, на котором размещены все остальные узлы теодолита, — зрительная труба 6, жестко скрепленная с вертикальным кругом, отсчетные устройства 4 и 12, уровни 11, 13. Большинство теодолитов снабжается двумя цилиндрическими уровнями. Уровень 13 присутствует во всех типах теодолитов, именно он служит индикатором для установки инструмента с помощью подъемных винтов в рабочее положение (соответствует установке линии  $AA'$  в отвесное положение). Уровень 11 может быть заменен компенсатором или совсем отсутствовать в теодолитах технической точности (согласно ГОСТ 10529 — 96 все теодолиты делятся на высокоточные, точные и технические). Труба 6 имеет один объектив 9 и два окуляра: 8 — для визирования на цель, 7 — для отсчитывания по лимбам.

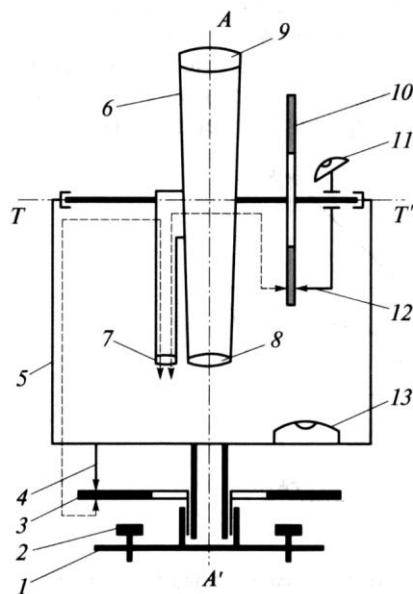


Рис. 9. Устройство теодолита:

1 — подставка; 2 — подъемный винт; 3 — горизонтальный лимб; 4, 12 — отсчетные устройства; 5 — алидада; 6 — зрительная труба; 7 — окуляр для отсчитывания по лимбам; 8 — окуляр для визирования на цель; 9 — объектив; 10 — вертикальный лимб; 11, 13 — уровни;  $AA'$  — ось вращения алидады и горизонтального лимба;  $TT'$  — ось вращения зрительной трубы и вертикального лимба.





### Основные узлы и проверки теодолита

На рис. 11 показано устройство цилиндрического уровня, ампула которого представляет собой стеклянный сосуд с внешней поверхностью, близкой к цилиндрической. Внутренняя поверхность уровня является рабочей, она шлифуется и должна быть тороидальной, или веретенообразной (стенки в центральной части ампулы тоньше). При изготовлении уровня ампула полностью заполняется особой жидкостью (изооктаном) в разогретом состоянии и запаивается. Изооктан обладает двумя важными свойствами: большим коэффициентом температурного расширения и отсутствием «прилипчивости». После остывания жидкость в запаянной ампуле сжимается и образуется некоторое пространство, заполненное ее парами, — «пузырек». При колебаниях ампулы жидкость под действием силы тяжести перемещается, что можно наблюдать по движению пузырька. На наружной поверхности ампулы нанесена шкала (цена деления 2 мм) или, точнее, два симметричных участка шкалы с небольшим промежутком (около 1 см). Середина этого промежутка — важная математическая точка уровня, его нульпункт. Касательная к внутренней поверхности ампулы под точкой нульпункта, параллельная продольной оси ампулы, называется осью цилиндрического уровня (линия  $U_{\text{ц}}U'_{\text{ц}}$  на рис. 11).

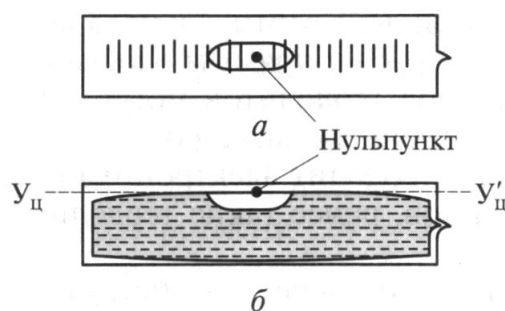


Рис. 11. Устройство цилиндрического уровня:  
а — вид сверху; б — вид сбоку;  $U_{\text{ц}}U'_{\text{ц}}$  — ось цилиндрического уровня

Когда пузырек уровня установлен на середине, т.е. его края симметричны относительно нульпункта, ось уровня горизонтальна. Важнейшая числовая характеристика уровня — его чувствительность, которая выражается в угловой мере. Чувствительность уровня — это угол, на который следует наклонить ампулу, чтобы пузырек переместился на одно деление. Промышленностью выпускаются цилиндрические уровни с чувствительностью от 1" до 1,5'. В зависимости от требований к точности установки в пространстве теодолита или другого геодезического инструмента выбирают уровень соответствующей чувствительности.

Для предварительной установки в рабочее положение некоторые геодезические инструменты снабжаются круглыми уровнями сравнительно невысокой чувствительности (см. рис. 12). В ампуле круглого уровня шлифуется не внутренняя боковая поверхность, а крышка, которой придается сферическая форма. На наружной поверхности крышки наносятся два concentric rings с зазором 2 мм, центр колец — нульпункт круглого уровня. Нормаль к сфере, проходящая через нульпункт, является осью круглого уровня. Когда края пузырька занимают симметричное положение относительно колец, ось круглого уровня вертикальна.

Для наведения на визирные цели теодолит снабжен зрительной трубой, устройство которой показано на рис. 13. Все трубы современных геодезических инструментов имеют систему так называемой внутренней фокусировки. Их объективы состоят из двух частей: неподвижной 1 и подвижной (внутренней) 2, которая перемещается для достижения

оптического сопряжения воздушного изображения объекта-цели с плоскостью сетки нитей 3. Оптическое сопряжение сетчатки глаза с плоскостью сетки нитей достигается перемещением окуляра 4 относительно сетки. Эта операция — фокусировка сетки (ФС), или «фокусировка по глазу» — всегда выполняется прежде фокусировки цели (ФЦ), осуществляемой путем перемещения второй части объектива. Линия  $BB'$ , соединяющая центр сетки и оптический центр объектива, называется осью зрительной трубы.

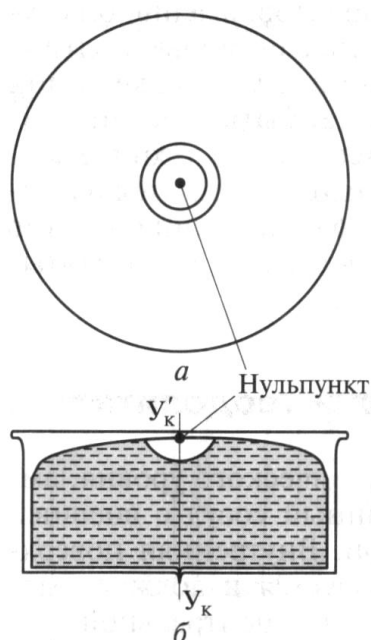


Рис. 12. Устройство круглого уровня:  
 $a$  — вид сверху;  $b$  — вид сбоку;  $у'у'_к$  — ось круглого уровня.

Фокусирование по глазу удобнее осуществить, наведя трубу на светлый фон. Не отрывая глаза от окуляра, перемещают его относительно сетки путем вращения оправы окуляра (диоптрийного кольца) до тех пор, пока не появится отчетливое изображение штрихов сетки. Сетка нитей представляет собой стеклянную пластинку с награвированными штрихами (их толщина около 5 мкм). Средняя горизонтальная нить сетки выполнена в виде двух длинных штрихов, одна из половин вертикальной нити — в виде двух параллельных близко расположенных штрихов («биссектор»). При измерении горизонтальных углов визируют на цель биссектором, т.е. вводят цель в узкий промежуток между двумя параллельными штрихами ближе к центру поля зрения трубы. При измерении вертикальных углов пользуются штрихами средней горизонтальной нити. Два коротких штриха, нанесенные симметрично относительно средней нити, называются верхним и нижним дальномерными штрихами, они используются при измерениях расстояний.

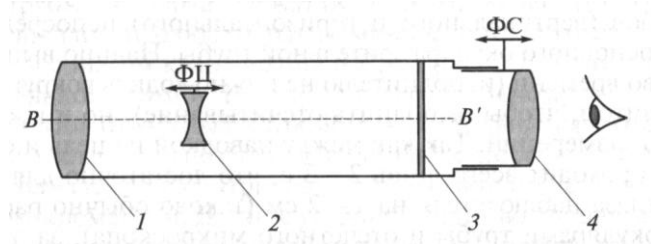
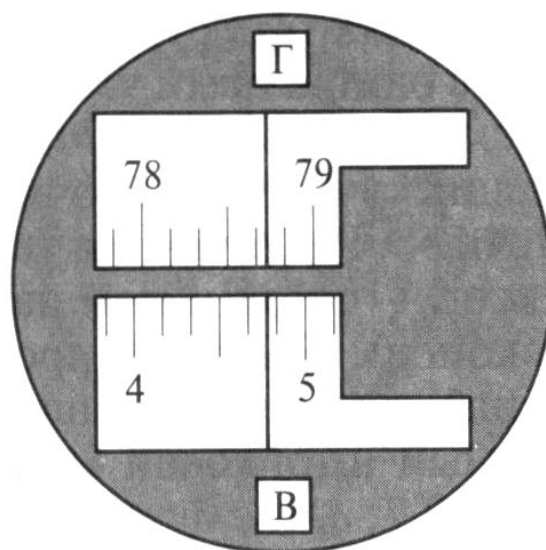


Рис. 13. Зрительная труба с внутренней фокусировкой.

1 — неподвижная часть объектива; 2 — подвижная часть объектива; 3 — сетка нитей; 4 — окуляр;  $BB'$  — ось зрительной трубы; ФС — фокусировка сетки; ФЦ — фокусировка цели

В современных теодолитах в зависимости от категории точности применяются отсчетные устройства четырех различных типов. У всех четырех есть одинаковый узел — зрительная труба, можно сказать, микроскоп, позволяющий с большим увеличением наблюдать небольшие участки рабочих мер — горизонтального и вертикального лимбов. Различаются устройства по конструкции отсчетных индексов — сеток нитей наблюдательных оптических систем (микроскопов). Наиболее простой тип отсчетного устройства, которым снабжается в настоящее время только теодолит ТЗО, — так называемый *штриховой микроскоп*. Вид его поля зрения приведен на рис. 14, а, где буквы «Г» и «В» обозначают участки соответственно горизонтального и вертикального лимбов, а отсчетным индексом служит пересекающийся их неподвижный вертикальный штрих. Каждый градусный штрих лимбов обозначен цифрами, каждый градусный интервал поделен на 6 частей, т.е. величина наименьшего деления лимба, или, как говорят, цена его деления, равна  $10'$ . Наблюдатель, даже с весьма скромным опытом, быстро осваивает отсчитывание с помощью штрихового микроскопа с шагом квантования 0,1 цены деления, т.е. в данном случае —  $Г$ . Отсчеты на рис. 14, таким образом, равны: по горизонтальному лимбу  $78^\circ 43'$ , по вертикальному —  $4^\circ 46'$ . Последняя цифра отсчетов по штриховому микроскопу — число единиц минут — у разных наблюдателей может различаться, но не более чем на единицу в последнем знаке.



$$Г = 78^\circ 43', \quad В = 4^\circ 46'$$

Рис. 14. Поле зрения отсчетного устройства теодолита ТЗО.

Прежде чем приступить к измерениям, необходимо убедиться в исправном состоянии инструмента, выполнить, как говорят, его основные поверки. Сначала производят общий внешний осмотр теодолита и штатива, проверяют правильность вращения всех закрепительных и наводящих винтов, рукояток управления фокусированием. Затем проверяют правильность установки уровня на алидаде (ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения алидады). Для этого, открепив алидаду, вращают ее до того момента, когда ампула уровня займет положение, примерно параллельное линии, соединяющей любую пару подъемных винтов подставки. Вращая эти винты в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня на середину (в нульпункт). Затем поворачивают алидаду на  $180^\circ$ . Если пузырек остался в

нульпункте или отклонился не более чем на одно деление, считают условие выполненным. Если отклонение больше указанной величины, то необходимо выполнить юстировку (исправление): вращением юстировочных винтов перемещают пузырек к нульпункту на половину дуги отклонения, на вторую половину – подъемными винтами. Как правило, полностью отъюстировать уровень удастся лишь несколько раз повторив эту операцию. Повернув алидаду по третьему винту (перпендикулярно первому положению алидады), вращая его, приводят пузырек в нульпункт. Теперь при положении алидады пузырек не должен отклоняться от середины более чем на одно деление. Если это условие выполняется, ось вращения алидады находится в отвесном положении.

Для проведения второй поверки в целях выполнения требования перпендикулярности визирной оси трубы к оси ее вращения следует навести трубу на одну и ту же цель дважды (выполнить два визирования при двух положениях вертикального круга). На цель трубу можно навести двумя способами, которые различаются взаимным положением вертикального круга и оси визирования. Если для наблюдателя со стороны окуляра вертикальный круг расположен слева от визирной оси трубы, то говорят, что теодолит находится в положении «круг лево» (КЛ). Если теперь повернуть примерно на пол-оборота трубу и на пол-оборота — алидаду, то наступит положение «круг право» (КП). Для производства данной поверки выбирают устойчивую визирную цель (по возможности, с небольшим углом наклона) и при двух наведениях на нее (КЛ и КП) берут два отсчета по горизонтальному кругу. Если разность между этими отсчетами равна точно  $180^\circ$ , то требование перпендикулярности визирной оси трубы ее оси вращения соблюдено. Отличие этой разности от  $180^\circ$  равно удвоенному значению угла отклонения от требуемой перпендикулярности, или двойной коллимационной погрешности (2С).

Хотя влияние коллимационной погрешности на значение искомых углов исключается надлежащей методикой измерений (на каждую цель производят по два визирования — при КП и КЛ — с их последующим осреднением), все же стараются, по возможности, уменьшить значение 2С, приблизить ее величину к нулю. Эта юстировка выполняется тончайшим перемещением сетки нитей внутри трубы. Поверку или многократное определение величины двойной коллимационной погрешности ( $2С = \text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ$ ) следует выполнять по нескольким разноудаленным целям, находящимся в разных направлениях. В этом случае удастся выяснить еще две важные характеристики состояния теодолита — стабильность положения визирной оси при перефокусировке (величина 2С должна оставаться постоянной при любых расстояниях до цели) и наличие эксцентриситета алидады (величина 2С не должна меняться при разных направлениях на цели).

Необходима и поверка теодолита, заключающаяся в определении величины и постоянства так называемого места горизонта вертикального круга теодолита (в некоторых пособиях — «места нуля»). Вертикальный угол, или угол наклона, есть угол  $\nu$  в вертикальной плоскости между направлением на цель и плоскостью горизонта  $HH_1$ . Место горизонта (МГ) есть отсчет по вертикальному кругу теодолита, когда его труба горизонтальна.

Ниже приводится формула для подсчета величины МГ для теодолита ТЗ0:

$$\text{МГ} = (\text{КЛ} + \text{КП}) / 2 - 90^\circ, \nu = \text{КЛ} - \text{МГ}$$

Для теодолита 2ТЗ0:

$$\text{МГ} = (\text{КЛ} + \text{КП}) / 2, \nu = \text{КЛ} - \text{МГ}.$$

Стабильность величины МГ при работе с конкретным теодолитом говорит о хорошем качестве измерения вертикальных углов (как и стабильность величины 2С при измерении горизонтальных углов). Хотя числовое значение величины МГ не оказывает никакого влияния на качество измерений, из соображений удобства вычислений его стараются уменьшить, довести, по возможности, до нуля. При этой юстировке, вычислив «идеальный» отсчет КЛ или КП (для которых  $\text{МГ} = 0$ ), устанавливают его на вертикальном круге вращением микрометрического винта уровня (труба остается наведенной на цель). В

результате при сохранении наводки пузырек уровня сместится из среднего положения. Его возвращают в нульпункт котиловочными винтами уровня.

Теодолиты, которые имеют оптическое устройство для центрирования (оптический отвес, или оптический центрир, рис. 15), требуют и его проверки. Это устройство выполняется в виде зрительной трубы, «ломаной» под углом  $90^\circ$ , окуляр которой вынесен в алидадную часть инструмента. Теодолит с таким устройством будет отцентрирован верно, если объективное колено трубы центрира совпадает с осью вращения алидады. Поверяют это условие довольно просто: наблюдая в окуляр центрира, подъемными винтами подставки приводят в центр его сетки нитей (обычно в виде двух концентрических колец) какой-либо точечный объект, находящийся на земле под теодолитом. Затем поворачивают алидаду на пол-оборота. Если цель осталась в пределах внутреннего кольца сетки, считают условие выполненным. В противном случае необходима весьма трудоемкая юстировка (многократные последовательные приближения-наклоны призмы, «ломающей» визирную ось на  $90^\circ$ ).



Рис. 15. Центрирование теодолита с помощью оптического отвеса.

#### **Занятие 4. Измерение длин линий мерными приборами.**

##### **Единицы и технические средства измерения длин**

Длина, дальность, расстояние, протяженность, удаление, дистанция — эти геометрические характеристики местности интересовали человека во все времена и на всех континентах. В Древней Руси уже в XI в. существовала национальная единица измерения длины — сажень. Единицы мер длины, несмотря на непрерывное развитие международной системы стандартизации, до сих пор многочисленны и разнообразны. Наиболее широко употребляемая в настоящее время единица длины — *метр*. Эта единица появилась во Франции во время Великой французской революции, с тех пор неоднократно менялся способ ее определения. Согласно современному определению метр — это отрезок, который свет преодолевает в вакууме за  $1/299\,752\,458$  с.

В картографо-геодезическом производстве целого ряда стран, в том числе и высокоразвитых, распространены единицы измерения длин так называемой футовой системы: 1 фут = 12 дюймов = 0,3048 м; 1 миля (морская) = 1852 м; 1 миля (статутная) = 1 609,346 м = 5 280 футов = 1 760 ярдов = 880 фэтомов; 1 фэтом = 6 футов. Фэтом в

некоторых словарях на русский язык переводится как «морская сажень». Полезно помнить и значения некоторых русских мер длины: 1 верста = 500 сажень = 1066 м; 1 сажень = 2,13 м = 7 футов = 3 аршина = 84 дюйма. Как футовая, так и русская системы мер длины привели к «странным», на первый взгляд, значениям масштабов карт. Так, если в 1 дюйме на бумаге отображать отрезок, длина которого на местности — 1 миля, то знаменатель масштаба будет равен 63 360, а если в 1 дюйме изобразить 1 версту, то — 42 000.

Измерение линий на местности — один из самых распространённых видов геодезических измерений. Без измерения линий не обходится ни одна геодезическая работа. Линии измеряют на горизонтальной, наклонной и вертикальной плоскости. Для измерения длин линий в геодезии применяют три типа приборов:

- мерные устройства: проволоки, ленты, рулетки;
- оптические (или геометрические) дальномеры: нитяной дальномер, оптические насадки;
- электронные (или физические) дальномеры: электронно-оптические (светодальномеры), радиоэлектронные (радиодальномеры).

*Проволоки* изготавливают из инвара — сплава никеля, железа и кобальта, обладающего малым температурным расширением. Длина проволок 24 м. На концах — шкалы с наименьшими делениями 1 мм для отсчетов при измерениях. На остальной части проволоки маркировки длины нет. Поэтому проволоками измеряют расстояния, равные длине между штрихами (24 м). Расстояния, не кратные 24 м, измеряют инварными рулетками. В створе линии, закрепленной на местности геодезическими знаками и подлежащей измерению, устанавливают через 24 м специальные штативы с целиками. Затем, начиная с первого 24-метрового пролета, проволоки натягивают на блоки над штативами так, чтобы шкалы проволок слегка касались целиков. Выполняя отсчеты с помощью шкал по перекрестиям целиков, измеряют длину первого, а затем последующего пролетов. Проволоки применяют для измерений, например, длин базисов при триангуляционных определениях, требующих высокой точности. Они хранятся намотанными на барабан.

*Мерные ленты* изготавливают из стали длиной 20 м, реже — 24, 30 и 50 м и шириной 1,5 — 2,0 см. Они бывают двух разновидностей: штриховые и шкаловые (см. рис. 16).

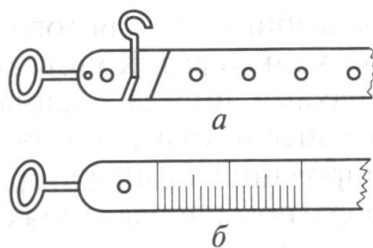


Рис. 16. Стальные мерные ленты: *а* — штриховая; *б* — шкаловая.

*Штриховые ленты* имеют на концах крючки, к которым прикрепляются ручки для натягивания ленты (рис. 16). Каждый метр на ленте обозначен пластинкой с указанием числа: на противоположных сторонах счет идет от различных концов ленты. Каждые 50 см обозначены заклепкой, а через 10 см пробиты отверстия. В комплект входят 6 или 11 стальных шпилек, которыми обозначаются каждые отложенные 20 м. Длину отсчитывают с точностью до сотых долей метра делением дециметровых частей между отверстиями на глаз.

*Шкаловые ленты*, например землемерная шкаловая лента ЗЛШ, имеют на концах шкалы с миллиметровыми делениями (рис. 16, б). Длины отрезков на концах ленты с миллиметровыми делениями равны 10 см. Номинальной длиной ленты является расстояние между нулевыми штрихами шкал. Они предназначены для более точных измерений.

Рулетки выпускают стальные и тесемочные длиной 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10...12 мм, толщиной 0,15...0,30 мм. На полотне рулетки наносят штрихи – деления через 1 мм по всей длине или только на первом дециметре. В последнем случае все остальное полотно размечают сантиметровыми штрихами. Цифры подписывают у каждого дециметрового деления. Чтобы измерить расстояние между двумя точками штрих с подписью 0 (ноль) прикладывают к одной точке и смотрят, какой штрих совпадает со второй точкой. Если вторая точка не совмещается со штрихом на рулетке, а попадает между ними, то расстояние между штрихами визуально делят на 10 частей и на глаз оценивают отстояние ее от ближайшего штриха. Стальные рулетки выпускают либо с полотном, намотанным на крестовину (вилку), либо в футляре. Для измерений коротких отрезков металлические рулетки делают изогнутыми по ширине – желобковыми (рис.17).

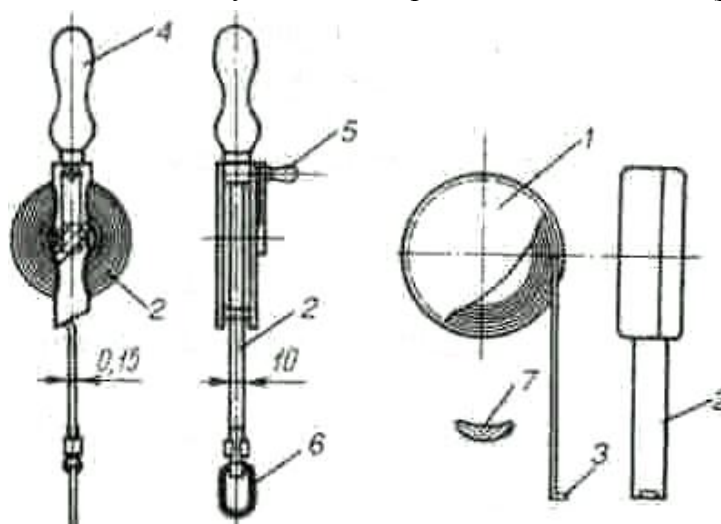


Рис. 17. Стальные рулетки:

а – карманная, автоматически сматывающаяся, б – на вилке,  
1 – футляр, 2 – полотно, 3 – г-образные окончания для фиксации, 4, 5 – ручки, 6 –  
кольцо, 7 – желобковый вид сечения

Длинномерные рулетки типа РК (на крестовине) и РВ (на вилке) применяют в комплекте с приборами для натяжения – динамометрами. Как правило, пружинными динамометрами обеспечивают натяжение рулеткам до 100 Н (стандартное натяжение, равное усилию 10 кг). Тесемочные рулетки состоят из плотного полотна с металлическими, обычно медными, прожилками. Полотно тесемочной рулетки покрыто краской и имеет деления через 1 см. Тесемочными рулетками пользуются, когда не требуется высокая точность измерений. Тесемочные рулетки свертывают в пластмассовый корпус.

Землемерная лента ЛЗ (рис. 18) представляет собой стальную полосу длиной 20, 24, 30 и 50 м, шириной 10...15 мм и толщиной 0,5 мм. На концах ленты нанесено по одному штриху 1, между которыми и считается длина ленты. У штрихов сделаны вырезы 2, в которые вставляют шпильки, фиксируя длины измеряемых отрезков. Оканчивается лента ручками. На каждой плоскости ленты отмечены деления через 1, 0,5 и 0,1 м. Для исключения просчетов при измерении линий короче номинальной длины ленты, подписи метровых делений на одной плоскости возрастают от одного конца ленты, а на другой плоскости от противоположного конца. Метры на ленте отмечены медными пластинами 4, полуметровые деления – заклепками 3, дециметровые – отверстиями 5. Более мелких делений не делают. Длину отсчитывают с точностью до сотых долей метра делением дециметровых частей между отверстиями “на глаз”. На приведенном рисунке отсчет от начального штриха до вертикальной полосы равен 13 м и 14 см.

Землемерная лента шкаловая (ЗЛШ) отличается от описанной выше наличием на ее концах шкал с миллиметровыми делениями (см. рис. 16). Длина отрезков на концах ленты с миллиметровыми делениями равны 10 см. Номинальной длиной ленты является расстояние между нулевыми штрихами шкал.

Для транспортировки и хранения ленты наматывают на металлическое кольцо – станок.

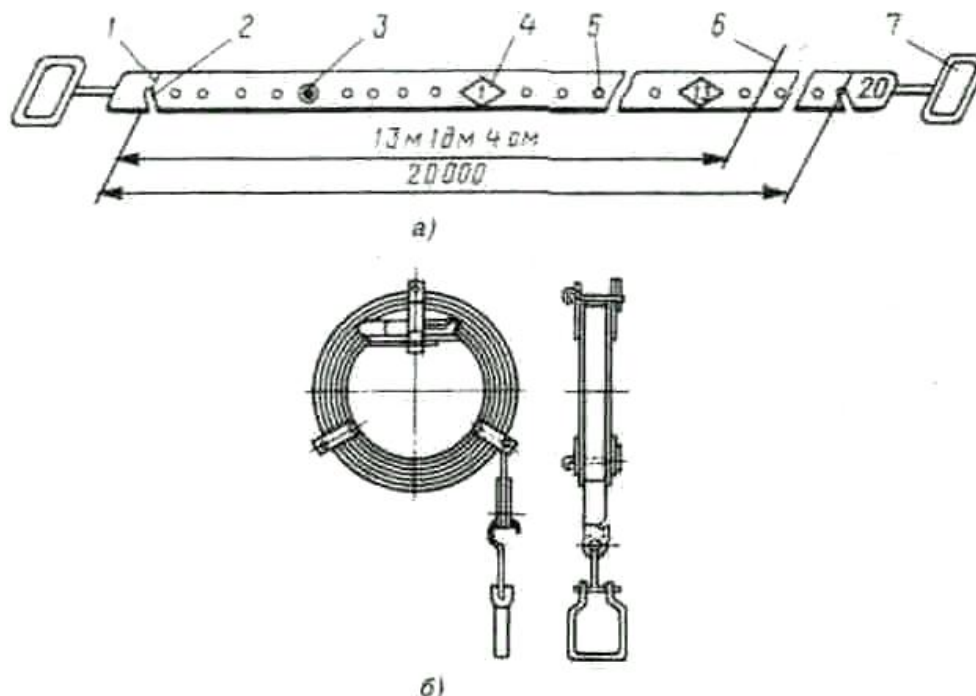


Рис. 18 Землемерная лента:  
а – при измерении; б – на станке.

1 – штрих, 2 – вырез, 3 – заклепка, 4 – пластина, 5 – отверстие, 6 – линия, до которой выполнено измерение, 7 – ручка

В комплекты ЛЗ и ЗЛШ входят наборы (от 6 до 11 штук) *шпилек* – металлических стержней с заостренными концами и кольцами-ручками (см. рис. 19). Для переноски шпильки надевают на проволочное кольцо.

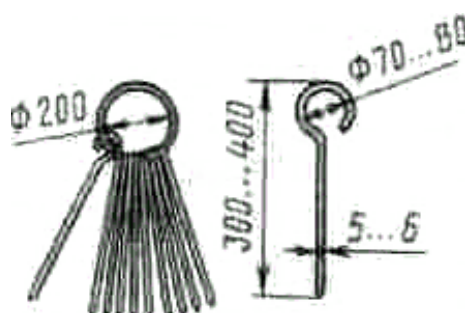


Рис. 19. Набор шпилек

До начала работы мерные приборы сравнивают с эталонами – *компарируют*. За эталоны принимают отрезки линий на местности или в лаборатории, длины которых известны с высокой точностью.



Простейший полевой компаратор состоит из деревянных брусьев с ровной горизонтальной поверхностью, закрепленных на деревянных столбах. На концах компаратора закрепляются металлические пластинки, расстояние между которыми соответствует 20 м.

Длина  $l$ -мерного прибора ленты или рулетки выражается уравнением, которое в общем виде можно записать так:

$$l = l_0 + \Delta l_k + \Delta l_t,$$

где  $l_0$  – номинальная длина ленты при нормальной температуре (в Российской Федерации –  $+20^\circ\text{C}$ ),  $\Delta l_k$  – поправка компарирования,  $\Delta l_t$  – поправка из-за температуры.

Чтобы вычислить номинальную длину мерного прибора для каждого температурного режима эксплуатации поступают таким образом. Сначала определяют величину поправки из-за температуры. Известно, что коэффициент линейного расширения стали при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$  равен  $\alpha = 12,5 \times 10^{-6}$  м/град.

Пусть требуется узнать полную поправку при температуре эксплуатации  $-6^\circ\text{C}$ . Тогда для мерного прибора  $L=30$  м поправка  $\Delta l_t = \alpha(t - t_0)L = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot (-6 - 20) \cdot 30 \text{ м} = -9,8 \text{ мм}$ , а общая длина ленты  $l_{30} = 30 \text{ м} + 3,8 \text{ мм} - 9,8 \text{ мм} = 29,994 \text{ м}$ .

В производственных условиях мерные приборы чаще всего эталонируют на полевых компараторах. Эти компараторы представляют собой выровненные участки местности преимущественно с твердым покрытием. Концы компаратора закрепляют знаками со специальными метками, расстояние между которыми известно с большой точностью.

Простейший полевой компаратор состоит из деревянных брусьев с ровной горизонтальной поверхностью, закрепленных на деревянных столбах.

Компарирование длинномерных рулеток и лент в полевых условиях производят на компараторах, длина которых, как правило, близка к  $l = 120$  м. Такую длину выбирают для того, чтобы уложить мерный прибор на компараторе несколько раз. Уложение мерных приборов ведут в прямом и обратном направлениях. Подсчитывают число целых и дробных уложений рулетки или ленты и определяют поправку за компарирование. Ее вычисляют по формуле

$$\Delta l_k = (l_0 - l_\Sigma)/n$$

где  $n$  – число уложений мерного прибора,  $l_\Sigma$  – измеренная длина компаратора.

Для предварительного компарирования или при желании знать фактическую длину вновь вводимого в эксплуатацию мерного прибора со сравнительно небольшой точностью поступают так. Нормальный мерный прибор (нормальным считается прибор, прошедший компарирование) и испытываемый укладывают на одну и ту же плоскость. Совмещают начальные штрихи, обе рулетки натягивают с одинаковой силой и миллиметровой линейкой измеряют расстояния между конечными штрихами. Измеренную величину считают поправкой вводимого в эксплуатацию мерного прибора по отношению к нормальному.

Определение поправки в длину испытываемой рулетки производят после приведения длины нормальной и испытываемой рулетки к одной и той же температуре.

На исследуемой площадке часто приходится откладывать меньшую длину, чем длина рулетки. В этом случае проверяют длины метровых, дециметровых делений и более мелких. Компарирование мелких делений выполняют контрольной (например Женевской) линейкой, где минимальные отрезки нанесены через 0,2 мм. Показания считывают через увеличительные стекла или микроскопы.

Измерение линий состоит в том, что мерный прибор (ленту, рулетку) последовательно откладывают между начальной и конечной точками измеряемой линии.

Для этого сначала подготавливают к измерению створ линии и измерительные приборы. При подготовке створа линии к измерению ее концы фиксируют кольями, штырями, обрезками труб и т.п.; расчищают полосы шириной 1,5...2 м от растительности и остатков снесенных строений; забивают колья или штыри в местах перегибов местности. До

измерения линию обозначают на местности (примерно через 100 м) вешками – деревянными или металлическими кругляками с равномерной яркой красно-белой окраской и заостренными концами. Вехи устанавливают либо “на глаз”, либо с помощью оптической зрительной трубы с такой частотой, чтобы при нахождении мерщика у одной обеспечивалась видимость двух смежных. Вешение “на глаз” менее точно, чем с помощью оптической трубы с увеличением, однако его точность вполне достаточна, если измерение делать мерной лентой со шпильками.

Вешение “на глаз” (см. рис. 20, а) выполняют приемами “от себя” и “на себя”. При вешении “от себя” один мерщик становится на исходной точке, а на конечной точке второй мерщик устанавливает веху 7 такой высоты, чтобы она была видна с исходной точки.

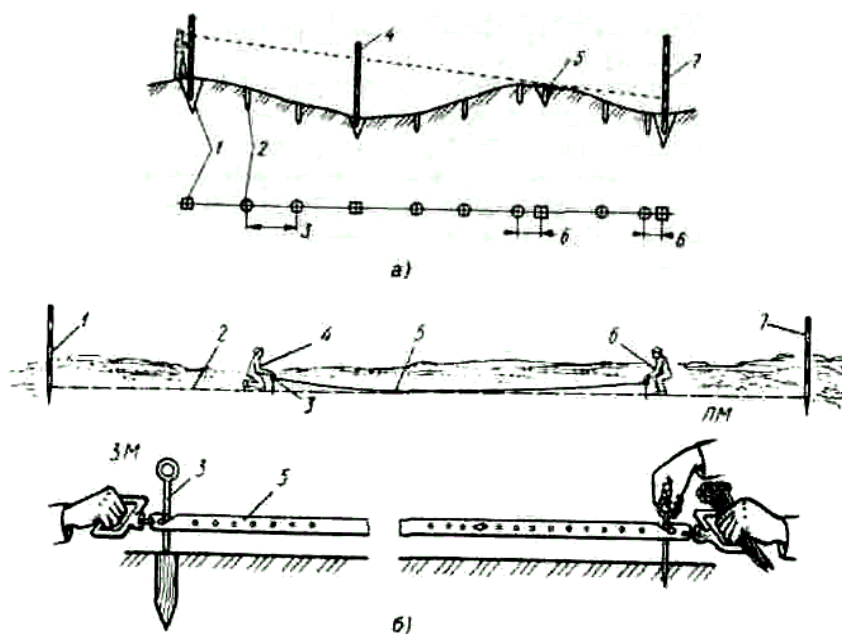


Рис. 20. Вешение линии:

а – профиль и план, б – измерение линии; 1, 4, 7 – вехи, 2, 5 – шпильки, 3, 6 – замеры

Второй мерщик по створу на расстоянии не более 100 м от начала устанавливает веху 4, перемещая ее перпендикулярно створу до совпадения ее с вехой 7 на конечной точке. Команды о смещении устанавливаемой вехи в створ подают отмашкой руки.

При вешении “на себя” мерщик выставляет вешку или укладывает мерную ленту в створе двух других вех, имея их перед собой.

Измерение линии (рис. 20, б) выполняет бригада из двух человек. Ленту разматывают с кольца. Передний мерщик 6 (МП) с десятью (пятью) шпильками и передним концом ленты протягивает ленту и по указанию заднего 4 (МЗ) мерщика укладывает ее в створ измеряемой линии. МЗ совмещает начальный штрих заднего конца ленты с началом линии, вставляя в вырез ленты шпильку. МП встряхивает ленту, натягивает ее и в вырез на переднем конце вставляет шпильку. МЗ вынимает заднюю шпильку, МП снимает со шпильки ленту, и оба переносят ее вперед вдоль линии. Дойдя до первой шпильки, МЗ закрепляет на ней ленту, ориентирует МП, выставляя его руку со шпилькой и лентой в створ линии по передней вехе 7. Затем работа продолжается в том же порядке, что и на первом уложении ленты. Целое уложение ленты называется пролетом.

Когда все 11 (или 6) шпилек будут выставлены, у МЗ окажется десять или пять шпилек, он передает МП все собранные шпильки. Измеренный отрезок будет равен 10 l, что при двадцатиметровой длине ленты равно 200 м. Число таких передач записывают в журнал измерений. Сюда же записывают результаты измерения неполного пролета: от последней шпильки в полном пролете до конечной точки линии.

Для контроля линию измеряют вторично, при этом мерщики меняются местами, а за начало измерений принимают бывшую последнюю точку при измерении линии “прямо”.

Чтобы избежать грубых ошибок при измерении, выполняют следующие действия:

1) Подсчитывают, сколько шпилек у МЗ и МП, чтобы удостовериться, что в сумме они составляют комплект. 2) Следят, чтобы при измерении остатка отсчет выполнялся от заднего конца ленты. 3) При отсчитывании делений на середине ленты следят, чтобы лента не была перекручена, так как при этом можно спутать число целых метров. Например, вместо отсчета 6 м отсчитать 9 м, вместо 9 – 11 м.

Измеренную 20-метровой лентой длину линии  $D$  вычисляют по формуле

$$D = 200N + 20(n - 1) + l,$$

где  $N$  – число передач шпилек;  $n$  – число шпилек у МЗ;  $l$  – остаток.

За окончательное значение принимают среднее арифметическое от измерений “прямо” и “обратно”. Измерения считают выполненными правильно, если расхождение результатов измерений “прямо” и “обратно” не превышает величин указанных в нормах и инструкциях.

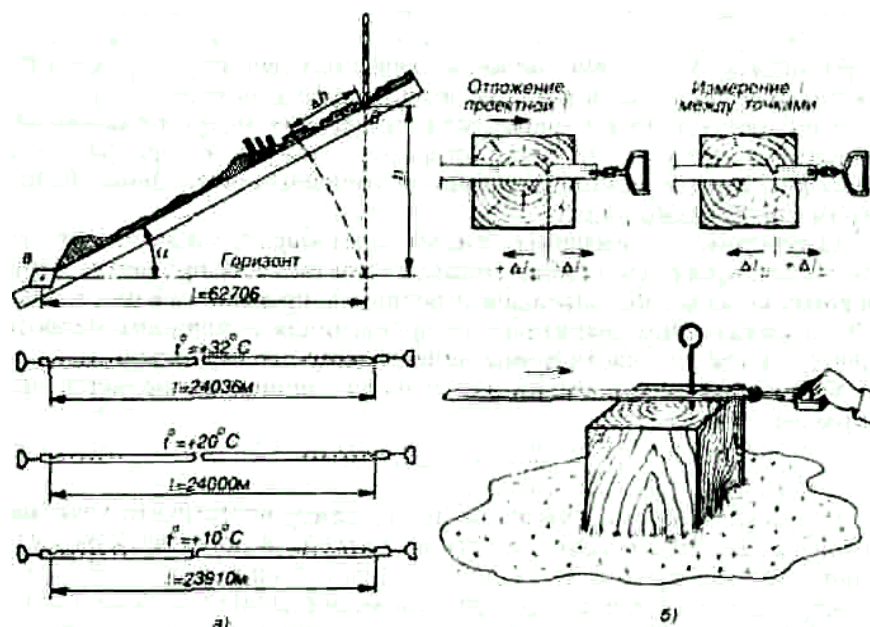


Рис. 21. Схема определения поправки за наклон линии (а) и отложения с учетом знаков (б).

В измеренную длину вводят поправки из-за неравенства мерного прибора эталону (поправка за компарирование) и температуры, отличающейся от той, для которой составлено уравнение мерного прибора (+20 °C). Результаты измерений линий чаще всего необходимо выражать на чертежах, планах и картах, т.е. на горизонтальной плоскости. Измерения же производят обычно по поверхности рельефа, имеющего уклоны.

Для приведения наклонно измеренного расстояния к горизонтальному в результат измерений вводят поправку за наклон линии к горизонту (рис. 21, а).

Из рисунка ясно, что для получения проекции  $l$  измерений на местности линии длиной  $D$  необходимо знать угол  $\alpha$  или превышение  $h$  точки  $B$  над горизонтальной линией.

Из решения прямоугольного треугольника

$$l = D \cdot \cos \alpha$$

Горизонтальные проложения обычно вычисляют по специальным таблицам или на ЭВМ.

Если известно превышение  $h$ , то поправку вычисляют по формуле

$$\Delta l_h = -\frac{h^2}{2l}.$$

Если наклон линии значителен, измерения ведут отдельными малыми отрезками: 5, 10 м, стараясь уложить концы мерного прибора горизонтально. Измеряемая горизонтальная линия будет иметь ступенчатый вид.

Суммарная поправка в измеренную линию вычисляется по формуле

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_h + \Delta l_k + \Delta l_t.$$

Очень часто кроме измерения линий между известными точками возникает необходимость вынести на местности проектный размер: длину дороги, габариты здания, спортплощадки и т.п. В этом случае следует помнить, что при отложении заранее заданной длины поправка  $+\Delta l_{\Sigma}$  вводится назад от конечного штриха рулетки, а  $-\Delta l_{\Sigma}$  – вперед (рис. 21, б).

При измерении линий могут быть допущены промахи и грубые погрешности. Существует целый ряд погрешностей, влияние которых на суммарный результат измерений можно существенно уменьшить. Эти погрешности носят систематический характер по влиянию на результат, но случайны по величине. Чтобы уменьшить их величины, необходимо учитывать следующее:

1. Отклонение концов рулетки от створа измерений всегда уменьшает измеряемую длину. Чем меньше отклоняются концы от створа, тем меньше погрешность измерения.

2. Большую погрешность в измеряемую длину может внести разное натяжение прибора при эталонировании и практической работе.

3. Недопустимо ослаблять внимание при отсчитывании по концам мерного прибора или его фиксации.

4. Необходимо следить не только за превышением концов мерного прибора, но и за его изгибом в вертикальной плоскости. Точность определения поправки за наклон зависит от точности определения превышений.

5. При введении поправок за отличие температуры, данной в уравнении рулетки ( $+20^{\circ}\text{C}$ ), и температуры измерений следует помнить, что измеряют температуру воздуха, а поправку вводят за изменение температуры металлического мерного прибора. Поэтому при прямом солнечном облучении мерного прибора термометр подкладывают под его полотно и держат 3–5 мин с тем, чтобы точнее определить температуру мерного полотна. Разность температуры воздуха и мерного прибора измеряют с погрешностью не грубее  $5^{\circ}\text{C}$ .

6. Существенно исказить результат измерения может плохое закрепление точек, между которыми ведется измерение. Вязкая почва, зыбко забитые кол, штырь или шпилька, изменяющие свое положение от случайных ударов, приводят к появлению недопустимых погрешностей в измеряемой длине.

### **Измерение длины линий дальномерами**

*Дальномерами* называются геодезические приборы, с помощью которых расстояние между двумя точками измеряют косвенным способом. Дальномеры подразделяют на оптические и электронные. Оптические дальномеры делятся на дальномеры с постоянным параллактическим углом и дальномеры с постоянным базисом. Электронные дальномеры – на электронно-оптические (светодальномеры) и радиоэлектронные (радиодальномеры).

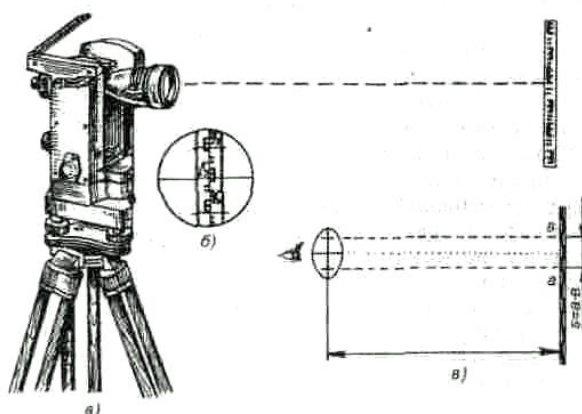


Рис. 22. Оптический дальномер (а), поле зрения трубы (б) и схема измерения (в).

Простейший оптический дальномер с постоянным углом – нитяной (рис. 22, а) имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов. В поле зрения трубы (рис. 22, б) прибора видны три горизонтальные нити. Две из них, расположенные симметрично относительно средней нити, называются *дальномерными*. Нитяной дальномер применяют в комплекте с нивелирной рейкой, разделенной на сантиметровые деления. В приведенном примере между крайними нитями располагаются 21,5 сантиметровых делений рейки. Расстояние  $D$  между измеряемыми точками на местности  $21,5 \times 100 = 21,5$  м (100 – коэффициент дальномера).

На расстоянии до 200 м по нитяному дальномеру “на глаз” можно отсчитать до 0,5 сантиметрового деления, что соответствует погрешности при определении расстояния 50 см; на расстоянии до 100 м – до 0,2 сантиметрового деления или погрешности 20 см.

Нитяным дальномером можно измерить линии длиной до 300 м с погрешностью до 1:300 от длины.

В основе электронных средств измерений лежит известное из физики соотношение между измеряемым расстоянием  $S$ , скоростью распространения электромагнитных колебаний  $v$  и временем  $t$  распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии и обратно  $S = vt/2$ .

Для измерения расстояния  $AB$  (см. рис. 23) в одной точке устанавливают светодальномер, а в другой точке  $B$  – отражатель. Световой поток посылается из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор. Если измерить время прохождения световых волн от светодальномера до отражателя и обратно, при известной скорости распространения световых волн можно вычислить искомую длину линии. Время распространения световых волн может быть определено как прямым, так и косвенным методом измерений.

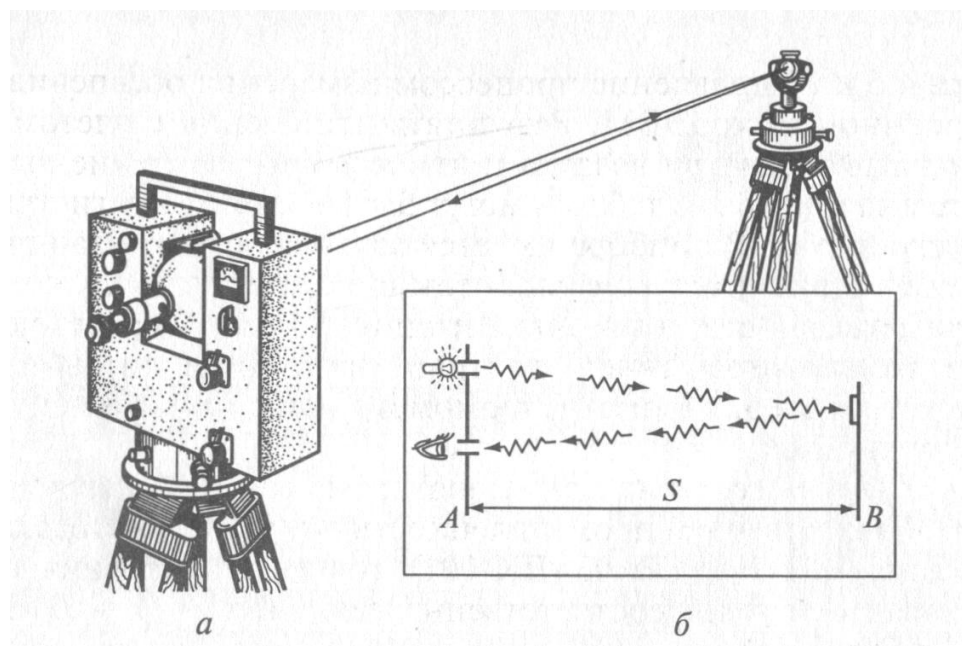


Рис. 23. Светодальномер: *а* — установка светодальномера и отражателя; *б* — ход лучей при измерении линий.

Прямое определение промежутка времени осуществляется в дальномерах, называемых *импульсными*. В них измерение времени производится по запаздыванию принимаемого после отражения светового импульса по отношению к моменту его излучения.

Косвенное определение времени прохождения световых волн основано на измерении разности фаз двух электромагнитных колебаний. Такие светодальномеры называют *фазовыми*.

С внедрением полупроводниковых лазерных источников излучения и цифровых методов измерения разности фаз появились импульсно-фазовые светодальномеры, в основе которых лежит фазовый метод измерения временного интервала при импульсном методе излучения.

Примером современного фазово-импульсного светодальномера может служить широко распространенный в нашей стране топографический светодальномер СТ-5. Это высокоавтоматизированный прибор, точность измерения расстояний которым характеризуется величиной  $(10 + 5D \text{ км}) \text{ мм}$ ; предельная дальность — 5 км.

Улучшенный вариант этого сверхдальномера — 2СТ-10 (см. рис. 24). Его технические характеристики: средняя квадратическая погрешность измерения расстояний  $(5 + 3D \text{ км}) \text{ мм}$ ; диапазон измерения 0,2 м...10 км; диапазон рабочих температур +40...-30°C; масса прибора 4,5 кг.

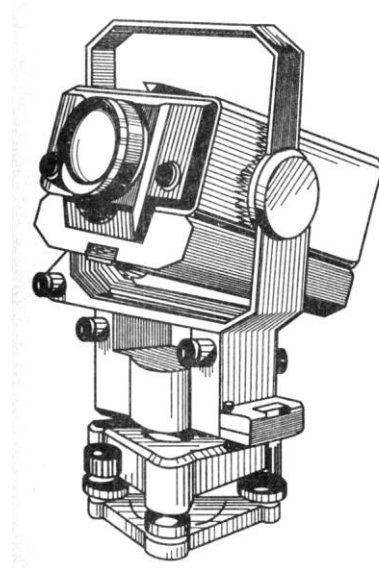


Рис. 24. Светодальномер 2СТ-10.

Управление процессом измерения обеспечивается встроенной микроЭВМ. Результаты измерения с учетом поправки на температуру воздуха и атмосферное давление высвечиваются на цифровом табло и могут быть введены в регистрирующее устройство. В приборе имеется звуковая сигнализация обнаружения отраженного сигнала, готовности результата измерения и разряженности источника питания. В комплект светодальномера входят: отражатели, штативы, источники питания, зарядное устройство, барометр, термометр, набор инструментов и принадлежностей.

В инженерной геодезии применяют и высокоточные светодальномеры. Отечественная промышленность выпускает светодальномеры «Топаз СП-2» и СП-03 (ДК-001), точность измерения которыми характеризуется соответственно величинами  $(1 + D \text{ км})$  и  $(0,8 + 1,5D \text{ км})$  мм.

Для маркшейдерских работ в шахтах используют светодальномер МСД-1М во взрывобезопасном исполнении с дальностью действия до 500 м и погрешностью измерения  $(2 + 5D \text{ км})$  мм.

Светодальномеры с пассивным отражением измеряют расстояния до предметов без отражателя, т.е. используют отражательные свойства самих предметов. Примером может служить отечественный светодальномер ДИМ-2, погрешность измерения расстояний которым составляет 20 см.

В настоящее время известны дальномеры с пассивным отражением и погрешностью измерения расстояний до 10 мм. Так, например, дальномер, выпускаемый фирмой «Лейка» (Швейцария), измеряет расстояния до 50 м с погрешностью 2 мм.

Для измерения на небольших площадках и в помещениях используют лазерные рулетки (см. рисунки 25 и 26), которые не требуют отражателей.



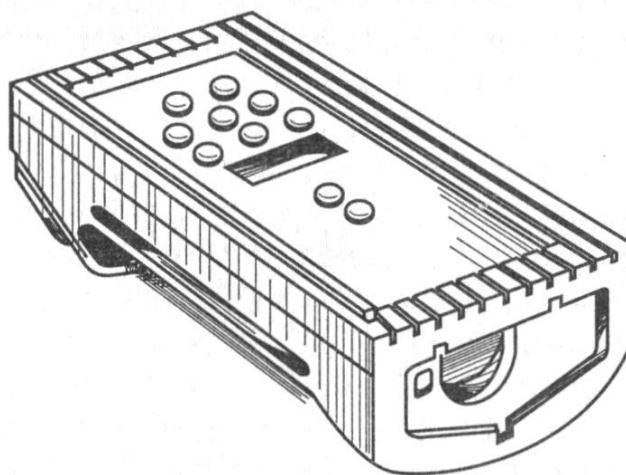


Рис. 25. Лазерная рулетка.



Рис. 26. Лазерный дальномер фирмы Makita.  
Технические данные лазерного дальномера Makita



|                                                          |                                |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Диапазон                                                 | 0.05 м - 60 м*                 |
| Точность измерения (2 $\sigma$ )                         | обычно $\pm 1.5$ мм**          |
| Наименьшая используемая единица измерения                | 1 мм                           |
| Класс лазера                                             | 2                              |
| Тип лазера                                               | 635 нм, < 1 мВт                |
| Защита от брызг и пыли                                   | IP 54, пыле- и влагозащищенный |
| Автоматическое отключение:<br>Лазер<br>Прибор            | через 60 с<br>через 180 с      |
| Подсветка дисплея                                        | ✓                              |
| Упорная скоба                                            | ✓                              |
| Срок службы батареи,<br>Тип 2 x AAA                      | до<br>5 000 измерений          |
| Размер                                                   | 112 x 43 x 25 мм               |
| Вес                                                      | 100 г                          |
| Температурный диапазон:<br>хранение<br>Работа с прибором | -25°C - +70°C<br>0°C - +40°C   |

Ниже на рисунке 27 приведено изображение достаточно широко распространенной лазерной рулетки DISTO A6 производства швейцарской фирмы «Leica».

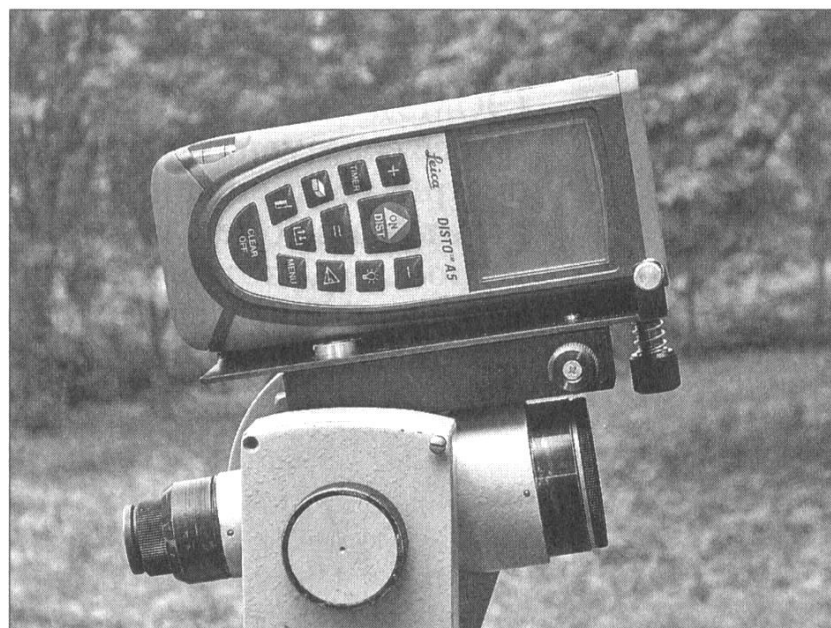


Рис. 27. Лазерная рулетка DISTO на теодолите T15.

#### Занятие 5. Тахеометрическая съемка.

Слово «тахеометрия» означает «быстрое измерение». Действительно, одно из преимуществ тахеометрической съемки — быстрота исполнения, а также работа с одним из приборов: теодолитом или тахеометром без громоздкой мензулы. Вместе с тем недостатком тахеометрической съемки является то, что она ведется «на запись», а вычерчивается план камерально, когда топографы не имеют возможности видеть местность перед собой.

*Тахеометры.* Тахеометрическую съемку выполняют либо техническими теодолитами типа ТЗО, Т15 и другими, либо специально сконструированными для таких работ приборами-тахеометрами, которые бывают различных типов.

*Тахеометры номограммные* имеют в поле зрения трубы номограмму, с помощью которой определяют расстояния и превышения.

*Тахеометры с дальномерами двойного изображения* имеют оптические устройства, которые позволяют по горизонтальной рейке определять горизонтальное проложение наклонных линий (это тахеометры ТД, Редта 002 и др.).

*Тахеометры внутрибазовые* используются для съемок труднодоступных участков местности и могут работать без рейки. Тахеометры указанных типов в настоящее время не выпускают, но иногда еще применяют на практике.

Рейки, используемые при тахеометрической съемке, — либо обычные дальномерные рейки для съемки, либо специальные с выдвижной пяткой.

**Электронные (цифровые) тахеометры.** Электронный тахеометр объединяет в себе возможности электронного теодолита, высокоточного светодальномера и полевого компьютера. Основу угломерной части тахеометров с электронным считыванием составляют датчики накопительного или позиционного типа. Дальномеры электронных тахеометров могут оснащаться разнообразными дальномерными блоками, позволяющими измерять расстояния по призме, отражающей пластинке или пленке, и без отражателя. Центрирование прибора выполняют с помощью лазерного отвеса. В качестве источника электропитания в электронных тахеометрах преимущественно используют литий-ионные аккумуляторные батареи. Управление процессом измерений осуществляется с помощью многофункциональных клавиш (рис. 28).

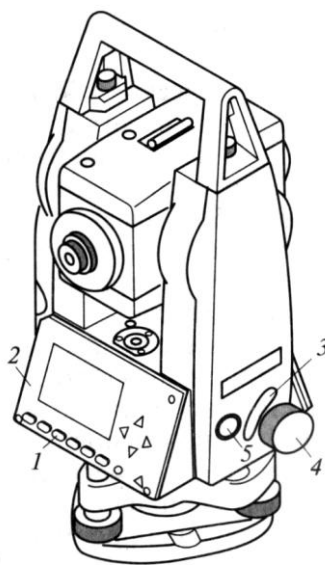


Рис. 28. Электронный тахеометр Leica TC307:

1 — клавиши управления; 2 — жидкокристаллический экран; 3 — клавиша записи результатов измерения; 4 — бесконечный микрометрический винт для наведения на наблюдаемую цель; 5 — кнопка включения

Результаты измерений отражаются на жидкокристаллическом экране тахеометра и могут записываться во внутреннюю память прибора емкостью 10 — 20 тыс. измерений. Кроме результатов измерений на экране могут постоянно отображаться некоторые наиболее важные характеристики настройки прибора: вид режима измерения расстояния, уровень зарядки батареи и т.д.



Рис. 29. Геодезические приборы: электронные тахеометры фирмы «Leica» TCRP и TC307.  
(На переднем плане нивелир с компенсатором серии AT).

Набор прикладных программ тахеометра позволяет в режиме реального времени вычислять: наклонные расстояния; горизонтальные проложения; координаты и высоты наблюдаемых точек; превышения и дирекционные углы между точками, выбранными из памяти или выведенными с клавиатуры; координаты новой станции по наблюдениям известных (обратная засечка) и другие элементы. Дополнительные программы позволяют уравнивать теодолитный ход, решать задачи по выносу в натуру геометрических элементов проектируемых и строящихся сооружений. Результаты измерений и предварительной обработки могут переписываться затем в ЭВМ для последующей обработки.

Простейшие тахеометры с минимальной автоматизацией и ограниченным программным обеспечением дают точность измерений углов  $5—10''$ , линий —  $(3 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot D)$  мм.

Универсальные приборы с расширенными возможностями обеспечивают точность измерения углов  $1—5''$ , линий —  $(2 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot D)$  мм.

Наиболее совершенные приборы могут быть модернизированы до тахеометра-робота, управление которым осуществляется оператором на расстоянии или с помощью специальной компьютерной программы без участия человека.

В настоящее время электронные тахеометры находят самое широкое применение при создании геодезических сетей (съёмочного обоснования), в проведении топографических съёмок местности, землеустроительных работах, геодезическом обеспечении строительства, монтаже и юстировке промышленного оборудования.

**Геодезическое обоснование тахеометрической съёмки.** Съёмка может производиться с точек теодолитного хода, проложенного для этой цели, или точек, полученных заранее другими способами. Чаще всего прокладываются специальные *тахеометрические ходы*, либо отдельно со съёмкой, либо в едином с ней процессе. Работу по измерению длин сторон хода, горизонтальных углов проводят примерно так же, как это описано при проложении теодолитного хода.

Особенности тахеометрического хода заключаются в измерении сторон хода с помощью нитяного дальномера и определении вместе с координатами  $x$  и  $y$  отметок точек хода. Следует отметить, что при использовании электронных тахеометров исключается процесс измерения нитяным дальномером.

В случае проложения тахеометрического хода вместе со съёмкой последняя преимущественно выполняется полосой вдоль выбранного маршрута (см. рис. 30).

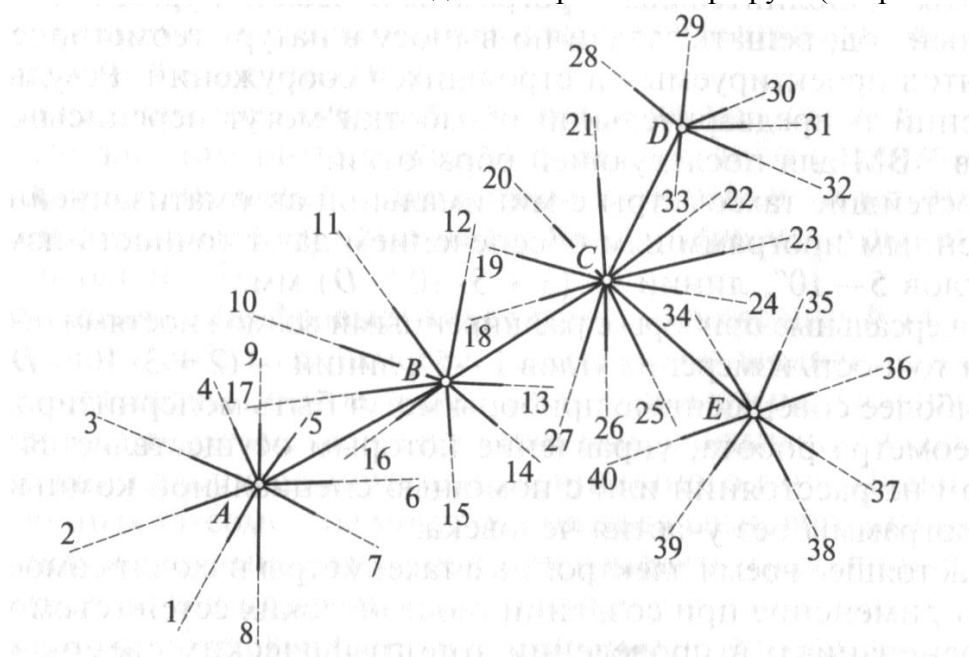


Рис. 30. .Схема тахеометрического хода и пикетов

Тахеометрический ход прокладывают посередине полосы, и относительно него производят съёмку контуров и рельефа полярным способом. Пункты поворота хода определяют с таким расчетом, чтобы с них были видны детали окружающей местности, подлежащие съёмке. Поэтому в качестве таких станций для прибора выбирают пункты на возвышенных местах. Но в некоторых случаях приходится отступать от этого правила и выполнять съёмку с дополнительных точек. Такие точки связываются с основным добавочным ходом и определяются методом засечек или при помощи геометрических построений. Расстояние между станциями должно согласовываться с масштабом будущего плана. Чем крупнее масштаб, тем короче должны быть линии визирования со станции на станцию.

Прокладку хода одновременно со съёмкой производят в следующей последовательности.

1. Тахеометр устанавливают на первой исходной точке, которая может быть принята за опорную с определенными координатами и высотной отметкой, а может быть просто первой по ходу точкой и тогда весь снятый план, являясь строгим построением, в то же время не будет привязан к единой системе координат. В последнем случае для ориентирования плана в процессе работы должны измеряться магнитные азимуты сторон хода. По ним можно также контролировать правильность измеренных углов.

Итак, установленный на исходной точке тахеометр центрируют, горизонтируют, ориентируют либо по примычному углу, либо по магнитному меридиану (по буссоли). Измеряют высоту прибора над точкой стояния (см. рис. 31).

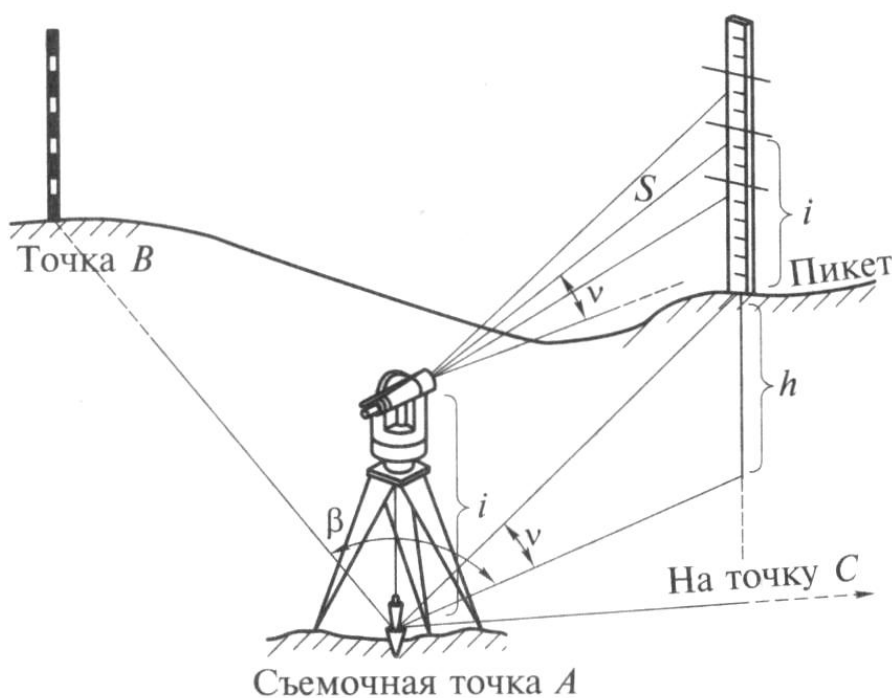


Рис. 31. Схема работы с тахеометром на съемочной точке.

2. Измеряют горизонтальные углы между направлениями хода и вертикальные углы по ходу вперед и назад при круге левом и правом. Азимут сторон по буссоли определяют также вперед и назад.

3. Измеряют расстояния дальномером по ходу вперед и назад.

4. Вычисляют значения горизонтальных и вертикальных углов и определяют место нуля для контроля.

5. Ориентируют лимб горизонтального круга  $0^\circ$  вперед (или назад) по линии хода (всегда одинаково) и закрепляют до конца съемки на данной точке. Пункты поворота хода и все станции закрепляют на местности.

**Выполнение тахеометрической съемки.** При съемке пикетов, которую производят полярным способом, измерения ведут более упрощенным способом, с меньшей точностью и с меньшим контролем. Углы измеряют при одном положении вертикального круга прибора. Для определения превышений трубу наводят преимущественно на высоту прибора. Если место нуля выражается малой величиной (например,  $0^\circ 01'$ ), можно ее не принимать в расчет и считать место нуля равным нулю.

Особо важное значение при тахеометрической съемке имеет правильный выбор пикетов, причем главное внимание обращается на съемку рельефа. Пикеты должны быть расположены по всем характерным линиям рельефа местности и характерным местам, составляющим его остов: по водоразделам, тальвегам, на всех вершинах холмов, на дне впадин, по подошве холмов и впадин, по бровкам оврагов, террас и др. Пикеты выбирают

настолько близко друг к другу, чтобы местность между парой соседних пикетов имела один скат (без перегибов).

Одновременно пикеты должны дать возможность изобразить существенные контуры местности: гидрографию, дорожную сеть, границы угодий, здания и пр.

Пикеты на местности ничем не отмечаются. Степень их густоты зависит от степени наличия контуров и прежде всего от характера рельефа. Сложный, сильно расчлененный рельеф требует пикетов значительно больше, чем легкий, спокойный. При этом всегда следует учитывать масштаб плана и стремиться к тому, чтобы даже при сложных рельефе и ситуации на 1 см<sup>2</sup> плана было не более четырех-пяти пикетов, при среднем рельефе на 1 см<sup>2</sup> достаточно одного пикета, а при легком — еще реже.

Расстановка реек по пикетам должна подчиняться продуманной системе. Так, рейку можно направить сначала по контурам (дороге, бровке оврага, берегу реки), а затем по основным формам рельефа (водоразделу, тальвегу и т.д.). Результаты наблюдений пикетов записывают в полевой журнал, нумерация их сквозная, т.е. продолжается на каждой последующей съемочной станции. Обычно, чтобы не спутать нумерацию пикетов, номер последнего пикета, взятого на каждой станции, подчеркивают в кроки (см. ниже) и в полевом журнале. Нумерацию пикетов необходимо все время сверять. Обязательной должна быть проверка каждого 10-го, 20-го и т.д. пикетов.

Против каждого пикета делают пометку, характеризующую его. Кроме того, все пикеты отображаются на специальном схематическом плане, называемом «*абрис*» (нем. Abriß) или «*кроки*» (фр. croquis — чертеж) (рис. 32).

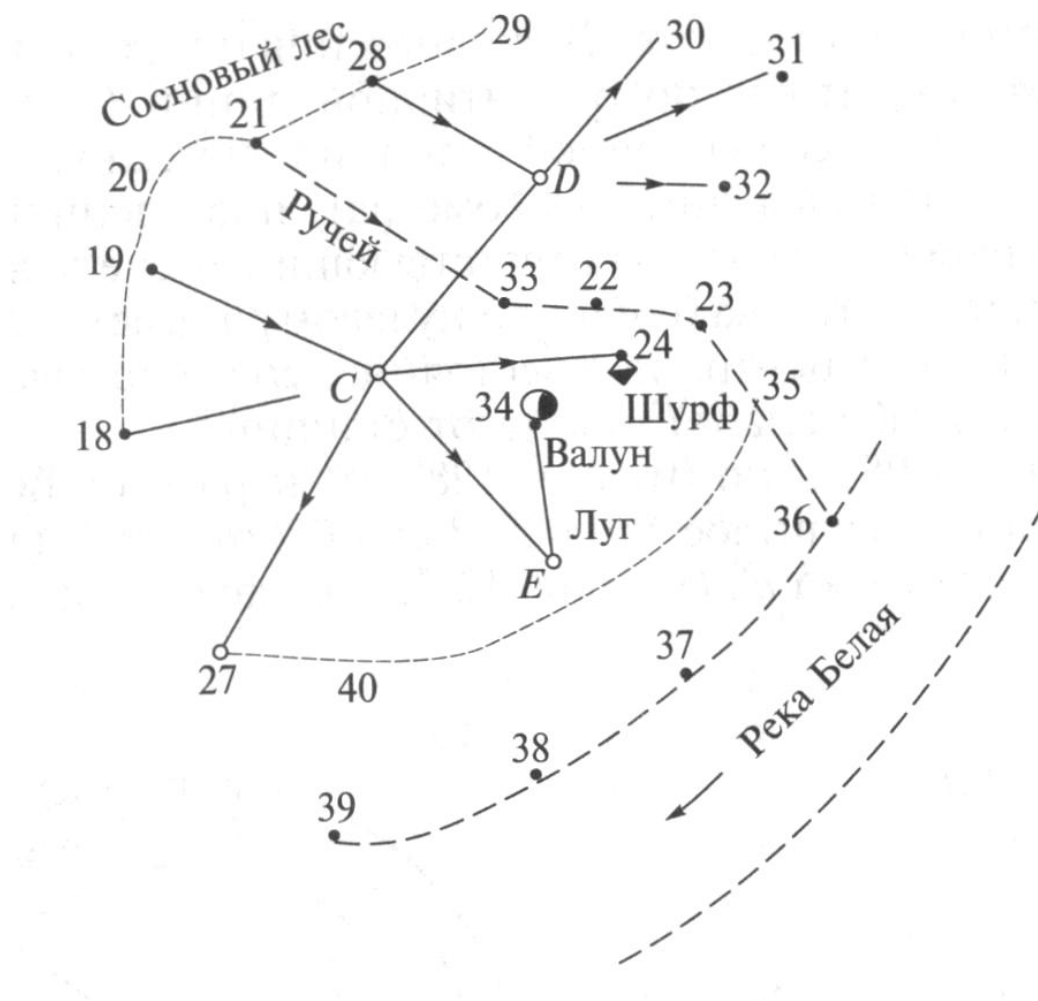


Рис. 32. Абрис.

Такой чертеж составляют на глаз в довольно крупном масштабе. На нем показывают основные элементы местности: контуры угодий; застройку; названия; какую форму примерно должны иметь горизонтالي, направления их интерполирования и другие сведения, характеризующие ситуацию и рельеф. Полевой журнал и кроки являются необходимыми документами для последующих камеральных работ и составления топографического плана.

#### **Камеральная обработка материалов тахеометрической съемки.**

В камеральных условиях вычисляют координаты (условные или в единой системе прямоугольных координат) всех точек тахеометрического хода. Для хода, в котором измерения длин его сторон проводили нитяным дальномером, допустимую погрешность в положении точек (м) вычисляют по формуле  $f_s = \Sigma S / 400 \sqrt{n}$ ,

где  $S$  — периметр (длина хода), м;  $n$  — число сторон хода.

Для получения высотных отметок всех точек хода вычисляют и уравнивают высотный ход, допустимая ошибка (см) которого равна  $f_{\Delta h} = 0,04 \Sigma S / \sqrt{n}$ .

Создание топографического плана начинается с нанесения станций по координатам, с которых выполнялась съемка. Накладка станций должна контролироваться путем определения расстояний между нанесенными точками.

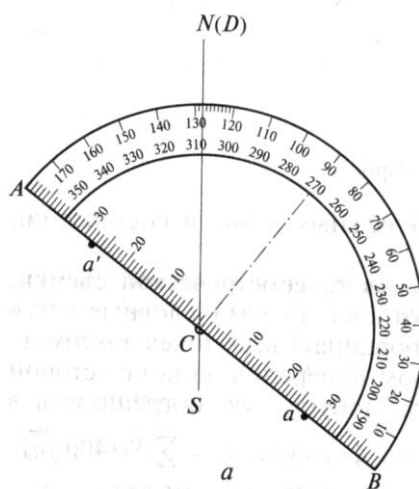


Рис. 33. Тахеометрический полукруглый транспортир.

Нанесение пикетов на план представляет довольно трудоемкую работу и производится с помощью специального транспортира. Существуют различные конструкции транспортиров: полукруглые, круглые с миллиметровой линейкой (см. рис. 33, а), бумажные, металлические, целлулоидные и др. В центре полукруглого транспортира, показанного на рис. 33, а, имеется тонкое отверстие для установки его наколкой на плане в точке стояния прибора. На диаметре  $AB$  указаны миллиметровые деления с подписью их в обе стороны от центра. Для нанесения пикета транспортир поворачивают так, чтобы по ориентирной линии (начальное - нулевое направление со съемочной станции на смежную точку по которой ориентировался лимб тахеометра), проведенной заранее на плане, получился отсчет, соответствующий отсчету в поле по лимбу тахеометра. Затем на бумаге по нулевому диаметру помечают точку, отстоящую от центра на расстояние, соответствующее расстоянию (в масштабе плана) пикета от станции.

Так, на рисунке 33, а по отсчету  $128^{\circ} 05'$  и расстоянию 26,8 м нанесен пикет  $a$  в масштабе 1 : 1 000. Если бы отсчет был  $308^{\circ} 05'$  то получилась бы точка  $a'$ . (На рисунке 33, а за начальное направление принято направление геодезического меридиана  $N$ ). По нанесенным таким способом пикетам согласно крокам и пометкам в полевом журнале производят рисовку рельефа и ситуации с соблюдением условных знаков.



При выполнении съемки электронным тахеометром последовательность всех операций сохраняется, но сами результаты измерений записываются исполнителем не в полевой журнал, а нажатием клавиши прибора в его внутреннюю память. Затем полевые измерения переписываются в ЭВМ. Это могут быть непосредственно сами измерения или уже по ним вычисленные координаты и высоты точек тахеометрического хода и пикетов. Если при производстве съемки выполнялось кодирование точек, то, используя набор специальных программ, можно выполнить рисовку ситуации и рельефа местности и напечатать готовый план на плоттере.

Лучшим способом контроля составленного плана является сопоставление изображения ситуации и рельефа с местностью.

## **Занятие 6. Изучение топографической карты: масштабный ряд, разграфка, номенклатура, условные знаки.**

### **Масштабы и их точность**

При составлении планов и карт горизонтальные проекции линий местности уменьшают в определенное число раз в зависимости от требований и точности, предъявляемых к планам и картам.

Степень уменьшения горизонтальных проекций линий местности при изображении их на плане или карте называется *масштабом*. Иными словами, масштаб есть отношение длины отрезка  $s$  на плане или карте к горизонтальной проекции соответствующего отрезка  $S$  на местности, т.е.  $s/S$  – масштаб. Различают численный и графический масштабы.

*Численный масштаб* – это правильная дробь, числитель которой есть единица, а знаменатель – число, показывающее, во сколько раз горизонтальные проекции линий местности уменьшены на плане или карте:

$$\frac{s}{S} = \frac{1}{S:s} = \frac{1}{M}$$

где  $M$  – знаменатель численного масштаба.

Чем больше значение знаменателя численного масштаба  $M$ , тем больше степень уменьшения горизонтальных проекций линий местности и тем мельче масштаб плана или карты. Численный масштаб – безразмерная величина, поэтому им можно пользоваться при измерениях в любых линейных мерах.

В геодезии наиболее часто применяются следующие масштабы: 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000 – для планов и 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:300000, 1:500000, 1:1000000 – для карт. Указанные отношения показывают, что горизонтальные проекции линий местности уменьшены на плане соответственно в 500, 1000, 2000 и т.д. раз, т.е. отрезку в 1 см на плане соответствуют на местности длины: 500 см или 5 м; 1000 см или 10 м; 2000 см или 20 м и т.д. На картах ниже подписи численного масштаба (например, 1:100000) приводится пояснительный масштаб: «в 1 сантиметре 100 м».

При помощи масштабов можно решать следующие задачи:

1. По длине горизонтальной проекции линии  $S$  на местности определить длину соответствующего отрезка  $s$  на плане масштаба  $1/M$ .

Пусть  $S = 275,5$  м, масштаб 1:5000

Из соотношения  $\frac{s}{S} = \frac{1}{M}$  находим  $s = \frac{S}{M} = \frac{27550 \text{ см}}{5000} = 5,51 \text{ см}$ .

2. По длине отрезка  $S$  на плане масштаба 1:2000 определить длину линии  $S$  на местности.

Пусть  $S = 3,62$  см,  $1/M = 1:2000$ .

Тогда  $S = sM = 3,62 \text{ см} \times 2000 = 7240 \text{ см} = 72,4 \text{ м}$ .



При большом объеме работ для исключения вычислений в решении указанных задач удобнее пользоваться графическими масштабами, к которым относятся линейный и поперечный масштабы.

*Линейным масштабом* называется графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии с делениями для отсчета расстояний (см. рис. 34, а).

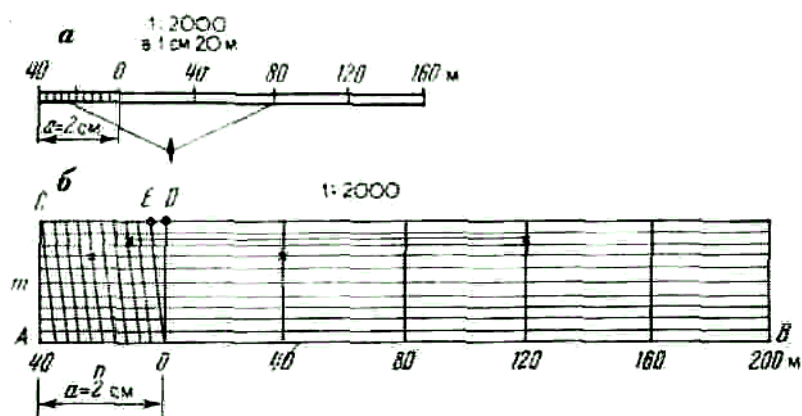


Рис. 34. Масштабы:  
а – линейный; б – поперечный.

Для построения линейного масштаба на прямой линии откладывают ряд отрезков одинаковой длины  $a$  (например,  $a = 2$  см), называемой *основанием линейного масштаба*. Крайний левый отрезок делят на 10 равных частей и на правом его конце ставят 0, а на левом – число метров (километров), которое на плане соответствует основанию в заданном масштабе. Вправо от 0 деления масштаба подписывают значениями соответствующих расстояний на местности. Размерность ставится один раз в правом конце линейного масштаба.

На рис. 34, а показан линейный масштаб для численного масштаба 1:2000, на котором раствором циркуля-измерителя найден отрезок на плане, соответствующий линии местности  $S=106$  м. При этом десятые доли малого деления оцениваются на глаз. В связи с этим линейный масштаб во многих случаях не позволяет измерять расстояния с необходимой точностью.

При оценке точности нанесения точек на план следует исходить из физиологических возможностей человеческого глаза. Как известно глаз человека способен отчетливо различать отрезок, равный 0,1 мм. Таков, например, диаметр кружка от укола остро отточенной иглы. Отсюда следует, что на плане (карте) в самом благоприятном случае можно изобразить лишь такие горизонтальные проекции линий местности, которым в данном масштабе соответствует отрезок 0,1 мм и более.

Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,1 мм на плане, называется *предельной точностью масштаба*.

Практически принимается, что длина отрезка на плане или карте может быть оценена с точностью  $\pm 0,2$  мм. Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,2 мм на плане, называется *графической точностью масштаба*.

Для повышения точности измерений расстояний на плане или карте применяют поперечный масштаб.

*Поперечный масштаб* является разновидностью линейного масштаба. Для его построения на отрезке прямой  $AB$  (рис. 13, б) несколько раз откладывают основание масштаба, равное обычно 2 см. В полученных точках восстанавливают перпендикуляры к линии  $AB$  произвольной, но равной длины. Два крайних перпендикуляра делят на  $m$  равных частей и через одноименные точки проводят линии, параллельные прямой  $AB$ . Левое нижнее  $AO$  и верхнее  $CD$  основания делят на  $n$  равных частей; точку  $O$  нижнего основания соединяют

наклонной линией с первой точкой  $E$  верхнего основания  $CD$ , а через все остальные точки проводят линии, параллельные  $OE$ , называемые трансверсалиями.

Определяя величину наименьшего деления поперечного масштаба из подобия треугольников  $OED$  и  $Oed$  можно найти величину наименьшего деления поперечного масштаба.

Если основание поперечного масштаба  $a=2$  см, а левое основание и перпендикуляры разделены на 10 частей, т.е.  $m \cdot n = 100$ , то имеем *нормальный сотенный поперечный масштаб*. У такого масштаба отрезки между перпендикуляром  $OD$  и трансверсалью  $OE$  (см. рис. 13, б) составляют сотые доли основания масштаба.

*Точностью поперечного масштаба* называется горизонтальное расстояние на местности, соответствующее наименьшему делению масштаба. Например, для масштаба 1:2000 точность составляет 0,4 м. Для нормального сотенного поперечного масштаба его точность равна графической точности масштаба.

Поперечный масштаб обычно гравировуют на металлических пластинках, которые закрепляются на некоторых геодезических приборах (геодезических транспортирах, масштабных линейках, кипрегелях). Оцифровка поперечного масштаба производится так же, как и линейного – в соответствии с численным масштабом. С помощью поперечного масштаба можно решать те же задачи, что и по численному или линейному масштабам.

Каждая линия, откладываемая на плане или карте с помощью поперечного масштаба, складывается из трех частей: а) числа целых оснований, взятых от нулевого перпендикуляра до правой ножки циркуля; б) числа малых делений (десятых долей основания), взятых от нулевого перпендикуляра до левой ножки циркуля; в) сотых долей основания, расположенных между вертикальной линией и трансверсалью. Аналогично можно решить обратную задачу – по длине отрезка на плане или карте определить длину соответствующей линии местности.

Для примера на поперечном масштабе 1:2000 (см. рис. 13, б) показано положение ножек циркуля-измерителя при взятии отрезков длиной 62,8 и 131,4 м. При пользовании поперечным масштабом необходимо следить, чтобы концы обеих ножек циркуля-измерителя располагались на одной горизонтальной линии масштаба либо в середине между одноименными горизонтальными линиями.

### **Понятие о плане, карте и профиле**

Основным итогом топографо-геодезических работ является чертеж земной поверхности, составленный по определенным правилам и отвечающий установленным требованиям. Такими чертежами являются план, карта и профиль.

Из приведенного ранее видно, что при изображении небольшого участка земной поверхности (в пределах площади круга радиусом до 10 км) соответствующую ему часть уровенной поверхности можно принять за горизонтальную плоскость. Следовательно, при ортогональном проектировании точек земной поверхности на горизонтальную плоскость горизонтальные проекции линий и углов местности будут получены без искажений. Чертеж, дающий в уменьшенном и подобном виде изображение горизонтальной проекции небольшого участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается, называется *планом*.

На плане могут изображаться ситуация и рельеф. Ситуацию местности составляет совокупность контуров и неподвижных местных предметов. К рельефу относятся неровности земной поверхности естественного происхождения.

Если на плане изображается только ситуация, то такой план называется *ситуационным* или *контурным*. Если кроме ситуации на плане изображается рельеф, то такой план называется *топографическим*. По плану можно решать различные задачи: измерять расстояния между точками местности, углы между заданными направлениями,

площади участков земной поверхности, определять отметки точек, крутизну скатов и т. п. Точность решения указанных задач зависит от масштаба плана.

Имея топографический план, можно составить изображение вертикального разреза местности по заданному направлению, называемое *профилем*. Профиль характеризует рельеф по линии местности. План и профиль служат основными исходными документами при проектировании и строительстве инженерных сооружений.

При изображении значительных территорий земной поверхности возникает необходимость учета кривизны Земли. Уменьшенное и искаженное из-за кривизны земли изображение значительных территорий земной поверхности на плоскости построенное в определенной картографической проекции, называется *картой*. При построении карты на плоскости бумаги наносится сетка меридианов и параллелей, называемая *картографической сеткой*, которая служит основой для нанесения ситуации местности.

*План* и *карта* представляют собой уменьшенное изображение на плоскости бумаги проекций участков местности, однако между ними имеются существенные различия:

1. Масштаб в пределах плана есть величина постоянная; на карте масштаб изменяется от точки к точке и по направлениям. Установленный для данной карты масштаб соблюдается только по одному из направлений (по одному меридиану или параллели); этот масштаб называется *главным*. В остальных частях карты масштабы отличаются от главного и называются *частными*.

2. Карты выполняются в масштабах 1:10000, 1:50000, 1:100000 и мельче; планы строятся в более крупных масштабах: 1:100, 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000 и реже 1:10000.

В зависимости от масштаба карты условно делятся на крупномасштабные – от 1:10000 до 1:100000, среднемасштабные – от 1:200000 до 1:1000000 и мелкомасштабные – мельче 1:1000000.

Крупномасштабные карты называются топографическими и состояются по результатам топографических съемок территорий. Топографические карты имеют многоцелевое назначение и характеризуются детальностью изображения всех элементов местности. Этим они отличаются от карт специального назначения, на которых особо выделяется один или несколько элементов (административные, почвенные, геологические и т.п.), тогда как остальные элементы представлены схематично либо вообще отсутствуют.

### **Номенклатура карт и планов**

Карты территории России являются многолистными. Каждый лист карты ограничен меридианами и параллелями, протяженность которых зависит от масштаба карты. Наличие многолистных карт разных масштабов потребовало создания определенной системы учета отдельных листов карт для быстрого их нахождения. Такая система обозначения (нумерации) отдельных листов многолистной карты называется *номенклатурой*.

В основу номенклатуры карт различных масштабов положена международная разграфка карты масштаба 1:1000 000. Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят (рис.14) меридианами от Гринвичского меридиана через 6° по долготе на 60 колонн, которые нумеруются арабскими цифрами на восток от 180-градусного меридиана. Таким образом, номер колонн отличается от номера 6-градусной зоны на 30. Каждая колонна делится параллелями через 4° по широте на ряды, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита, к северу и югу от экватора.

Номенклатура листа масштаба 1:1000000 складывается из двух индексов: обозначения пояса и номера колонны. Так, г. Москва расположен на листе N-37 (см. рис. 14). По международному соглашению номенклатура листов карты масштаба 1:1000000 принята единой для всех стран, в то время как для карт других масштабов она может быть различной.

Деление листа карты одного масштаба на листы карты более крупного масштаба называется *разграфкой карты*. Разграфка листа карты на части предусматривает получение листов карт различных масштабов примерно одинаковых размеров.

В нашей стране лист карты масштаба 1:1000000 является исходным для установления номенклатуры листов карт более крупного масштаба.

Для получения карты масштаба 1:500000 лист карты масштаба 1:1000000 делят на 4 части, которые обозначают прописными буквами русского алфавита (рис. 15, а). Номенклатура листа карты масштаба 1:500000 складывается из номенклатуры листа исходного масштаба 1:1000000 с добавлением индекса листа масштаба 1:500000 (например, N-37-Г).

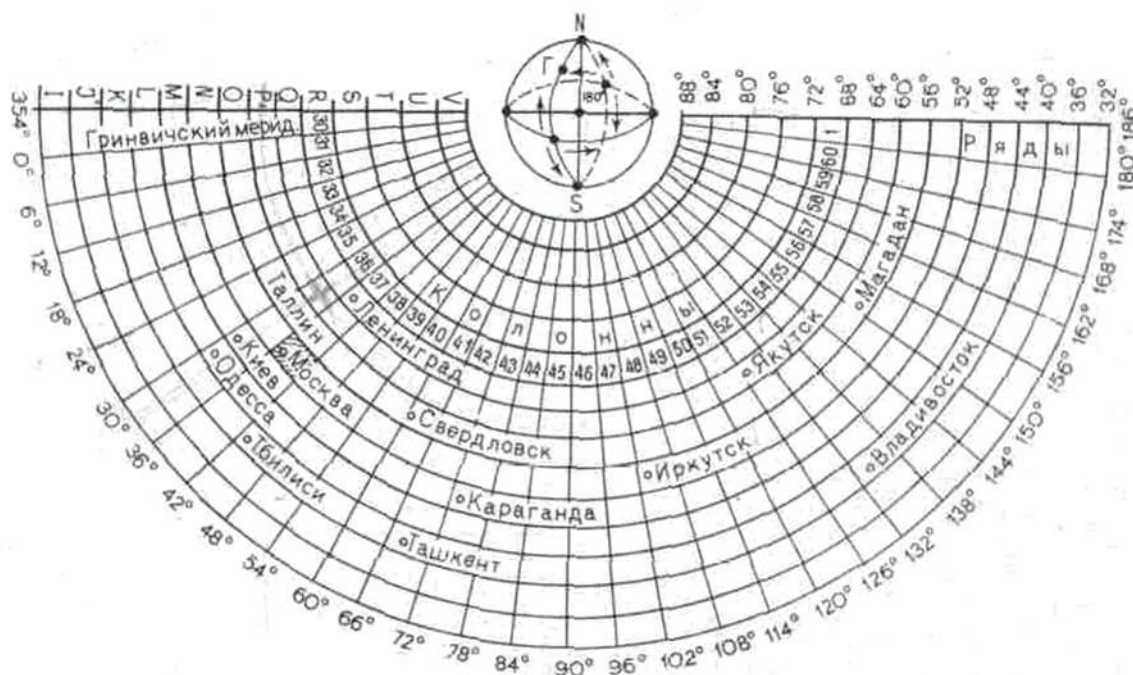


Рис. 35. Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1: 1000000.

В одном листе карты масштаба 1: 1000000 содержится 9 листов карты масштаба 1: 300000, которые обозначаются римскими цифрами от I до IX, подписываемыми перед номенклатурой миллионного листа, например, IV-N-37 (см. рис. 36, а). Если миллионный лист карты разделить на 36 частей, то каждая часть будет составлять лист карты масштаба 1:200000. Каждый лист нумеруется римскими цифрами от I до XXXVI, начиная с северо-западного угла. Номенклатура листа карты масштаба 1:200000 складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей римской цифры, например N-37-XXXVI (рис. 36, б).

Лист карты масштаба 1:100000 получается при делении листа карты масштаба 1:1000000 на 144 части, которые нумеруются арабскими цифрами от 1 до 144. Его номенклатура складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей арабской цифры, например N-37-144 (рис. 36, в).

Лист карт масштабов от 1:50000 до 1:10000 получают последовательным делением листа карты более мелкого предыдущего масштаба на 4 части. Так, если разделить лист карты масштаба 1:100000 на 4 части, обозначив каждую из них заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, то получим 4 листа карты масштаба 1:50000. Номенклатура листа Г масштаба 1:50000 будет N-37-144-Г (рис. 36, г). Лист карты масштаба 1:50000 делится на 4 листа масштаба 1:25000, обозначаемые строчными буквами русского алфавита. Например, лист г масштаба 1:25000 имеет номенклатуру N-37-144-Г-г (рис. 36, д). Лист карты масштаба 1:25000 делится на 4 листа масштаба 1:10000, которые обозначаются





С внешней стороны граничных линий каждой трапеции, нанесены картографическая рамка (см. рис. 37), которая разделена на минутные интервалы по широте (правая и левая стороны) и по долготе (верхняя и нижняя стороны трапеции). Для удобства пользования минутные интервалы чередуются двойными и зачерненными линиями. Каждый минутный интервал разбит на шесть десятисекундных интервалов, обозначенных точками.

Наличие указанной шкалы минут и секунд в сочетании с обозначением географических координат углов внутренней рамки позволяет решать следующие задачи: определение географических координат точек, расположенных в пределах данного листа карты; нанесение на карту точек по заданным географическим координатам.

Соединив однозначные деления минут или секунд долготы, нанесенные на северной и южной рамках, получим направление истинного или географического меридиана данной долготы.

**Задача 1.** Определить широту и долготу точки  $A$  на карте.

**Решение:**

Проведем через точку  $P$  истинный меридиан, для чего проведем через точку  $P$  линию соединяющую однозначные деления минут и секунд, нанесенные на северной и южной рамках карты. Определим долготу этого меридиана. Для этого надо сосчитать сколько минут и секунд заключено между западной стороной рамки и истинным меридианом точки  $P$ , полученное число минут и секунд прибавить к долготе западной рамки. Получаем долготу точки  $P$  –  $\lambda = 18^\circ 05' + 0' 24'' = 18^\circ 05' 24''$  восточной долготы (см. рисунок 37).

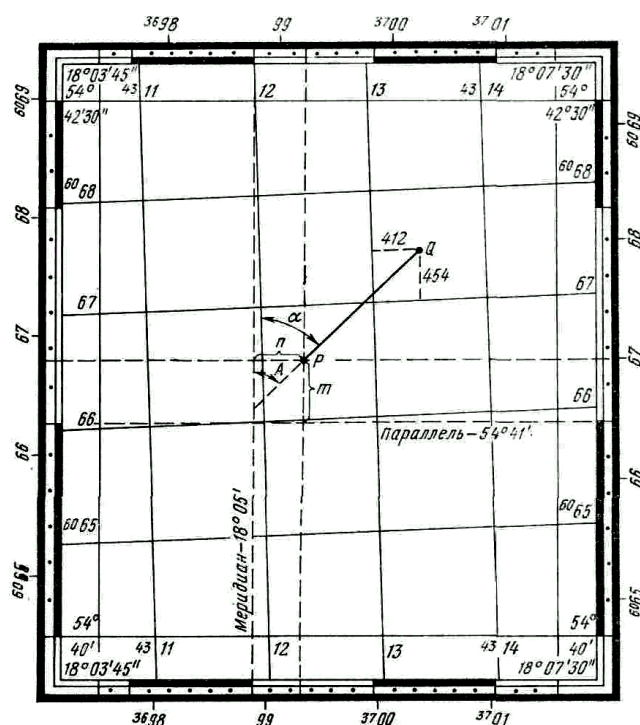


Рис. 37. Схема картографической рамки топографических карт и планов.

Широту точки  $P$  находим аналогичным способом, пользуясь делениями западной и восточной рамок:  $\varphi = 54^\circ 41' + 0' 18'' = 54^\circ 41' 18''$  северной широты.

Задача по определению положения точки на карте, зная ее географические координаты, решается в обратной последовательности.

**Задача 2.** На карте отмечена линия  $PQ$ , определить дирекционный угол этой линии, истинный и магнитный азимуты.

**Решение.**

Измерение на карте (плане) углов ориентирования. Для измерения дирекционного угла линии  $PQ$  можно через начальную ее точку  $P$  провести линию, параллельную оси абсцисс (параллельно линии прямоугольной сетки координат), и непосредственно при этой точке измерить дирекционный угол. Однако обычно проще продолжить данную прямую линию до пересечения ею координатной линии и измерить дирекционный угол в точке пересечения.

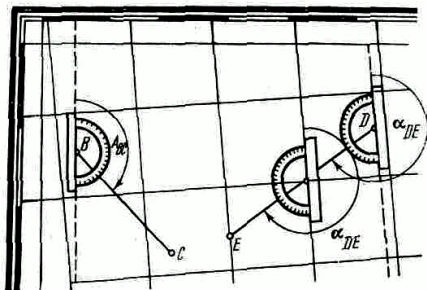


Рис.38. Схема измерения истинного азимута и дирекционного угла на карте

Для непосредственного измерения географического азимута линии через начальную ее точку проводят меридиан (параллельно восточной или западной рамке листа) и относительно него измеряют азимут. Так как проведение меридиана затруднительно, то проще первоначально определить дирекционный угол искомого направления, а затем вычислить азимут по формуле

$$A = \alpha + (\gamma),$$

где  $\gamma$  – сближение меридианов.

Кроме градусной сетки на карту наносится *квадратная координатная сетка* зональной системы плоских прямоугольных координат. Стороны квадратов этой сетки обычно выражаются целым числом километров, поэтому ее называют километровой.

Линии километровой сетки, проведенные с юга на север, параллельны осевому меридиану зоны (т.е. оси  $Ox$ ), а линии, проходящие с запада на восток, параллельны изображению экватора на плоскости проекции (т.е. оси  $Oy$ ). Подписи горизонтальных линий соответствуют расстоянию в километрах от экватора, а вертикальных – их приведенным ординатам (первая цифра обозначает номер зоны, а последующие – приведенную ординату линии). С помощью километровой сетки определяются прямоугольные координаты  $(x, y)$  точек на карте.

В общем случае на листах карты, не примыкающих к осевому меридиану зоны, вертикальные линии километровой сетки повернуты на западе или востоке относительно меридианов градусной сетки на величину сближения меридианов. Если лист карты расположен в западной части зоны, то километровая сетка развернута на запад относительно градусной сетки, и наоборот. Например, изображенный на рисунке 37 лист карты расположен в восточной части зоны, поэтому километровая сетка развернута на восток на угол сближения меридианов  $\gamma$ .

Для определения прямоугольных координат точки  $(x, y)$  по плану или карте пользуются координатной (километровой) сеткой, линии которой параллельны и перпендикулярны осевому меридиану зоны. Координаты вершин квадратов координатной сетки даны в зональной системе и подписаны на карте, например, запись 6065 означает, что абсцисса  $x=6065$  км от экватора, запись 4311 означает, что ордината  $y = 311$  км, цифра 4 указывает номер шестиградусной зоны.

**Задача 3.** Определить прямоугольные координаты точки  $Q$  (рис. 37).

**Решение.** Для определения прямоугольных координат точки  $Q$  (см. рис. 37) находят координаты  $(x_0, y_0)$  юго-западного угла квадрата, в котором находится данная точка. Затем из точки  $Q$  на стороны квадрата опускают перпендикуляры и с учетом масштаба карты определяют длины  $\Delta x$  и  $\Delta y$ .

Например, прямоугольные координаты точки  $Q$  будут:  $x=6\ 017\ 510$  м;  $y=3\ 461\ 670$  м..

Задача по нанесению на карту точки, заданной геодезическими или прямоугольными координатами, является обратной относительно рассмотренной выше задачи по определению координат точек на карте. Точность решения этих задач зависит от масштаба карты.

### **Условные знаки планов и карт**

Важнейшим показателем качества топографических карт и планов наряду с точностью является их наглядность. Она достигается применением специальных условных знаков, с помощью которых на картах и планах изображаются ситуации и рельеф местности. К ситуации относится совокупность контуров местности и неподвижных местных предметов (контуры лесов, пашен, водоемов, дороги, населенные пункты и т.д.). *Рельефом* называется совокупность неровностей земной поверхности естественного происхождения (горы, лощины, хребты, и т.д.).

Условные знаки, изображающие ситуацию местности, подразделяются на площадные, внемасштабные, линейные и пояснительные.

*Площадные* или *масштабные условные знаки* служат для изображения объектов, занимающих значительную площадь и выражающиеся в масштабе карты или плана. Площадной условный знак состоит из знака границы объекта и заполняющих его знаков или условной окраски. Контур объекта показывается точечным пунктиром (контур леса, луга, болота), сплошной линией (контур водоема, населенного пункта) или условным знаком соответствующей границы (канавы, изгороди). Заполняющие знаки располагаются внутри контура в определенном порядке (произвольно, в шахматном порядке, горизонтальными и вертикальными рядами). Площадные условные знаки позволяют не только найти расположение объекта, но и оценить его линейные размеры, площадь и очертания.

*Внемасштабными* называются такие условные знаки, которыми предметы местности изображаются без соблюдения масштаба карты или плана (например, отдельное дерево, километровый столб, колодец и т.д.). Эти знаки не позволяют судить о размерах изображаемых местных предметов; положению предмета на местности соответствует определенная точка знака (обычно в центре или в вершине прямого угла у основания знака). Следует учесть, что одни и те же местные предметы на картах или планах крупных масштабов могут быть выражены площадными (масштабными) условными знаками, а на картах мелких масштабов – внемасштабными условными знаками.

*Линейные условные знаки*, изображающие железные, автогужевые дороги, ручьи, границы и другие протяженные объекты, занимают промежуточное положение между масштабными и внемасштабными условными знаками. Длина таких объектов выражается в масштабе карты, а ширина на карте – вне масштаба; обычно она больше ширины изображаемого объекта местности, а его положению соответствует продольная ось условного знака.

*Пояснительные условные знаки* служат для дополнительной характеристики изображаемых на карте местных предметов: например, длина и грузоподъемность моста, ширина и характер покрытия дорог, средняя толщина и высота деревьев в лесу, глубина и характер грунта брода и т.д. Различные надписи и собственные названия объектов на картах также носят пояснительный характер; каждая из них выполняется установленным шрифтом и буквами определенного размера.

Рельеф местности на топографических планах и картах изображается методами штрихов, цветной пластики, отметок или горизонталей. На картах крупного масштаба и плане рельеф изображается, как правило, методом горизонталей, имеющим значительные преимущества перед всеми остальными методами.



В зависимости от масштаба карт или плана местные предметы показываются с различной подробностью. Так, например, если на плане масштаба 1:2000 в населенном пункте будут показаны не только отдельные дома, но и их форма, то на карте масштаба 1:50000 – только кварталы, а на карте масштаба 1:1000000 весь город обозначится небольшим кружком. Подобное обобщение элементов ситуации и рельефа при переходе от более крупных масштабов к более мелким называется *генерализацией карт*.

## **Занятие 7. Определение по карте координат, ориентирующих углов, площади с помощью планиметра и палетки.**

### **Измерение площадей по планам и картам**

Для решения многих инженерных задач требуется знать площади участков местности. Эти площади могут быть измерены по плану или карте графическим, аналитическим и механическим способами либо их комбинациями. Следует иметь в виду, что по планам (картам) площадь определяется с меньшей точностью, чем по результатам непосредственных измерений на местности; при этом на точность определения площадей, кроме погрешностей измерений на местности, оказывают влияние погрешности построения плана (карты) и измерений на них, а также деформация бумаги.

Для определения площадей небольших участков по плану или карте применяется *графический способ* с разбивкой участка на геометрические фигуры либо с помощью палеток.

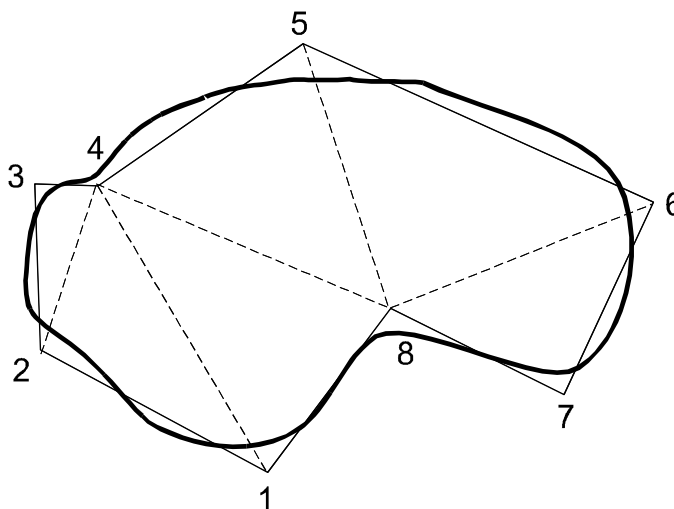


Рис. 39. Измерение площади участка разбивкой на геометрические фигуры.

В первом случае искомую площадь небольшого (до 10 – 15 см<sup>2</sup> в плане) участка разбивают на простейшие геометрические фигуры: треугольники, прямоугольники (см. рис. 39). При криволинейном контуре участка его разбивка на геометрические фигуры выполняется заменой криволинейной фигуры равновеликим многоугольником, площадь которого находится разбиением его на простые геометрические фигуры: треугольники и прямоугольники. Затем на плане (карте) измеряют соответствующие элементы фигур (длины оснований и высоты) и по геометрическим формулам вычисляют площади этих фигур. Площадь всего участка определяется как сумма площадей отдельных фигур.

Точность определения площади в рассматриваемом случае во многом зависит от масштаба плана (карты): чем мельче масштаб, тем грубее измеряется площадь. Поскольку графическая погрешность линейных измерений на плане ( $t_{zp}=0,2$  мм) не зависит от длины отрезков, то относительная погрешность короткой линии будет больше, чем длинной. Поэтому заданный участок следует разбивать на фигуры возможно больших размеров с примерно одинаковыми длинами оснований и высот.

Для контроля и повышения точности площадь участка определяется дважды, для чего строят новые геометрические фигуры или в треугольниках измеряют другие основания и высоты. Относительное расхождение в результатах двукратных определений общей площади участка не должно превышать 1:200.

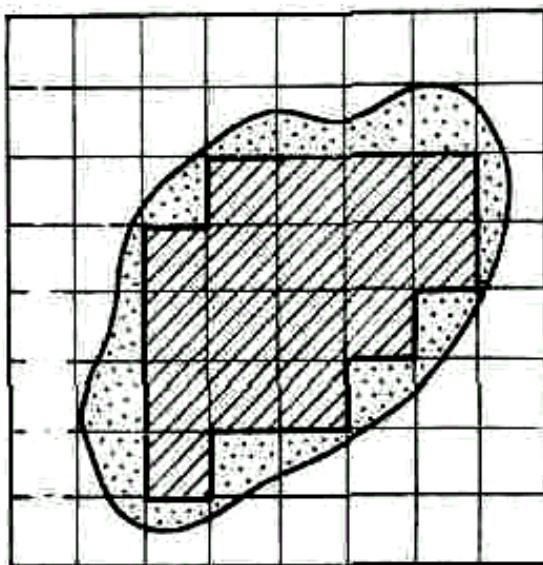


Рис. 40. Определение площади с помощью квадратной палетки.

Определение площадей (до 2–3 см<sup>2</sup>) участков с резко выраженными криволинейными границами рекомендуется производить с помощью квадратной палетки. Палетка представляет собой (см. рис.40) лист прозрачной основы (стекла, целлулоида, кальки или восковки), на которую нанесена сетка квадратов со сторонами 1 – 5 мм. Зная длину сторон и масштаб плана, легко вычислить площадь квадрата палетки  $s$ .

Для определения площади участка палетку произвольно накладывают на план и подсчитывают число  $N_1$  полных квадратов, расположенных внутри контура участка. Затем оценивают на глаз число квадратов  $N_2$ , составляемых из неполных квадратов у границ участка. Тогда общая площадь измеряемого участка

$$S = s(N_1 + N_2)$$

Для контроля площадь заданного участка измеряют повторно, развернув палетку примерно на 45°. Относительная погрешность определения площади палеткой составляет 1:50 – 1:100.

При определении площадей до 10 см<sup>2</sup> можно использовать параллельную (линейную) палетку (рис. 41), представляющую собой лист прозрачной основы, на которой через равные промежутки  $a=2-5$  мм нанесен ряд параллельных линий.

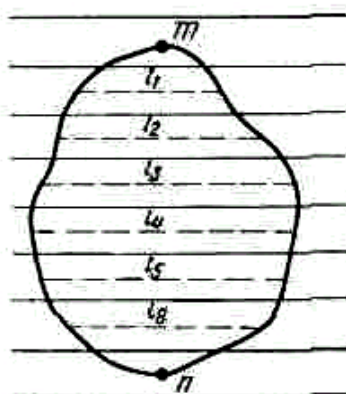


Рис. 41. Определение площади с помощью линейной палетки.

Палетка накладывается на заданный участок таким образом, чтобы крайние точки  $m$  и  $n$  контура разместились посередине между параллельными линиями палетки. В результате измеряемая площадь оказывается расчлененной на фигуры, близкие к трапециям с равными высотами; при этом отрезки параллельных линий внутри контура являются средними линиями трапеции. Следовательно, для определения площади участка с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки нужно измерить длины средних линий трапеций  $l_1, l_2, \dots, l_n$  и их сумму умножить на расстояние между линиями с учетом масштаба плана, т.е.

$$S = a(l_1 + l_2 + \dots + l_n) = a \sum_{i=1}^n l_i$$

Для контроля измеряют площадь при втором положении палетки, развернув ее на 60–90° относительно первоначального положения.

Если по результатам измерений на плане (карте) определены координаты вершин замкнутого многоугольника, то его площадь может быть определена *аналитическим способом*.

Если известны координаты вершин многоугольника с числом вершин  $n$  при их оцифровке по ходу часовой стрелки формулы для вычисления площади запишутся так:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad \text{или} \quad S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$$

где  $x_i, y_i$  – координаты вершин многоугольника.

Для контроля вычисления производят по обеим формулам. Если координаты точек получены по результатам измерений на местности, то точность способа повышается, так как при этом на точность вычисления площади влияют лишь погрешности угловых и линейных измерений на местности. Так, при измерении углов с точностью 1' и длин линий с точностью 1:2000 относительная погрешность определения площади составит примерно 1:1500.

В инженерной практике для определения площадей достаточно больших участков по планам или картам наиболее часто применяется механический способ, основанный на использовании специального прибора – *планиметра*.

Полярный планиметр состоит из двух частей: полюсного рычага 1, на правом конце которого укреплен грузик с иглой для фиксации полюса 2, и обводного рычага 3, на правом конце которого укреплена лупа 4 с точечным индексом в ее центре.

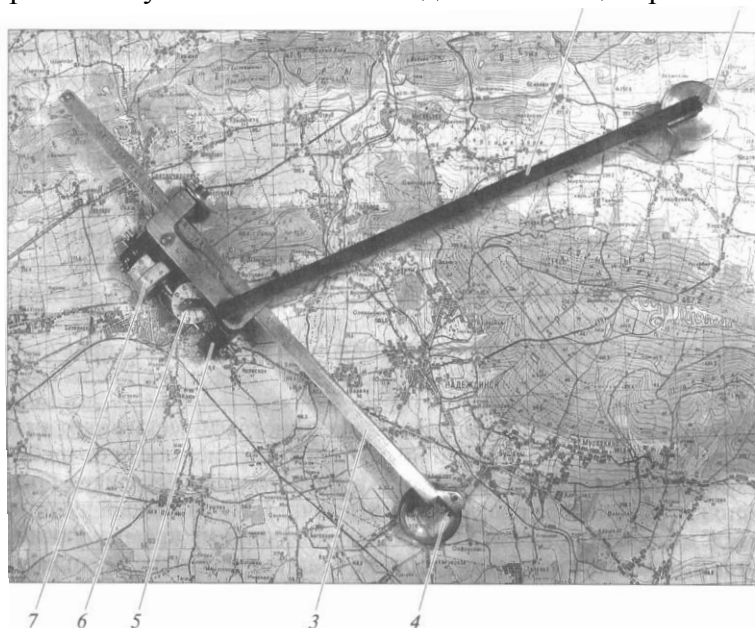


Рис. 42. Полярный планиметр в рабочем положении:

- полюсный рычаг; 2 - полюс; 3 - обводный рычаг; 4 - лупа с точечным индексом в центре; 5 - каретка с измерительным устройством; 6 - горизонтальный циферблат; 7 — измерительное колесико.

На обводном рычаге расположена и каретка с измерительным устройством 5 (может устанавливаться на разных частях обводного рычага). На левом конце полюсного рычага имеется шарнир, который вставляется в отверстие счетного механизма на обводном рычаге. Для производства измерений планиметр накладывают на лист карты таким образом, чтобы при фиксированном положении иглы-полюса можно было обвести заданный контур индексом на линзе. Для повышения качества результата следует так расположить полюс относительно измеряемой фигуры, чтобы при обводке полюсный и обводный рычаги не складывались и не вытягивались в одну линию, а измерительное колесико счетного механизма — основной чувствительный элемент планиметра — при обводке вращалось в одинаковых условиях трения (соприкасалось бы только с картой, а не попеременно — то с картой, то с поверхностью стола).

Процедура измерения площади заключается в полной обводке определяемой фигуры по ее контуру. Укрепив в удобном месте полюс, устанавливают обводный индекс планиметра над какой-либо заметной точкой границы фигуры. По шкалам отсчетного устройства берут отсчет ( $n_1$ ), который обычно является четырехзначным числом (первая цифра снимается с горизонтального циферблата 6, остальные три — с измерительного колесика 7). Затем старательно обводят определяемую фигуру по контуру полностью, т.е. возвращают обводный индекс в первоначальное положение и берут второй отсчет ( $n_2$ ). В случае расположения полюса вне измеряемой фигуры ее площадь определяется по формуле

$$P = C(n_2 - n_1),$$

где  $C$  — переводной коэффициент размерности, или коэффициент планиметра. Если измеряемый участок имеет значительную величину (полюс планиметра внутри фигуры), то формула вычисления площади включает еще одно постоянное слагаемое  $P_0$  — площадь окружности, радиус которой равен длине полюсного рычага:

$$P = C(n_2 - n_1) + P_0$$

В зависимости от направления обводки (по часовой стрелке или против) отсчет  $n_2$  будет соответственно больше или меньше отсчета  $n_1$ . В вышеприведенных формулах разность отсчетов берется по модулю (площадь отрицательной не бывает). Значение коэффициента  $C$  можно изменить путем перемещения счетного механизма вдоль стержня обводного рычага.

Важное условие правильности показаний планиметра — соблюдение требования перпендикулярности плоскости измерительного колесика к оси обводного рычага. Так как в реальных инструментах оно выполняется не идеально, то для компенсации возникающей систематической погрешности еще в XIX в. создатели полярного планиметра предложили каждый определяемый участок площади измерять дважды — при двух положениях планиметра: «полюс право» (ПП) и «полюс лево» (ПЛ). Чтобы определить в каком положении — ПП или ПЛ — находится планиметр, необходимо, предположив свое местонахождение на линзе-индексе, взглянуть вдоль оси обводного рычага: если полюс-игла находится справа от обводного рычага — это положение ПП, если слева — ПЛ. В реальном планиметре в зависимости от направления отклонения плоскости колесика от положения, перпендикулярного оси обводного рычага, результат измерений несколько завышается при одном положении полюса и ровно на столько же занижается при другом. Среднее значение из двух измерений (одно при ПП, другое при ПЛ) в значительной степени свободно от этого влияния (компенсировано). Перемена полюса заключается в симметричном изменении угла излома между шарнирно соединенными рычагами планиметра без изменения положения точки полюса на плоскости карты.

При некотором навыке с помощью планиметра удастся определять площади с относительной погрешностью около 1/400. В настоящее время на геодезическом рынке

получают распространение, несмотря на высокую стоимость, электронные планиметры (см. рис. 43) обоих их типов — полярные и линейные (роликовые). Точность электронных планиметров аналогична точности механических, однако отсчеты по их цифровым табло брать значительно удобнее.

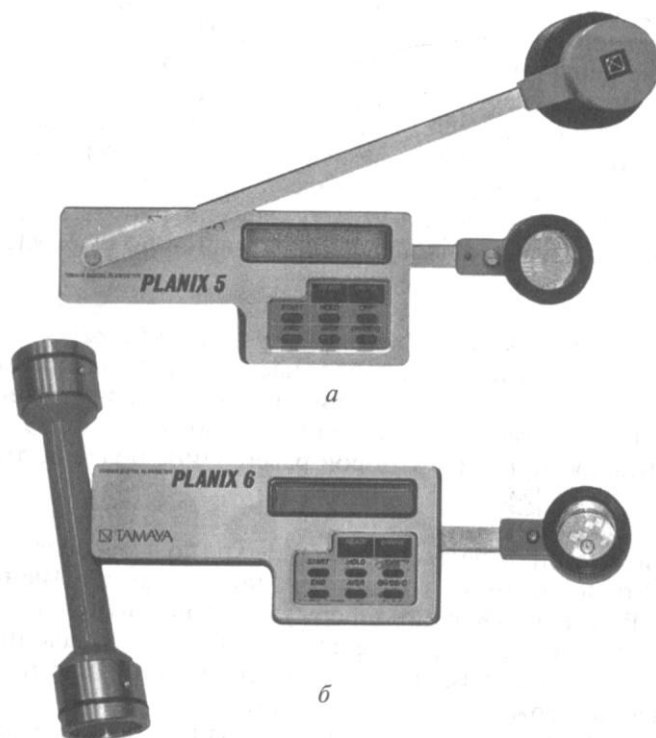


Рис. 43. Электронные планиметры Planix полярного (а) и линейного (б) типов.

## Занятие 8. Технические средства аэрофотосъемки для целей картографирования.

Практически со времени появления фотографии (1839 г.) начались поиски путей ее применения в целях сбора топографо-геодезической информации. Первый аэрофотоснимок был выполнен в 1858 г. Ф. Турнашоном, фотохудожником, работавшим под псевдонимом Надар, с воздушного шара над Парижем. В России первым был аэрофотоснимок Санкт-Петербурга, сделанный в 1886 г. поручиком А. М. Кованько. С тех пор деятельность по разработке технических средств получения аэрофотоизображений и методов их обработки в целях извлечения разного рода информации о местности продолжает стремительно развиваться. В связи с существенным расширением диапазона электромагнитных излучений, используемых для получения изображений земной поверхности, содержание термина «аэрофотосъемка» также постепенно расширялось: аэрофотографирование, аэросъемка, аэрометоды, радиолокационная, тепловая и сканерная съемки, дистанционное зондирование (так чаще всего переводится получивший распространение в англоязычной литературе термин «remote sensing»).

В настоящее время в аэросъемке наиболее широко используются четыре диапазона — интервала электромагнитных колебаний, соответствующих областям прозрачности атмосферы Земли: видимая часть спектра (длины волн 0,4 — 0,8 мкм); инфракрасная, или тепловая, зона спектра (0,8 — 1,0 мкм); микроволновое излучение (1 — 10 мм) и радиодиапазон (около 0,01 — 1,0 м). Задачей настоящего подраздела является в основном знакомство с аэрофотографированием в видимой области спектра. В России такие работы ведут лётно-съемочные отряды гражданской авиации по договорам с предприятиями-заказчиками. Технические условия выполнения такого рода работ регламентируются Основными положениями по аэросъемке, выполняемой для создания и обновления

топографических карт и планов (Министерство транспорта. Федеральная служба геодезии и картографии, 1982).

Основным техническим средством получения аэрофотоснимков является аэрофотоаппарат (АФА). Обычно это комплект (см. рис. 44), в который кроме собственно АФА входят навигационный визир В, позволяющий определять действительную путевую скорость и направление полета носителя; командный прибор КП — панель с рукоятками управления автоматической работой АФА; статоскоп СТ — дифференциальный барометр-высотомер для определения разности высот фотографирования соседних аэроснимков; радиовысотомер РВ; система определения плановых координат центров фотографирования GPS( $x, y$ ) (с помощью спутниковых приемоиндикаторов). Электропитание обеспечивается за счет бортовой сети БС. Обычно этот комплект размещается на борту самолета, хотя при аэрофотографировании могут применяться и другие носители: вертолеты, воздушные шары, дирижабли, радиоуправляемые модели и даже воздушные змеи.

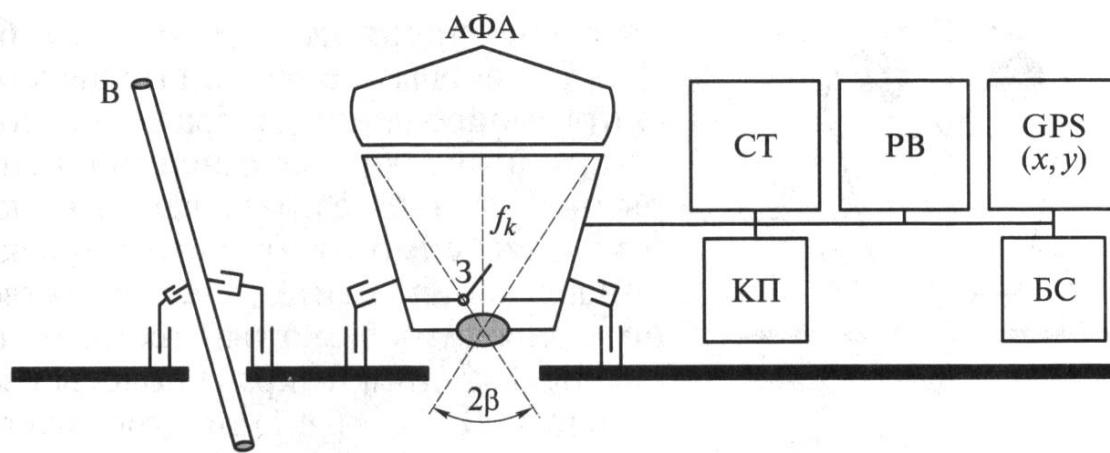


Рис. 44. АФА с комплектом вспомогательного бортового оборудования:  
З — затвор; В — визир; СТ — статоскоп; РВ — радиовысотомер; GPS( $x, y$ ) — система определения плановых координат; КП — командный прибор; БС — бортовая сеть;  $f_k$  — фокусное расстояние;  $2\beta$  — угол поля изображения

Разнообразные конструкции АФА принято делить на три группы: кадровые АФА, панорамные и щелевые. Для получения строгой в геометрическом отношении информации о местности применяют в основном кадровые АФА, остальные типы камер предназначены для сбора оперативной информации (В. Вельцер, 1990). Панорамный АФА (ПАФА) позволяет получать изображение узкой полосы местности поперек маршрута движения от горизонта до горизонта, щелевой (АФАЩ) — полосу вдоль маршрута движения на бреющем полете без потери резкости при большой скорости и малой высоте. Объектив ПАФА вращается в плоскости, перпендикулярной направлению движения носителя, синхронно с узкой щелью перед фотопленкой, прилегающей к цилиндрической поверхности. В результате поворотов оптической оси объектива от горизонта до горизонта масштаб изображения вдоль полосы существенно меняется. В АФАЩ объектив и щель неподвижны, непрерывно движется фотопленка синхронно с перемещением воздушного оптического изображения, чтобы избежать его «смазывания». На рис. 45 приведена упрощенная схема щелевого АФА, впервые предложенного в 1936 г. В. С. Семеновым. В результате щелевого фотографирования изображение получается в виде прямолинейной непрерывной ленты, без разделения на кадры, независимо от кривизны траектории движения носителя, что, естественно, приводит к заметным геометрическим искажениям на краях полосы изображения. Для сохранения строгого геометрического подобия изображения и объекта применяют исключительно кадровые АФА (в конце XX — начале XXI в. принцип щелевой камеры получил новое развитие, о котором сказано далее).

Кадровый АФА — высокоавтоматизированный аппарат, выполняющий через заданные интервалы времени (примерно несколько секунд) снимки 18х18 см. В конце XX в. российские АФА приняли западный размер кадра 23х23 см (9х9 дюймов), существуют АФА и с размерами кадра 13х18, 30х30, 30х45, 50х50 см и др. Масса комплекта АФА составляет несколько десятков килограммов.

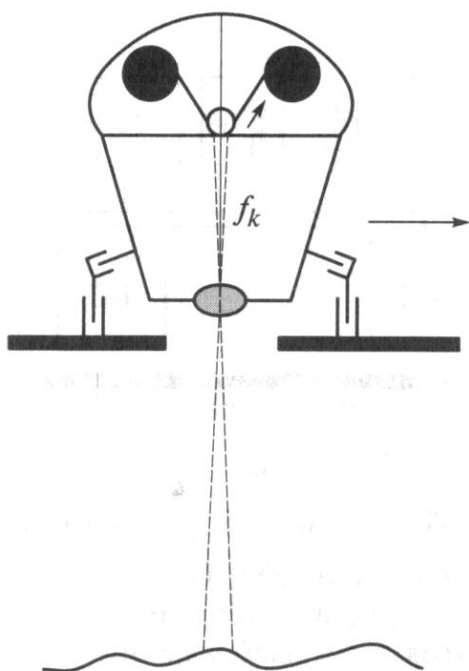


Рис. 45. Щелевая камера конструкции В.С.Семенова/

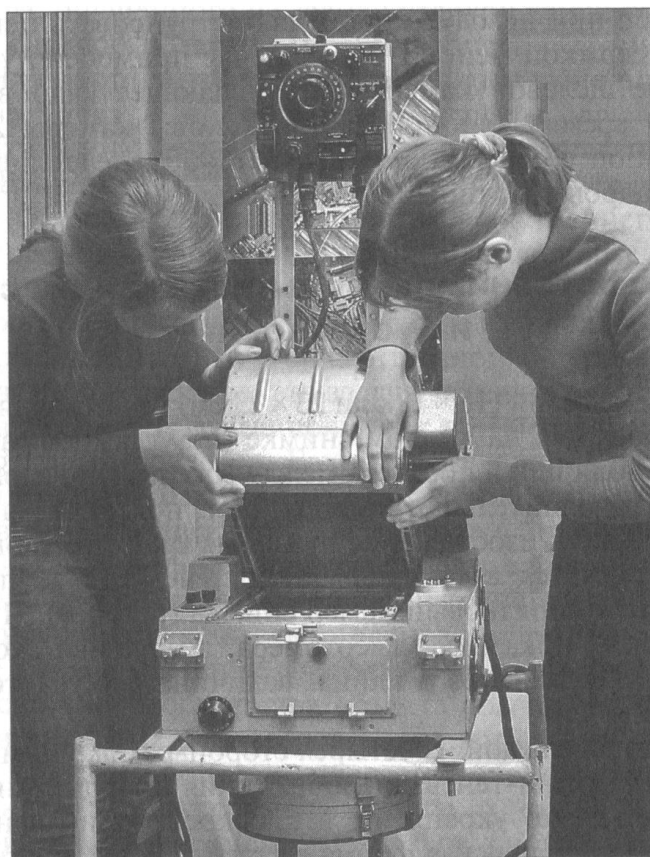


Рис. 46. Аэрофотоаппарат АФА-41 на стенде.

На рисунке 46 приведено изображение аэрофотоаппарата АФА-41 (разработан в 1961 г.) в момент аккуратного присоединения кассеты к объективному блоку (укреплен на трубчатом стенде), который содержит объектив, затвор и выравнивающее стекло с калиброванной сеткой крестов (их изображения позволяют контролировать качество выравнивания в плоскость фотопленки в момент экспонирования). Кассета в свою очередь содержит устройство размещения фотопленки (подающая и приемная катушки, обычный запас пленки 60 м), транспортирующий механизм и механизм выравнивания. В верхней части рис. 46 виден командный прибор, служащий для установки величины диафрагмы, времени выдержки и интервала между соседними экспозициями. Чем меньше интервал, тем выше качество аэрофотоаппарата; в АФА-41 интервал может быть от 3 до 90 с. Работа АФА требует наличия электропитания (бортовая сеть 27 В).

Важнейший метрический параметр АФА — величина его фокусного расстояния  $f_k$  — отрезка от задней узловой точки объектива до фокальной плоскости. Чем оно меньше, тем больше угол поля изображения  $2\beta$ , тем больше площадь охвата снимка, тем эффективнее производство аэросъемки. Однако в настоящее время объективов с фокусным расстоянием менее 5 см (при формате кадра 18x18 см) создать не удастся, вернее, не созданы такие короткофокусные объективы, которые имели бы геометрические искажения менее 0,01 мм. Буква Т (топографический АФА) в обозначении типа камеры свидетельствует о высокой геометрической точности или, как говорят в данном случае, ортоскопичности (искажения менее 0,01 мм), например АФА ТЭС-7 (Э — с электрическим приводом, С — наличие плоского прижимного стекла для выравнивания аэропленки в момент экспонирования, 7 — величина фокусного расстояния, см). Буква Т в обозначении камеры указывает также на выполнение еще одного строгого требования — выравнивания фотопленки в плоскость в момент экспонирования (отступления от плоскости не более 0,01 мм). На окончательную геометрическую точность аэроснимков оказывают заметное влияние еще два фактора — скорость затвора и деформация фотопленки при мокрой фотохимической обработке (особенно так называемая разностная деформация — разная усадка подложки вдоль и поперек рулона). На устранение этих недостатков направлены значительные усилия исследователей. Наибольшим успехом можно считать создание камер с компенсацией сдвига изображения: при невозможности сконструировать центральный затвор с выдержкой менее 1/300 секунды применимо устройство, аналогичное щелевой камере, перемещающее кадровое окно с пленкой во время экспонирования. Таковы камеры Zeiss FMC (forward motion compensation), Leica RC-30, отечественная АФА ТК (все с кадровым окном 23x23 см).

### **Изобразительные свойства аэрофотоснимков**

Кроме количественной информации о местности (протяженности, площади, координатах) аэроснимки содержат огромный запас информации и о качественных характеристиках земной поверхности — растительности и ее видах, грунтах и почвах, водах, лугах, пашнях и т.д. Эти характеристики удастся определять, распознавать, или, как говорят фотограмметристы, дешифровать по аэроснимкам на основе ряда дешифровочных признаков, или признаков-индикаторов, которые обычно делят на две группы: прямые и косвенные. К прямым признакам относятся форма, размер, тон (почернение, оптическая плотность), тени, текстура, структура, цвет; к косвенным — местоположение, взаимосвязь, следы деятельности.

Под формой объекта в данном случае понимают распознавание его общих очертаний, что иногда требует применения оптических устройств увеличения и стереонаблюдений. Размеры объекта — длину, ширину, стереоскопическую высоту — удастся определить значительно увереннее в центральной части аэроснимка, но не на его краях. Своеобразным индикатором служит тень: в ряде случаев только благодаря тени удастся узнать о наличии самого объекта. Иногда, наоборот, тень скрывает небольшие



объекты. Комплект аэроснимков на одну территорию, полученных при одинаковых условиях съемки и обработки, позволяет установить достаточно прочные корреляционные связи между величинами оптических плотностей и объектами. Выявить эти связи позволяют созданные на основе полевых обследований аэроснимки — эталоны *дешифрирования*. Весьма разной сложности задачи удается решать, пользуясь косвенными признаками-индикаторами, т.е. переходя от невидимого на снимках к «зримым» результатам. Броды-переправы через небольшие реки или железнодорожные тоннели в горах определить значительно легче, чем средний диаметр стволов лесной растительности по величине диаметра его крон. Необходимо подчеркнуть, что характер изображения местности зависит не только от отражательной способности самого объекта (аэроландшафта), но и от освещенности (высоты солнца), наличия облачности, атмосферной дымки, а также от технических средств (системы АФА, фоточувствительного слоя, обработки снимков).

Само понятие «аэроснимок» в связи с задачами дешифрирования определяют как неоднородное двумерное поле яркостей или почернений в некотором интервале регистрации спектра электромагнитного излучения. Практически всем природным объектам присуще «клеточное» строение. Аэроснимок является сочетанием элементов их изображений — пятен и полос, создающих итоговый рисунок за счет различий в текстуре (форме минимальных «клеток») и структуре (характере их взаимного расположения).

Распознавание объектов, определение их качественных характеристик косвенным, камеральным путем (по их фотографическим изображениям, без выхода в поле), вся процедура дешифрирования представляют собой высокоинтеллектуальный труд и плохо поддаются автоматизации. В некоторой степени удастся автоматизировать лишь измерение и анализ оптических плотностей.

Почернением или оптической плотностью  $D$  называют десятичный логарифм отношения величин падающего и пропущенного (для фотослоев на прозрачной основе) или падающего и отраженного (для фотоизображений на непрозрачной основе) световых потоков:

$$D = \lg(T_{\text{пад}} / T_{\text{проп}})$$

Если отношение ( $T_{\text{пад}} / T_{\text{проп}}$ ) может меняться в весьма широких пределах, то величина оптической плотности в реальных условиях не выходит за пределы диапазона 0 — 4. Оптическая плотность абсолютно белого поля (или абсолютно прозрачного) равна нулю. Глаз человека почернения более 2,5 («абсолютно черное») не различает. Раздел научной фотографии, относящийся к изучению характеристик и свойств фотоматериалов, называется фотографической сенситометрией.

Если бы освещенность земной поверхности и прозрачность атмосферы Земли были постоянными, а также были бы известны величины коэффициентов отражения всех природных объектов, то для дешифрирования аэроснимка было бы достаточно измерить оптические плотности. Однако в действительности при дешифрировании приходится иметь дело с массой затруднений.

Одним из путей решения проблемы нестабильности условий является измерение не абсолютных значений оптических плотностей, а их перепадов. Результат таких измерений — значения плотностей вдоль некоторой линии на снимке, представленные в виде графика (микроденситограммы). Анализ микроденситограммы оказался весьма эффективным методом распознавания, например, характеристик лесной растительности: породного состава, возраста, диаметра стволов, бонитета и т.п. (естественно, с разной степенью достоверности).

Дешифрирование аэроснимков на основе измерения различных величин широко и успешно применяется в лесном хозяйстве. Так, высоту древостоя можно определить по величинам разности продольных параллаксов, измеряемых при стереонаблюдениях с помощью известной формулы превышений:

$$h = H\Delta p/b.$$

Можно определить высоту деревьев и по величине тени:

$$h = ML_1/L_2,$$

где  $H$  — величина экспозиции в люкс-секундах;  $M$  — знаменатель масштаба фотографирования;  $L_1$  — измеренная длина тени на снимке;  $L_2$  — относительная длина тени, выбираемая из специальных таблиц по двум аргументам — времени дня и широте места. Ту же высоту древостоя и даже средний диаметр стволов можно определить и по величинам диаметров крон, пользуясь подробными таблицами, составленными на основе обширных полевых обследований (В.С.Моисеев, 1958).

Кроме такого важного параметра фотослоя, как светочувствительность, каждый черно-белый фотослой имеет избирательный характер цветочувствительности (зависимости почернения от длины волны электромагнитного излучения). Особенно важен диапазон регистрируемых излучений. В зависимости от его величины химикофотографическая промышленность обозначает фотослои специальными названиями (ортохром, панхром, инфрахром) или условными обозначениями (аэрофотопленка типа Т-18, И-760 и т.п.). Пример избирательной цветочувствительности инфрахроматической и панхроматической фотоэмульсий в видимой части спектра приведен на рисунке 47.

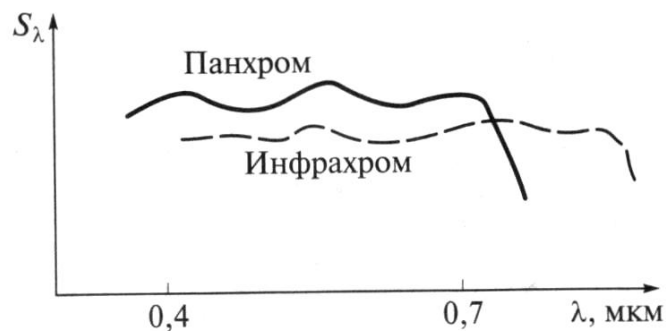


Рис. 47. Характер относительной цветочувствительности черно-белых фотослоев

Казалось бы, наилучшие результаты дешифрирования может дать использование цветной фотографии, получившей повсеместное распространение. Однако несколько десятилетий ее применения при аэрофотографировании показали, что более эффективно и информативно использование нескольких черно-белых слоев в комбинации со светофильтрами, позволяющими выполнять регистрацию в довольно узких зонах спектра, в том числе в инфразоне, невидимой для глаза. Поиски в этой области привели к созданию многослойных, или спектрзональных, аэропленок. В каждом слое изображение фиксируется в определенной зоне спектра, при обработке каждый слой окрашивается в свой цвет (без обязательного соответствия цвету излучения). В результате получается ложноцветное (не соответствующее по цвету действительно видимому глазом) изображение. Как вариант этого направления, получила распространение «многозональная аэрофотосъемка» — одновременное раздельное получение нескольких (4 — 6) черно-белых негативов в узких зонах спектра, а затем получение совмещенного изображения путем суммирования отдельных негативов с условием их колоризации (окрашивания оптическим путем, без «порчи» исходных негативов). Результирующее изображение, подобрав на экране специального проектора удачную комбинацию слоев и фильтров, можно зарегистрировать, его называют синтезированным снимком. Он также ложноцветной и позволяет достаточно отчетливо видеть некоторые интересные исследователя объекты (например, различить естественный березовый лес и поверхность, окрашенную «под березовый лес»).

Для выполнения многозонального фотографирования разработана специальная съемочная аппаратура. На рисунке 48 приведено изображение многозональной космической фотокамеры МКФ-6 («Карл Цейсс»), позволяющей с помощью шести одинаковых объективов ( $f_k = 125$  мм), перед которыми установлены разные светофильтры, получать одновременно 6 снимков в разных зонах спектра (негативы по 54x78 мм) (рис. 49).

Неотъемлемой и важной характеристикой любого фоточувствительного слоя является его качество, заключающееся в правильной передаче яркости объектов любых размеров, особенно малых. Обычно критерием качества фоточувствительного слоя считают разрешающую способность  $R$  — число линий на 1 мм, передаваемых изображением еще раздельно.

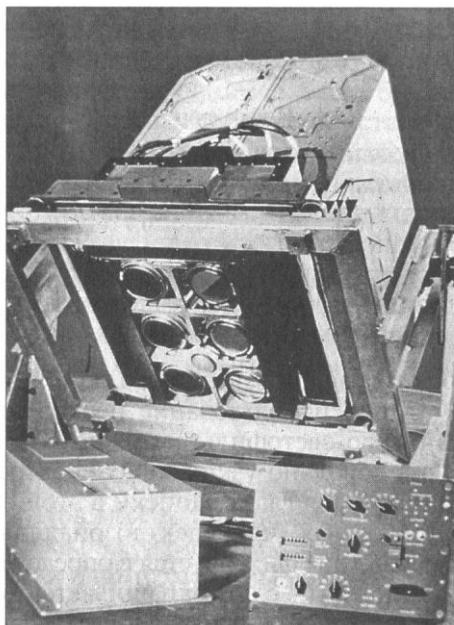


Рис. 48. Многозональная космическая фотокамера МКФ-6

Часто при оценке качества (информационной возможности) аэро- и космоснимков пользуются обратным параметром — разрешением на местности, т.е. величиной минимального объекта, который еще поддается распознаванию. Эта величина определяется эмпирически, путем фотографирования специальных объектов — оптических мир (разного числа полос на единицу площади) — и зависит от многих факторов: качества объектива, формирующего воздушное оптическое изображение; качества фотослоя; условий фотографирования (вибрация, атмосферная дымка и т.п.). Современный комплект АФА-Т и аэрофотопленка на основе бромосеребряных эмульсий позволяют получать негативы с разрешением около 100 лн/мм (100 черных и 100 белых полос на 1 мм). Минимальный размер еще различаемого объекта  $\Delta_m$ , зная масштаб негатива  $1/M$ , легко определить из выражения:  $\Delta_m = M/2R$ .

Таким образом, при воздушном фотографировании — в диапазоне масштабов от 1:10000 до 1:100000 минимальная различимая величина объекта составляет соответственно от 5 до 50 см, т.е. даже несколько выше геодезической точности привязочных работ при создании топографических карт соответствующих масштабов.

Любой тип аэрофотопленки после обработки имеет плотность вуали в среднем около 0,15, а максимальную оптическую плотность около 2,5, т.е. интервал плотностей ( $dD_{\text{тах}}$ ) приближается также к 2,5. Значительно меньшими градационными возможностями обладают слои на непрозрачной основе. Так, для глянцевой фотобумаги  $dD_{\text{мах}} = 1,7$ , а для матовой — еще меньше, около 1,2. Поэтому задача дешифрирования неминуемо

наталкивается на ограничения, связанные с возможностями тоновоспроизведения фотослоев и их совокупности.

Важнейшей основой дешифрирования служат яркостные характеристики самого объекта. На рисунке 50 приведен обобщенный график спектральных коэффициентов яркости (СКЯ) трех самых характерных природных объектов (или их классов): воды, почвы, растительности.

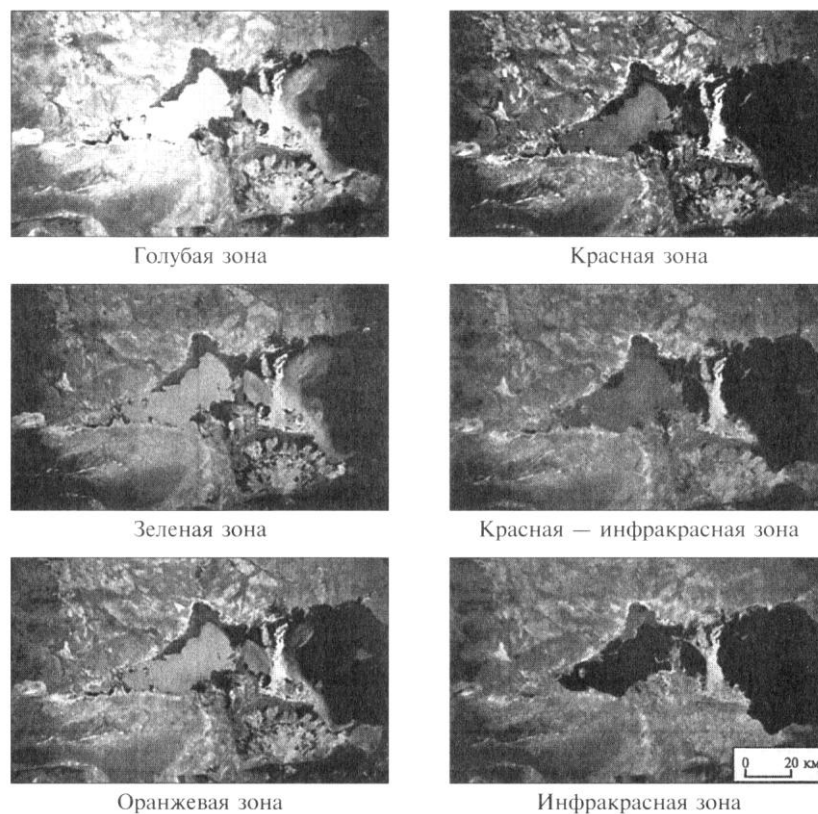


Рис. 49. Серия зональных снимков с космического корабля «Союз-22», камера МКФ-6. Юго-Восточный Казахстан, оз. Алаколь и оз. Сасыкколь/

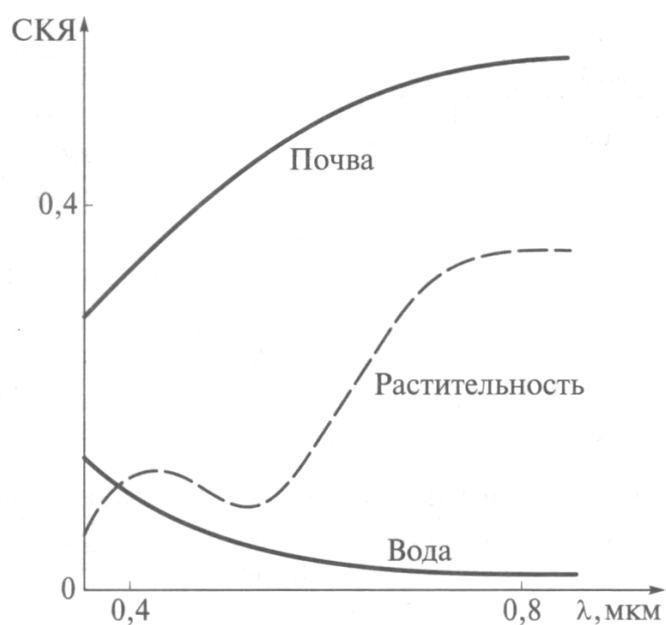


Рис. 50. Спектральные коэффициенты яркости характерных объектов аэроландшафта в видимой зоне спектра

Если бы регистрирующий излучения фотослой имел более широкий диапазон «восприятия», то суммарные почернения от различных природных образований на снимках были бы очень близкими, объекты в этом случае различались бы неуверенно. Для максимальной достоверности распознавания нужно получить такую пару снимков, чтобы один и тот же природный объект выглядел на первом как негатив, а на втором (в другой зоне спектра) — как позитив.

В целях повышения дешифровочных свойств аэроснимков разработано несколько вариантов их яркостных преобразований. Эффективными оказались следующие способы: «дифференциальной печати» — сжатие перепада плотностей негатива при копировании на фотобумагу с сохранением числа ступеней-градаций почернения; превращение полутонового (с непрерывным плавным изменением плотностей) аэроснимка в изображение со ступенчатым перепадом нескольких значений интервалов плотностей; превращение полутонового аэроснимка в «гравюру» (при копировании воспроизводится только одно заданное значение плотности) и др. Активно развивается способ «пространственной фильтрации»: при копировании сохраняются почернения или изображения только тех объектов, размеры которых не превосходят заданные (иногда эту процедуру называют «структурозональной съемкой»).

Названные виды преобразований были разработаны в рамках традиционного фотохимического способа обработки светочувствительных материалов и требовали заметных трудозатрат и опытных специалистов. Большие перспективы имеют методы дешифрирования, связанные с использованием нетрадиционных фоточувствительных слоев, регистрацией излучений в соседних с видимой зоной областях спектра. Так, регистрация излучений в области дециметровых радиоволн (сканерная съемка) при заметных геометрических искажениях позволяет обнаруживать участки земной поверхности с перепадами температуры в пределах десятых долей градуса (П. Кронберг, 1988). Сканеры были созданы именно для целей дешифрирования. На рисунке 51 приведено упрощенное изображение сканирующего устройства (*а*) и показаны причины возникновения геометрических искажений (*б*). Сканер устанавливается на движущийся носитель, направление перемещения которого перпендикулярно плоскости рисунка. С помощью быстро качающегося зеркала ЗЕР, ось качания которого также перпендикулярна плоскости рисунка, узкий поток излучения через объектив ОБ направляется на точечный фотоприемник-детектор ФД, возникающий в нем электрический сигнал поступает в регистрирующее (запоминающее) устройство (ЗУ). Несмотря на ощутимые геометрические искажения внутри полученного сканерного изображения (от надира к краям полосы), такие снимки широко применяются для регистрации излучений в невидимой зоне спектра.

Величины мгновенного участка сканирования в надире ( $\Delta_H$ ) и на краю полосы ( $\Delta_\alpha$ ) неодинаковы:

$$\Delta_H = \Delta_\alpha \cdot \cos^2 \alpha.$$

Различны и масштабы их отображения:

$$1/M_\alpha = (1/M_H) \cos 2\alpha.$$

Мгновенный угол сканирования  $\delta$  в таких устройствах обычно составляет около  $5''$ , угол  $2\alpha$  — диапазон качания зеркала — до  $100^\circ$ .

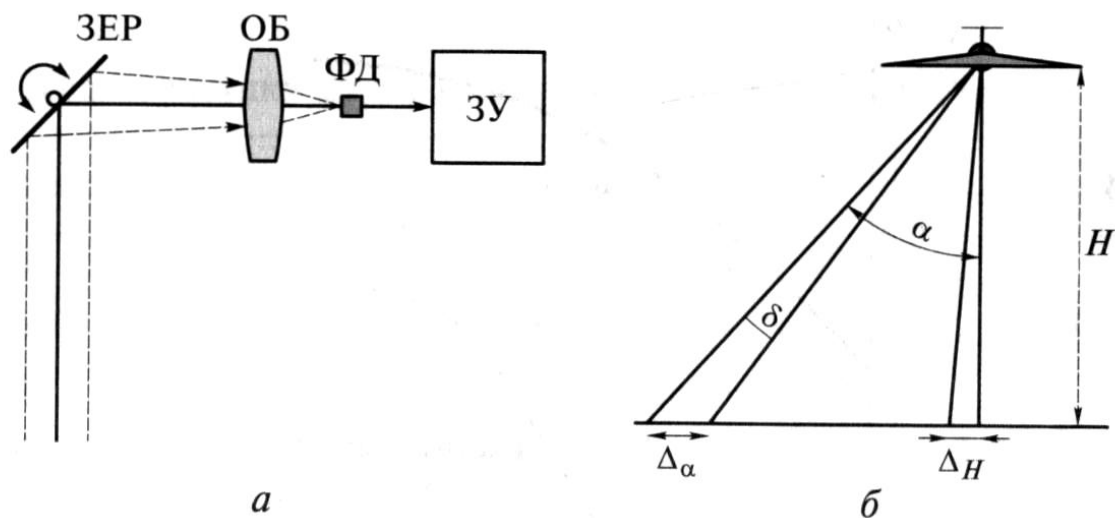


Рис. 51. Метод оптико-механического сканирования:  
 а — устройство сканера; б — появление геометрических искажений при сканировании.

### Особенности космofотоснимков, понятие о цифровых снимках

Через 100 лет после начала аэрофотографирования стало возможным получение снимков земной поверхности со значительных расстояний, а также подобных изображений внеземных объектов. Все попытки подняться над Землей как можно выше с помощью стратостатов и мощных самолетов-лабораторий не позволяли перейти рубеж 20 — 22 км, что при использовании самых короткофокусных АФА ( $f_k = 50$  мм) приводило к получению самых «сверхмелкомасштабных» аэрофотоснимков лишь до значений около 1:200000. При кадровом окне 18x18 см такой снимок охватывал территорию примерно 36x36 км.

С началом космической эры диапазон высот фотографирования чрезвычайно расширился — примерно от 200 км до десятков тысяч километров, в то же время интервал от 20 до 200 км остается пока «белым пятном». Велико и разнообразие технических средств фотографирования со спутников. Получила распространение аппаратура с разным размером кадрового окна — от 5x5 до 30x45 см и более, используется не только стандартная аэропленка, но и перфорированная 70-миллиметровая кинопленка. В зависимости от  $f_k$  масштаб спутниковых изображений (на оригинальном негативе) может быть от 1:10000 до 1:100000000.

Изображения с таким интервалом масштабов, а главное, с огромным охватом снимаемой территории, как оказалось, обладают новыми удивительными свойствами в отношении дешифрирования. Мелкомасштабные космоснимки обширных территорий позволили увидеть те общие, можно сказать, основные черты местности, которые были скрыты на обычных аэроснимках, «маскированы» мелкими частными объектами. Эта новая информация становится доступной глазу человека благодаря явлению так называемой оптической генерализации, или «эффекта кальки», когда мелкие частные детали исчезают ввиду масштабных ограничений, а общие накапливаются и обозначаются. Иногда даже говорят, что космоснимки обладают эффектом «просвечивания» дневной поверхности Земли, позволяя рассмотреть такие скрытые объекты, как разломы-линеamenty, районы различного уровня грунтовых вод, почвенные разности и т. п. Однако, чтобы обеспечивать надежность таких данных, космоснимок должен обладать определенным качеством. С развитием космосъемки сформировался несколько иной критерий качества, отличный от применявшегося при обычном воздушном аэрофотографировании. Следует заметить, что при обычной аэрофотосъемке критерий качества широко не применялся, даже в ОПА-80 он не упоминается. Было хорошо известно, что если аэрофотографирование выполнялось

точной фотограмметрической камерой типа АФА-Т, то качество негативов гарантировано, а различимость объектов местности зависит только от масштаба негативов. При создании топографических карт масштаб залета незначительно отличался от масштаба создаваемой карты, т.е. на таких снимках хорошо различались все необходимые для картографирования объекты. Если же была известна и высота фотографирования, то легко можно было оценить возможность использования данных снимков для измерения превышений:  $h_{\min} = H_M/7000$  при размере кадра 18x18 см.

Поэтому критерием качества не пользовались, помня о высочайшей геометрической точности аэроснимков. Совсем иная ситуация возникает при космической съемке, так как масштабы снимков отличаются на несколько порядков. При масштабах 1:1000000 — 1:10000000 минимальная различимая величина объекта составляет 5 — 50 м, а в случае использования нефотографических эмульсий достигает сотен метров. На рис. 52 приведен первый снимок всей Земли полностью, выполненный 21 сентября 1968 г. (в 12 ч 08 мин по московскому времени), когда носитель фотокамеры (АФА БА) — автоматическая станция «Зонд-5» — находилась на расстоянии 90 тыс. км от Земли. Серийный АФА БА имеет  $f_k$  400 мм, размер кадра 13x18 см. Величина изображения планеты оказалась в этом случае равной 56 мм, т.е. его масштаб — около 1:225000000, а разрешение на земной поверхности — около 1,1 км, что позволяет уверенно различать контуры северных берегов Африки и Красного моря.

Одновременно на рис. 52 наглядно представлена и главная проблема получения приемлемых космоснимков в видимой зоне электромагнитного спектра — это наличие облачности. Почти треть снимков, получаемых с каждого спутника, приходится отбраковывать, так как на них более 10 % площади занято облаками. Хотя, как видно на рис. 53, и при 40% облачности почти половина снимка может быть с успехом использована. Есть трудности и с получением снимков точно заданной территории в заданное местное время, поскольку движением носителя-спутника не удастся управлять, как самолетом.

На рис. 54 приведены орбиты спутников с разными углами наклона и соответствующие возможные территории охвата при фотографировании. Среди различных видов орбит искусственных спутников большое значение имеет так называемая солнечно-синхронная, при движении по которой имеют место постоянные условия освещения земной поверхности. Особенность такой орбиты заключается в сохранении постоянного расположения ее плоскости относительно Солнца, т.е. за год плоскость орбиты должна повернуться в пространстве на 360°. В этом случае над каждой точкой Земли спутник может появляться в одно и то же местное время, точное значение которого зависит от времени его запуска. Освещенность вдоль трассы меняется только в зависимости от времени года.

По сравнению с обычными аэроснимками, на которых наибольшие геометрические искажения вызваны рельефом и углом наклона, на космоснимках эти искажения значительно меньше, но становятся ощутимыми другие, обусловленные рефракцией и кривизной Земли. Причем в большей степени сказывается влияние не атмосферной рефракции, искажающей результаты геодезических измерений на дневной поверхности Земли, а так называемой внутренней, или фотограмметрической. Влияние преломления световых лучей в тонком слое тропосферы практически не ощутимо в связи с огромной величиной высоты фотографирования (сотни километров). Влияние внутренней рефракции — преломления лучей света при переходе из космического пространства внутрь аппарата-носителя — на 1 — 2 порядка больше, этот излом достигает десятков угловых секунд. На рис. 55 показано возникновение искажений, обусловленных кривизной Земли. По аналогии с искажением изображения, связанным с рельефом, смещение  $\delta$  отображения  $K'$  некоторой точки  $K$  на космическом снимке, вызванное кривизной планеты, можно интерпретировать, как влияние превышения  $h$  — разности уровней точки  $N$  (соответствующей на снимке точке надира) и текущей точки  $K$ , тогда

$$\delta = rh/H,$$

где  $H$  — высота фотографирования. Величина  $h$  в свою очередь самым существенным образом зависит от длины отрезка  $L$  — расстояния от подспутниковой точки  $N$  до текущей  $K$ . При радиусе Земли  $R$  6,4 тыс. км и значениях  $L$  примерно от 500 — 600 км угол  $\beta$  можно считать малым, тогда его величина  $\beta = L/R$  рад, и  $h = R - R \cos \beta = R(1 - \cos \beta) = 2R \sin^2 \beta / 2 = L^2 / 2R$ .

Отрезок  $r$  на горизонтальном космоснимке можно принять за изображение отрезка  $L$  на поверхности Земли в масштабе  $1/M = f_k/H$ , тогда по аналогии с предвычислением сдвига, обусловленного рельефом для аэросъемки:

$$\delta = r^3 H / 2R(f_k)^2.$$

При  $H = 1$  тыс. км  $r = f_k = 100$  мм,  $\delta = 10$  мм.

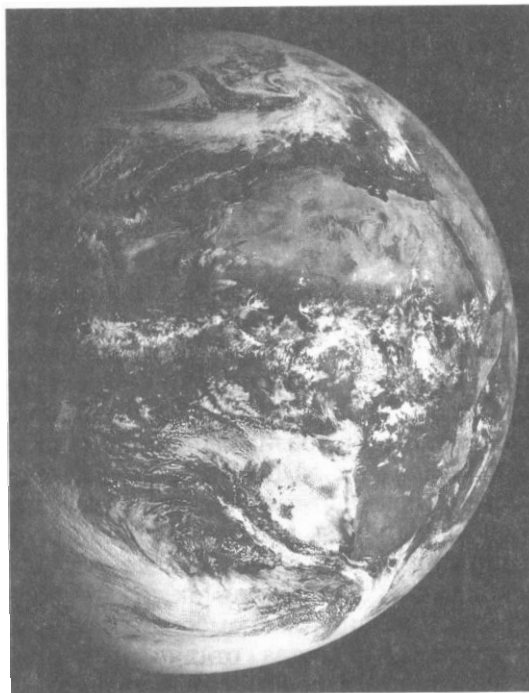


Рис. 52. Первый космический снимок всей Земли полностью.

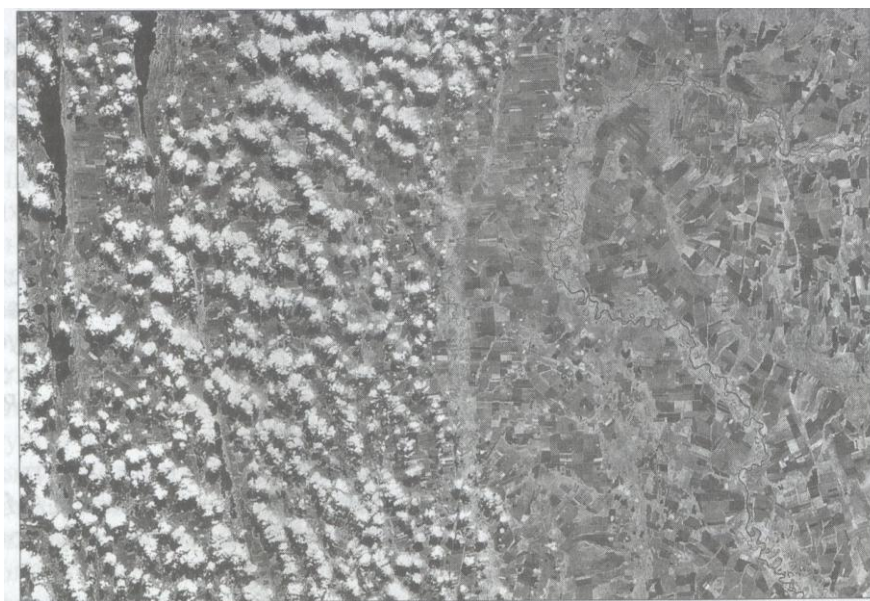


Рис. 53. Один из зональных снимков камеры МКС-4 (оригинал негатива 55x81 мм).



Устранять эти искажения, выполнять различные процедуры преобразований фотоизображений в настоящее время стало значительно проще благодаря появлению цифровой фотографии, сделавшей возможной обработку с помощью цифровых (закодированных системой чисел) снимков.

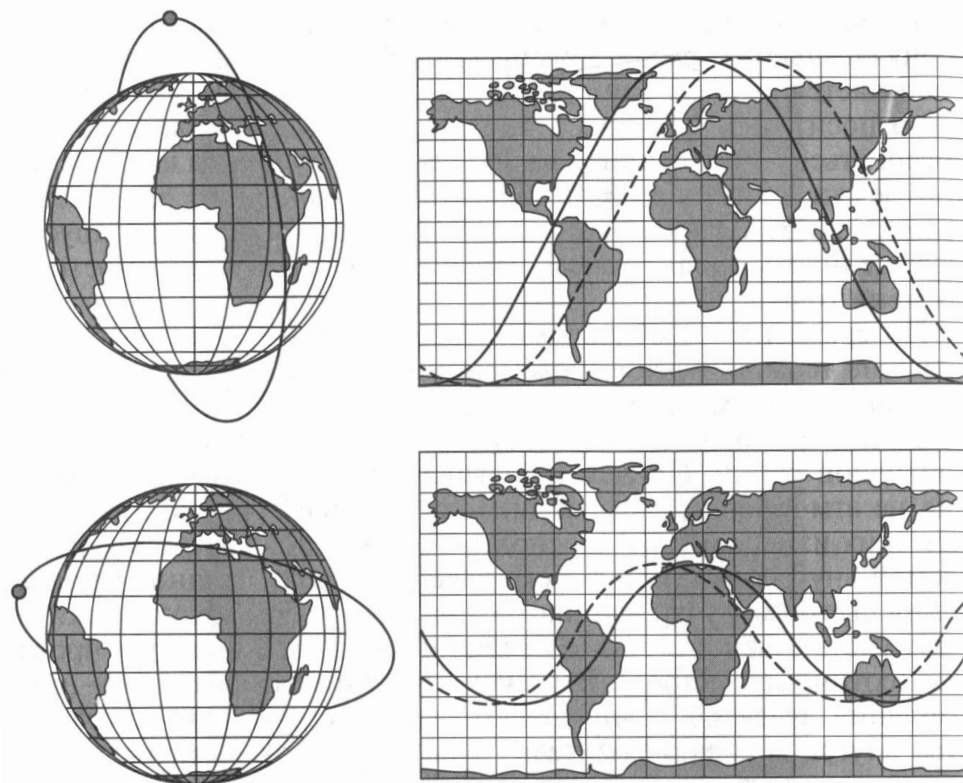


Рис. 54. Орбиты спутников с разным наклонением.

В государственном терминологическом стандарте «Фотограмметрия» (ГОСТ Р 51833 — 2001) из 62 терминов к новому и стремительно развивающемуся разделу информационных технологий получения и обработки изображений относится только один — «цифровая фотограмметрия» — «раздел фотограмметрии, относящийся к аналитическим методам обработки цифровых фотограмметрических снимков». Собственно определения цифрового снимка этот нормативно-терминологический документ не содержит, лишь в примечании указано, что «изображение, зафиксированное в аналоговом виде, называют фотограмметрическим снимком; изображение, зафиксированное в цифровом виде, называют цифровым фотограмметрическим снимком».

Цифровая фотография получила широкое распространение еще в начале 1980-х гг., когда японская фирма «80пу» приступила к массовому выпуску нового типа камер, в плоскости прикладных рамок которых помещался не фоточувствительный слой, требовавший в последующем химической обработки, а матрица (около 1,5 x 2,0 см), содержащая несколько миллионов микроскопических полупроводниковых светочувствительных фотоэлементов — «пикселей» (акроним от picture element), их размер около 2 x 3 мкм.

Чувствительность таких элементов (до 800 единиц **ISO**) уже заметно превысила соответствующий показатель обычных черно-белых фотоматериалов; электрическое состояние, или освещенность (причем в нескольких зонах спектра), каждого пикселя мгновенно считывается и переправляется в память компьютера. Время экспонирования удалось заметно уменьшить, устранить из камеры само устройство затвора. Матрицу

пикселей в русской литературе часто обозначают аббревиатурой ПЗС — «прибор с зарядовой связью» (от англ. *CCD— Charge-Coupled Device*), это устройство (при размере матрицы около 2х3 см) позволяет получать цветные изображения с информационной емкостью около 10 Мб.

Применение цифровых снимков оказалось особенно эффективным при создании производных изображений путем преобразований исходного негатива. Прежде всего, это задачи трансформирования и ортотрансформирования снимков.

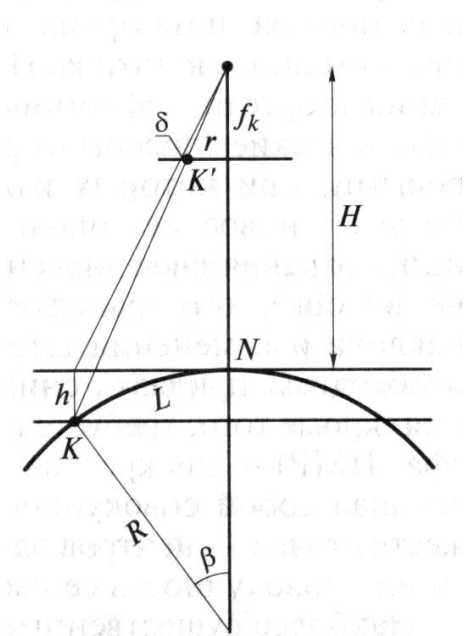


Рис. 55. Искажения космических снимков вследствие кривизны Земли.

Традиционные фотомеханические способы их решения постепенно вытесняются цифровыми, при которых каждый пиксел исходного изображения получает новое местоположение на преобразованном изображении, сохраняя свое значение оптической плотности. Для выполнения обычного трансформирования (устранения влияния угла наклона и изменения высоты фотографирования) в этом случае необходима привязка снимков, а для ортофототрансформирования, кроме того, требуется так называемая цифровая модель рельефа (ЦМР) — дискретная модель земной поверхности, представляющая собой совокупность пространственных координат множества точек — центров элементарных площадок этой поверхности или совокупность ее изолиний высот.

Наиболее существенные результаты дало внедрение цифровой технологии в процесс создания фотопланов и ортофотопланов. Самый опытный глаз фотограмметриста не сможет обнаружить такие явления, как биение контуров на порезах и различия почернений на соседних снимках, неизбежные при традиционном монтаже множества отдельных фотоотпечатков. Существующие в настоящее время программы перемещения пикселей на соседних снимках позволяют сводить неизбежные погрешности трансформирования, ведущие к появлению биения на порезах-стыках (производственный допуск до 0,4 мм), почти к теоретическому минимуму (до 1 пикселя), что далеко за пределами разрешающей способности глаза. Поэтому современные цифровые фотопланы зрительно воспринимаются как единый снимок.

Преобразование аналоговых снимков (первичных негативов) в цифровые изображения должно происходить без ощутимых потерь их качества — высокой геометрической точности и значительной фотометрической глубины (интервала оптических плотностей и числа ступеней их квантования). Предназначенные для этого высококачественные устройства, в отличие от обычных сканеров, называют сканерами фотограмметрическими. Они бывают только планшетного типа и обладают геометрической

точностью не ниже 3 — 5 мкм (таков и размер пикселей их матриц), скоростью сканирования не менее 1,5 Мб/с, существенным размером кадрового окна сканирующего устройства (до 30х45 см) и высочайшей радиометрической разрешающей способностью (10 — 12 бит/пиксел, или более 2 тыс. уровней серого).

В настоящее время наилучшими считаются фотограмметрические сканеры ФС-30 московского завода ЭОМЗ, «Дельтаскан» и «Планскан» винницкого производственного предприятия «Геосистема», а также западноевропейские приборы Zeiss SCAI, DSW-300 и ряд других.

Качество исходных изображений зависит от особенностей технических средств первоначальной съемки. В материалах геодезических работ редко указывают марку применявшегося теодолита, достаточно назвать среднюю квадратическую погрешность выполненных измерений. Иное дело в случае фотограмметрических съемок.

Между тем каждый из более чем 50 космических снимков (до 40х40 см), вошедших в изданный в 2004 г. 1-й том «Национального атласа России» (в 4 т.), сопровождается фрагментом мелкомасштабной карты с указанием охвата снятой территории и марки камеры. В атласе помещены снимки, полученные с помощью трех камер: КАТЭ-200, МК-4 и КФА-1000.

Знание типа съемочной камеры позволяет надежно оценить перспективы использования снимков. Так, камера КАТЭ-200 имеет размер кадра 18х18 см, фокусное расстояние 200 мм; у МК-4 при том же размере кадра фокусное расстояние 300 мм; КФА-1000 — более современный прибор, она имеет фокусное расстояние 1 000 мм при кадре 30х30 см. В зарубежных источниках обычно указывается не тип камеры, а спутник-носитель, съемочная аппаратура которого известна.

Указание на конкретный тип съемочного устройства позволяет получить сведения не только о размере кадра и величине фокусного расстояния камеры, но и о наличии нескольких изображений, получаемых одновременно на разных участках спектра электромагнитного излучения. Такие снимки, полученные с помощью традиционных фотографических слоев, называют многозональными, цифровые — чаще «мультиспектральными». Ранее в диапазоне видимого излучения (400 — 800 нм) обычно использовали 3 — 4 канала регистрации шириной около 100 нм. При использовании цифровой фотографии наметилась тенденция к заметному увеличению числа каналов (14, 36 и более) с одновременным их сужением (до 10 нм) и выходом за пределы видимого излучения — в инфра- и радиозоны. Показательно, что наряду с многочисленными узкими каналами регистрации излучения используется основной канал, полностью охватывающий диапазон видимой зоны спектра. Этот широкий канал по аналогии с фотографическими слоями называют панхроматическим; он, как правило, обладает и максимальным разрешением по сравнению с остальными узкоспектральными.

Мировой фонд космоснимков неуклонно возрастает и в настоящее время насчитывает десятки миллионов изображений. Растет и круг коммерческих организаций — распространителей (дистрибьютеров) этой важной информации. Постепенное вытеснение кадровых фотокамер оптико-электронными сканерами на основе ПЗС-линеек привело к появлению нового термина для обозначения космического снимка произвольного формата (вырезки из непрерывной полосы сканирования) — «сцена». Величина такой сцены или сцен при выполнении, например, конвергентной стереосъемки тремя ПЗС-камерами (на рис. 56 одна камера направлена в нади́р, вторая наклонена примерно на 15° вперед, третья — на 15° назад), оговаривается заказчиком или предлагается фирмой-распространителем в единицах площади снятой местности (обычно в км<sup>2</sup>), этим параметром определяется стоимость ПЗС-снимков (на 2007 г. в среднем около 7 — 10 долл. за 1 км<sup>2</sup>). Фирмы-распространители (в России это Госцентр «Природа», «Союзинформспутник», «Совзонд», «СканЭкс» и др.) рекламируют свою продукцию в Интернете, иногда размещая в свободном доступе космоснимки с низким разрешением (примерно до 10 лп/мм), что привело к появлению еще одного нового термина — «квиклук» (от англ. — *quicklook* —

быстрый просмотр), под которым понимается снимок, непригодный для фотограмметрических исследований, но позволяющий получить представление о местонахождении и площади сфотографированного участка земной поверхности.

О стремительности развития аэрокосмической техники свидетельствует тот факт, что цена снимка существенно снижается уже через три месяца после его изготовления, он становится «архивным», тогда как традиционная картографическая продукция считается достаточно современной и через три года после ее создания.

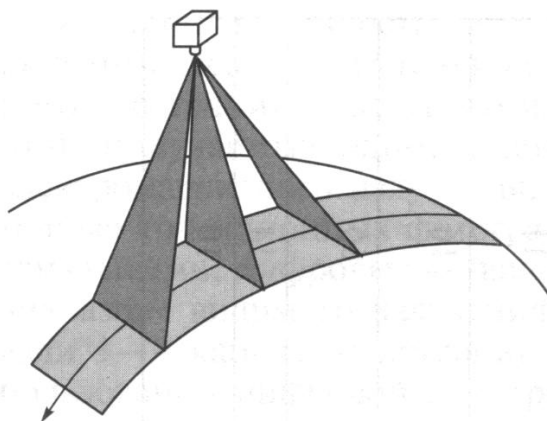


Рис. 56. Конвергентная стереосъемка тремя ПЗС-камерами.

#### **Занятие 9. Совершенствование топокарт. Понятие о фотокартах и географических информационных системах.**

Уже в конце XIX в. нагрузка топографических карт была столь велика, что при сохранении полиграфических возможностей воспроизведения и психофизиологических возможностей зрительного восприятия приходилось выпускать на одну и ту же трапецию по два варианта карты с некоторым различием содержания. Примерно через столетие диапазон географических сведений о местности (особенно в городах) настолько вырос, что та же территория трапеции требует 4—5 и более оттисков несколько отличающихся карт. Выход из затруднительного положения был найден в последние десятилетия XX в. с помощью компьютерных технологий. Преобразование картографических изображений на бумажных носителях в цифровой код, хранимый в памяти компьютера, привело к появлению «цифровых карт», визуализация которых на экране дисплея дает «электронную карту». Прогресс компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения привел к созданию на конкретный лист топографической карты заданного масштаба нескольких карт-моделей отдельных элементов содержания (ЦМР — цифровая модель рельефа, ЦМК — цифровая модель контуров и т.п.). Это множество карт-слоев, дополненное космо- и аэроснимками, статистическими сведениями и другими данными, позволяющее хранить и отображать собранную пространственную информацию о местности, стали называть географическими информационными системами (ГИС), но не «многослойными картами». Исследователь, комбинируя имеющиеся слои, может сам составлять карты нужного содержания. ГИС позволяет практически мгновенно решать многие традиционные задачи по картам: вычислять площади, объемы, получать профили и т.п. Неуклонное расширение диапазона сведений и территориального охвата баз данных ГИС постепенно приводит к частичной утрате привычных понятий масштаба и рамок листов карт, появлению глобальных проектов, например: «Электронная Россия» или «Цифровая Земля». Этот раздел картографии развивается стремительно, никакие другие науки о Земле не привели к созданию за последнее десятилетие XX в. такого количества терминологических стандартов: ГОСТ 28441—90 и 28441—99 «Картография цифровая.



отображения необжитых территорий. В России по инициативе Минприроды создаются фотокарты масштаба 1:1000000 под названием ДО-1000 (дистанционная основа), Роскартография готовит к выпуску фотокарты масштаба 1:200000 в электронной версии.

В то же время компьютеризация никак пока не способствует решению вопроса всесторонней оценки качества топографических карт. Метрическая сторона их оценки — геометрическая точность — особых проблем не вызывает (общепринятая графическая точность измерений по карте — 0,2 мм, допустимое отклонение положения контрольной контурной точки в плане — около 1 мм, расхождение контрольных точек по высоте — не более 1/3 высоты сечения горизонталей в равнинной местности). Проблема же определения качественных характеристик карты — ее полноты, достоверности, наглядности, читаемости, современности, правильной передачи топонимов (особенно с других языков) — еще ждет своего полного решения.