

ГЕОДЕЗИЯ С ОСНОВАМИ КОСМОАЭРОСЪЕМКИ

(Учебно-методическое пособие)

Казань, 2008 г.

Казанский государственный университет
Геологический факультет
Кафедра геофизики

Учебно-методическое пособие по спецкурсу «Методы полевой геофизики» для студентов геофизической и нефтяной специальностей.

Печатается по постановлению учебно-методического совета
геологического факультета КГУ.

Протокол № _____ 2008 года.

Составители: **Комаров Р. В., Минсафин Г.З.**

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	- 3
Тема 1. Основные понятия геодезии	- 4
Тема 2. Разграфка и номенклатура топографических карт	- 14
Тема 3. Изображение местности на топографических картах	- 22
Тема 4. Геодезические сети	- 30
Тема 5. Геодезические приборы и методы измерений	- 38
Тема 6. Геодезическое обеспечение геофизических работ	- 46
Тема 7. Основы космозръемки	- 56
Тема 8. Применение глобальных навигационных спутниковых систем в геодезии	- 64
Список литературы	- 76
Приложение	- 77

Тема 1. Основные понятия геодезии

- 1.1. Предмет и задачи геодезии.
- 1.2. Основные понятия геодезии.
- 1.3. Системы координат в геодезии.
- 1.4. Прямая и обратная геодезические задачи.
- 1.5. Системы высот в геодезии.

1.1. Геодезия – наука о методах и технике производства измерений, выполняемых с целью изучения фигуры Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также решения различных прикладных (инженерных) задач.

Задачи, решаемые в геодезии, подразделяют на научные и научно-технические. В зависимости от решаемых задач выделяют разделы геодезии, которые в общем виде можно представить как:

- высшая геодезия (высшая геодезия, космическая геодезия, спутниковые методы геодезии, теория фигуры Земли, геодезическая астрономия, математическая картография и др.)
- топография и инженерная (прикладная) геодезия.

1.2. Физическая (топографическая) поверхность Земли – совокупность точек земной поверхности и поверхности мирового океана. Для описания физической поверхности Земли необходимо определить взаимное (относительно друг друга) положение множества точек. Для этого сначала определяют положение небольшого количества точек (опорных точек). Затем относительно опорных точек описывают положение других точек земной поверхности.

Отвесная линия – направление действия силы тяжести.

Уровенная поверхность – замкнутая поверхность, перпендикуляр к которой в каждой точке совпадает с направлением отвесной линии.

Геоид – одна из уровенных поверхностей, которая соответствует среднему уровню мирового океана и продолженная под материками.

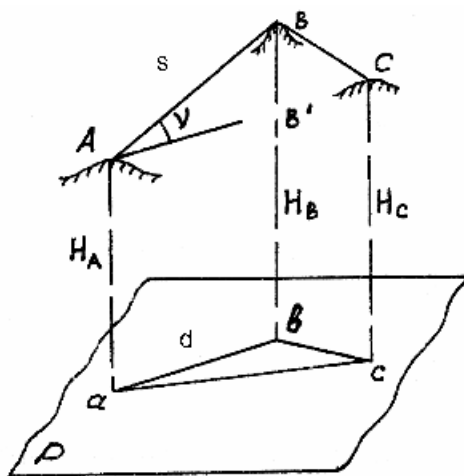
Квазигеоид – поверхность, совпадающая с геоидом в мировом океане и близкая к геоиду под материками.

Поверхность относимости – правильная математическая поверхность, на которую переносят (проектируют) геодезические измерения в целях их дальнейшей обработки и представления.

Метод проектирования – способ переноса измеренных на физической поверхности Земли величин на поверхность относимости. В геодезии применяют проектирование по линиям, перпендикулярным к поверхности относимости (ортогональное проектирование).

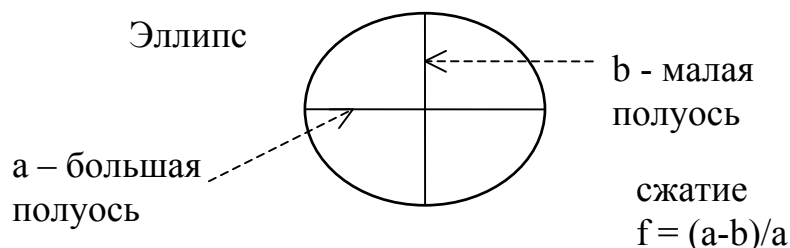
Чтобы изобразить на бумаге участок земной поверхности, нужно сначала спроектировать все точки на поверхность эллипсоида вращения, или сферы, а затем изобразить точки на плоскости.

Если участок местности небольшой, то соответствующий ему участок эллипсоида (сферы) можно заменить плоскостью и считать, что проектирование выполняется сразу на плоскость. При этом проектирование выполняют отвесными линиями (горизонтальная проекция).



Точки А, В, С находятся на поверхности Земли. Их горизонтальные проекции - а, b, с. Расстояние ab называется **горизонтальным проложением** (обозначают d). Угол между линией АВ и ее горизонтальной проекцией называется углом наклона линии (обозначим ν). Расстояния Аа, Вb, Сс от точек до их проекций называют **высотами** и обозначают буквой Н. Численное значение высоты называют **отметкой**. Разность отметок называют **превышением**: $h = h_{AB} = H_B - H_A$.

Земной эллипсоид (общий земной эллипсоид) – математически правильная поверхность, образованная вращением эллипса вокруг малой оси и близкая к поверхности геоида. Центр эллипсоида должен совпадать с центром масс Земли, а ось вращения совпадать с осью вращения Земли.



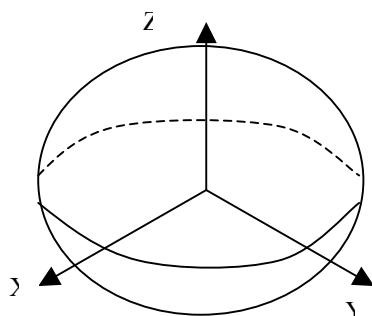
Референц-эллипсоид – эллипсоид, ориентированный в теле Земли для близости к геоиду на определенной территории. Его центр может не совпадать с центром масс Земли, а ось вращения не совпадать с осью вращения Земли, но быть параллельна ей.

В России принят общий земной эллипсоид ПЗ-90 ($a=6378136$ м, $f=1/298,257839303$), на нем задаются координаты для глобальной навигационной системы ГЛОНАСС, и референц-эллипсоид Красовского ($a=6378245$ м, $b=6356863$ м, $f=1/298,3$), на котором определяются государственные референчные системы координат СК-42 и СК-95.

Для американской глобальной навигационной системы GPS используется эллипсоид WGS-84 ($a=6378137$ м, $f=1/298,257223563$).

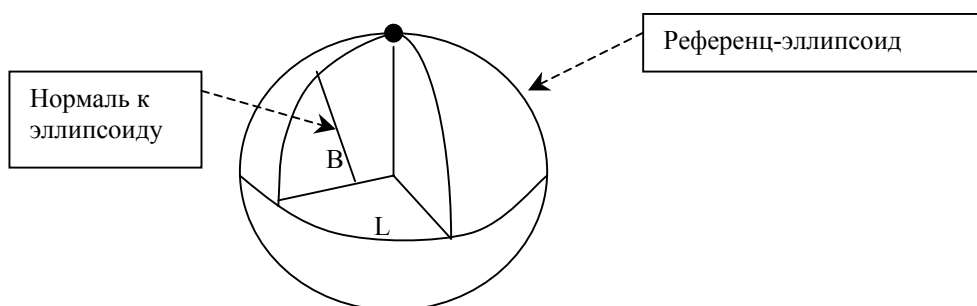
1.3. В геодезии применяются несколько систем координат:

а) Система пространственных прямоугольных координат:



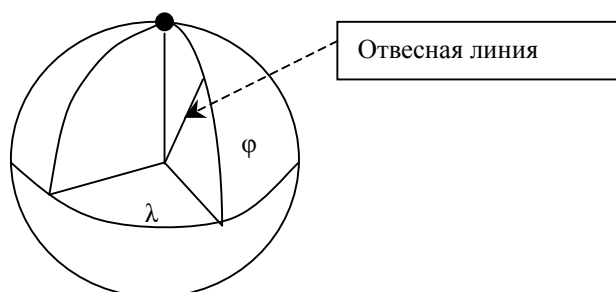
0 – в центре масс Земли
ось OZ – по оси вращения
ось OX – в начальном меридиане

б) Геодезическая система координат:



Геодезическая широта (B) – угол между плоскостью экватора эллипсоида и направлением нормали к эллипсоиду в данной точке. Геодезическая долгота (L) – угол между плоскостью начального геодезического меридиана и плоскостью геодезического меридиана точки.

б) Астрономическая система координат:

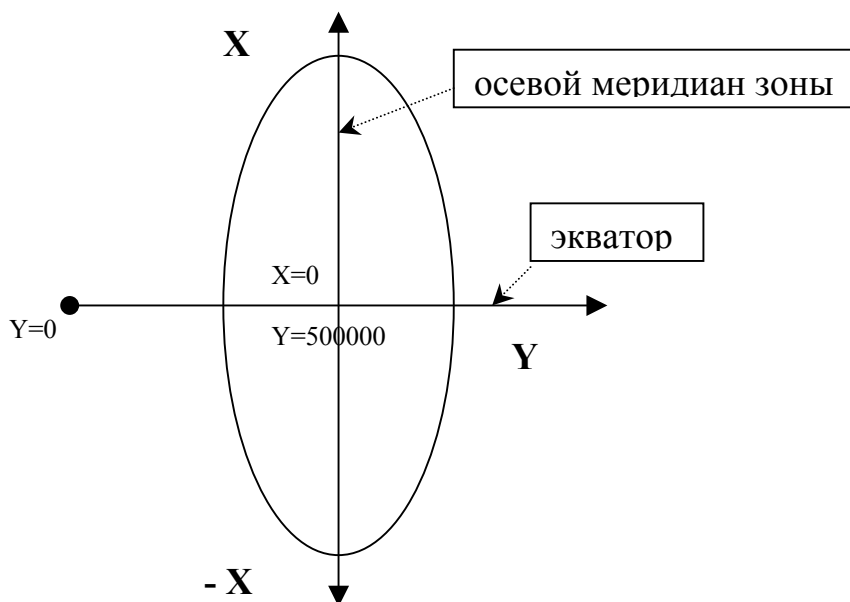


Астрономическая широта (ϕ) – угол между плоскостью экватора и направлением отвесной линии в данной точке. Астрономическая долгота

(λ) – угол между плоскостью начального астрономического меридиана и плоскостью астрономического меридиана точки.

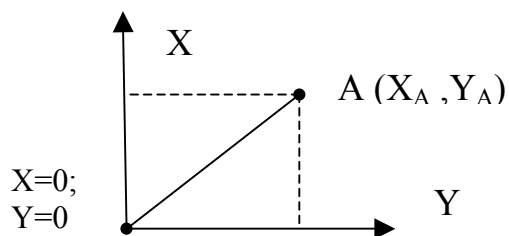
Угол между направлениями отвесной линии и нормалью к эллипсоиду называется **уклонением отвесной линии**.

в) Зональная система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера (X и Y в метрах):



Для однозначного определения местоположения перед ординатой точки записывается номер 6-градусной зоны, например для точки пересечения осей в 12 зоне получим: Y=12500000

г) Система прямоугольных координат X и Y на плоскости (широко применяется в топографии и прикладной геодезии):



д) Другие системы координат.

1.4. Прямая и обратная геодезические задачи.

Алгоритм решения прямой и обратной геодезической задачи рассмотрим для случая прямоугольной системы координат на плоскости.

В **прямой геодезической задаче** по известным координатам одной точки (X_A, Y_A) дирекционному углу α_{A-B} и длине стороны D_{A-B} вычисляют координаты другой точки (X_B, Y_B).

Дано: $X_A, Y_A, \alpha_{A-B}, D_{A-B}$.

Найти: X_B, Y_B .

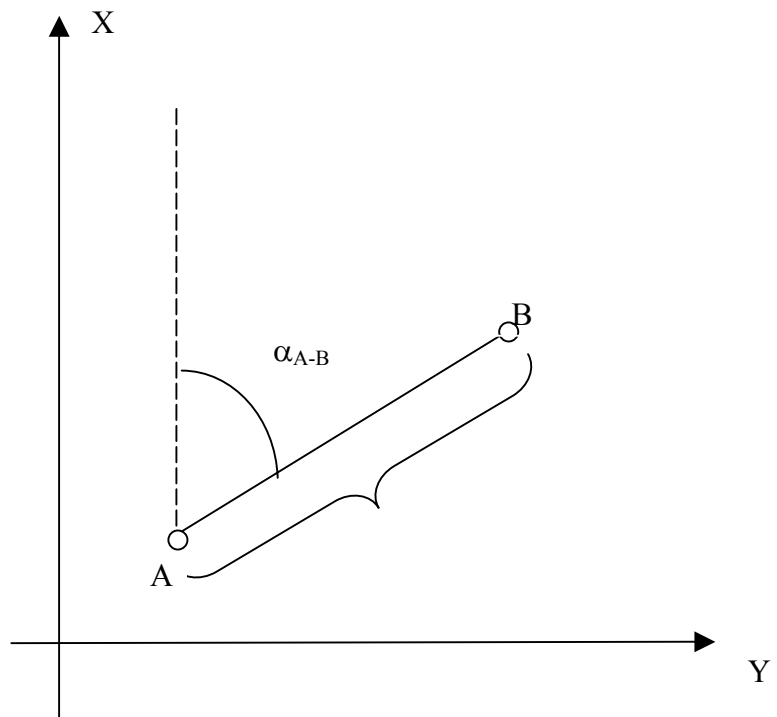
Решение:

$$X_B = X_A + D_{A-B} \cos \alpha_{A-B};$$

$$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\Delta X}$$

$$Y_B = Y_A + D_{A-B} \sin \alpha_{A-B};$$

$$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\Delta Y}$$



В **обратной геодезической задаче** по известным координатам двух точек вычисляют дирекционный угол и длину линии.

Дано: X_A, Y_A, X_B, Y_B .

Найти: α_{A-B}, D_{A-B} .

Решение:

$$D = \Delta X / \cos \alpha = \Delta X / \cos r = \Delta Y \sin \alpha = \Delta Y \sin r = (\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{1/2},$$

где $\Delta X_{A-B} = X_B - X_A$; $\Delta Y_{A-B} = Y_B - Y_A$.

Для того, чтобы получить значение дирекционного угла, сначала вычисляют значение румба по формуле:

$$r = \arctg (\Delta Y / \Delta X).$$

Затем по знакам ΔX и ΔY определяют номер четверти и по соответствующей формуле вычисляют значение α (см. также таблицу в п.3.2 темы 3):



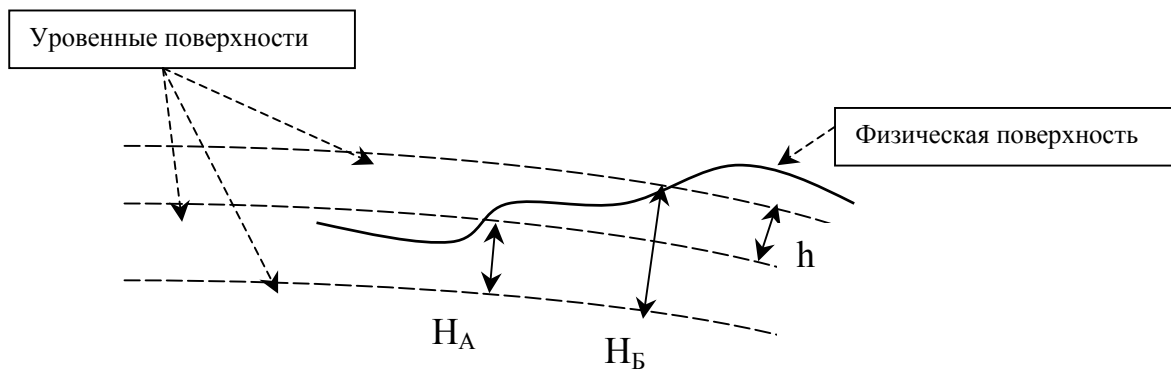
1.5. Высота - расстояние по отвесной линии от уровенной поверхности до точки физической поверхности Земли.

Различают **абсолютные высоты**, если отсчет ведется от уровенной поверхности Земли (геоида) и **относительные**, если отсчитываются от произвольной уровенной поверхности.

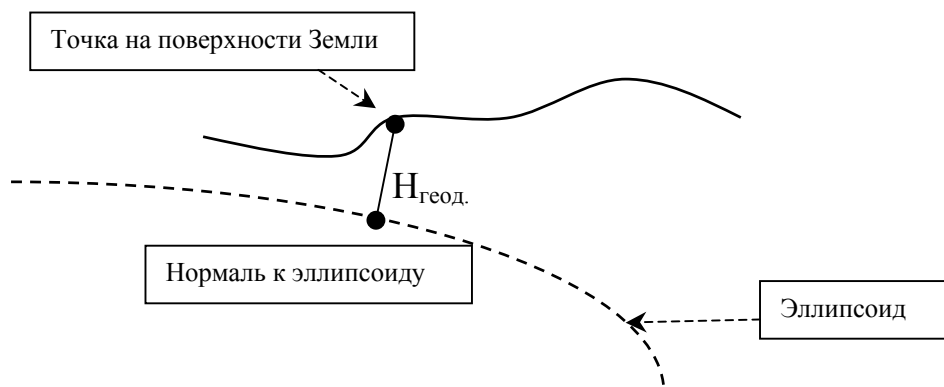
В России за начало отсчета абсолютных высот принят средний уровень Балтийского моря, отмеченный штрихом на специальной пластине (нуль Кронштадтского футштока).

Геодезические работы по измерению превышений и вычислению высот точек земной поверхности называют **нивелированием**.

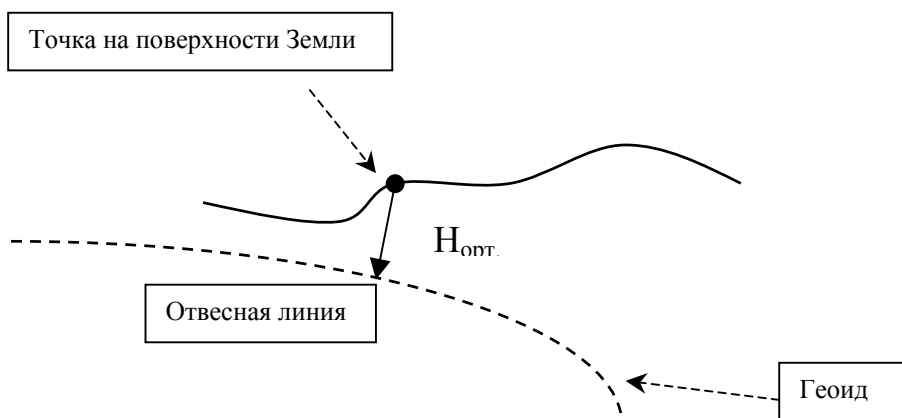
Разность высот двух точек называется превышением: $h = H_B - H_A$. Превышения с учетом взаимного расположения точек бывают положительные и отрицательные.



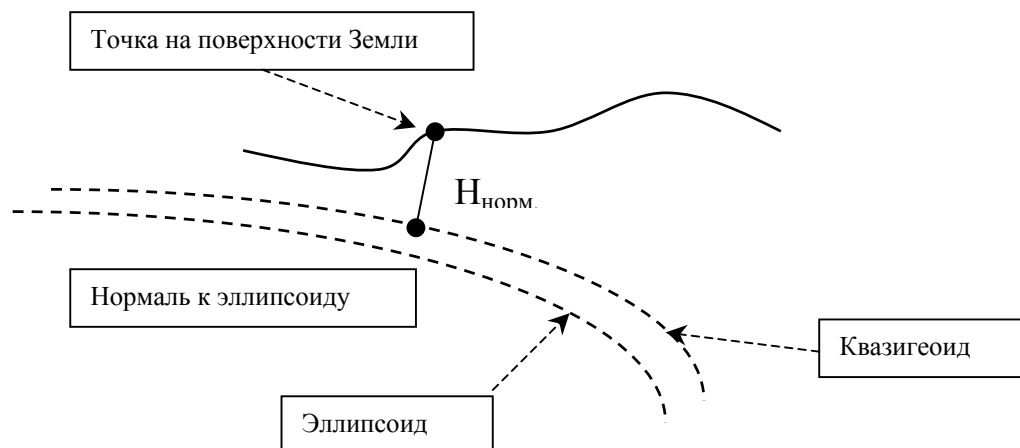
Геодезической высотой $H_{\text{геод.}}$ называется расстояние от эллипсоида до точки на земной поверхности по нормали к эллипсоиду:



Ортометрической высотой $H_{\text{орт.}}$ называется расстояние по отвесной линии от геоида до точки на земной поверхности:



Нормальной высотой $H_{\text{норм.}}$ называется расстояние от поверхности квазигеоида до точки на земной поверхности по нормали к эллипсоиду:



Существуют различные способы измерения превышений (подробнее см. тему 5).

Контрольные вопросы:

- 1.1. Что такое уровенная поверхность, геоид, квазигеоид.
- 1.2. Что такое общий земной эллипсоид, референц-эллипсоид.
- 1.3. Какие основные системы координат применяются в геодезии.
- 1.4. Что такое прямая и обратная геодезические задачи.
- 1.5. Какие системы высот применяются в геодезии.

Тема 2. Разграфка и номенклатура топографических карт

2.1. Топографические карты и планы.

2.2. Разграфка и номенклатура топографических карт.

2.1. Одним из основных итогов топографо-геодезических работ является графическое изображение земной поверхности, составленное по определенным правилам (план, карта, профиль).

План – чертеж, дающий в уменьшенном и подобном виде изображение горизонтальной проекции небольшого участка земной поверхности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается. На плане могут быть изображены ситуация и рельеф.

Ситуацией местности называется совокупность контуров и неподвижных местных предметов. Ситуация на плане представляет собой горизонтальную проекцию контуров и отдельных предметов местности. В геодезии используется понятие «плановая съемка» применительно к понятию «съемка ситуации».

Рельефом называется совокупность неровностей земной поверхности естественного происхождения. Рельеф на плане представляет собой изображение пространственных форм физической поверхности Земли на плоскости.

Если на плане изображается только ситуация, такой план называется **ситуационным или контурным**. Если кроме ситуации изображается также рельеф, такой план называется **топографическим**.

Профиль – изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению.

Карта – уменьшенное и искаженное из-за кривизны Земли изображение на плоскости значительных территорий земной поверхности, построенное в определенной картографической проекции. При построении карты используется картографическая сетка, т.е. сетка меридианов и параллелей.

Масштаб – степень уменьшения горизонтальных проекций линий местности при изображении их на плане или карте. Таким образом, масштаб есть отношение длины отрезка на плане или карте к горизонтальной проекции соответствующего отрезка на местности.

Различают численный и графический масштаб. Численный масштаб представляет собой дробь, числитель которой равен единице, а знаменатель – число, показывающее, во сколько раз горизонтальные проекции линий местности уменьшены на плане или карте. Графический масштаб бывает линейным и поперечным (трансверсальным). На планах и картах также приводится именованный (пояснительный) масштаб, например: «в 1 сантиметре 100 метров».

План и карта являются уменьшенным изображением на плоскости проекций участков местности. Однако между ними имеются различия:

- масштаб в пределах плана постоянен, а на карте – меняется от точки к точке (постоянен только по одному направлению – главный масштаб, в остальных частях – частные масштабы);
- карты выполняются в масштабах 1:10000 и мельче, а планы в более крупных (1:100 – 1:5000).

Карты подразделяются на крупномасштабные топографические (1:10000 – 1:100000), среднемасштабные обзорно-топографические (1:200000 – 1:1000000), мелкомасштабные обзорные (мельче, чем 1:1000000).

Топографические карты имеют многоцелевое назначение и характеризуются детальностью изображения всех элементов местности в отличие от специальных карт, на которых выделяются один или несколько элементов.

2.2. Деление листа карты одного масштаба на несколько листов карты более крупного масштаба называют **разграфкой**. Систему обозначения отдельных листов карт называют **номенклатурой**.

В основу деления карт на отдельные листы и систему их обозначения положена международная разграфка карты масштаба 1:1000000. Для получения одного листа карты этого масштаба поверхность Земли делят меридианами на шестиградусные колонны и параллелями на четырехградусные ряды. Колонны нумеруют от меридиана 180 градусов с запада на восток. Например, для западной части территории России:

Номер колонны	36	37	38	39	40
Меридианы восточной долготы	$30^{\circ} - 36^{\circ}$	$36^{\circ} - 42^{\circ}$	$42^{\circ} - 48^{\circ}$	$48^{\circ} - 54^{\circ}$	$54^{\circ} - 60^{\circ}$

Ряды обозначают буквами латинского алфавита (от А до V) от экватора на север. Например, для части территории России:

Обозначение ряда	К	L	M	N	O
Параллели северной широты	$40^{\circ} - 44^{\circ}$	$44^{\circ} - 48^{\circ}$	$48^{\circ} - 52^{\circ}$	$52^{\circ} - 56^{\circ}$	$56^{\circ} - 60^{\circ}$

На пересечении колонн и рядов образуются трапеции, границами которых являются меридианы и параллели. Обозначение трапеции получается из номера колонны и буквенного обозначения ряда. Например: N - 37 для трапеции в масштабе 1:1000000, в которую попадает г. Москва, N - 39 для трапеции с городом Казань.

В нашей стране лист карты масштаба 1:10000000 является исходным для установления номенклатуры топографических карт более крупного масштаба (1:500000, 1:300000, 1:200000, 1:100000).

Для получения карты масштаба 1:500000 лист карты масштаба 1:1000000 делят на 4 части, которые обозначают заглавными буквами русского алфавита. Номенклатура этих листов будет складываться из номенклатуры исходного листа с добавлением справа буквенного обозначения конкретного листа, например: N – 37 – A:

N - 37

A	Б
В	Г

Лист в масштабе 1:300000 получается из листа масштаба 1:1000000 делением на 9 частей, которые обозначают римскими цифрами. К исходной номенклатуре добавляют слева римскую цифру: IX – N – 37:

N - 37

I	II	III
IV	V	VI
VII	VIII	IX

Для карты масштаба 1:200000 лист масштаба 1:1000000 делят на 36 частей, которые обозначают римскими цифрами:

N - 37

I	II		VI
VII	VIII		XII
XXXI	XXXII		XXXVI

Номенклатура этих листов получится из номенклатуры исходного листа добавлением справа порядкового номера римскими цифрами, например: N – 37 – XXXVI для нижнего листа справа.

Для получения карты масштаба 1:1000000 лист карты масштаба 1:10000000 делят на 144 частей, которые обозначают порядковыми номерами арабскими цифрами:

N - 37

1	2		12
13	14		24
133	134		144

Номенклатура листов будет состоять из номенклатуры исходного листа с добавлением справа порядкового номера арабскими цифрами, например: N – 37 – 144 для нижнего листа справа.

Лист топографической карты масштаба 1:1000000 является исходным для установления номенклатуры топографических карт более крупного масштаба (1:50000, 1:25000, 1:10000).

Карта 1:50000 получается делением листа масштаба 1:100000 на 4 части, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита:

N – 37 – 144

А	Б
В	Г

Номенклатура этих листов будет получена из номенклатуры исходного листа добавлением справа буквенного обозначения, например: N – 37 – 144 – A.

Для получения карты масштаба 1:25000 лист карты масштаба 1:50000 делят на 4 части, которые обозначают строчными буквами русского алфавита:

N – 37 – 144 – A

а	б
в	г

Номенклатура листов будет складываться из номенклатуры листа масштаба 1:50000 с добавлением справа буквенного обозначения листа масштаба 1:25000, например: N – 37 – 144 – A – а.

Для получения карты масштаба 1:10000 лист карты масштаба 1:25000 делят на 4 части, которые обозначают арабскими цифрами:

N – 37 – 144 – A - а

1	2
3	4

Номенклатура листов получится из номенклатуры исходного листа добавлением справа порядкового номера листа масштаба 1:10000, например: N – 37 – 144 – A – а – 4.

Для получения листа плана масштаба 1:5000 лист карты масштаба 1:100000 делят на 256 частей, которые обозначают арабскими цифрами. Номенклатура листов получится из номенклатуры исходного листа масштаба 1:100000 добавлением справа в скобках порядкового номера листа масштаба 1:5000, например: N – 37 – 144 – (256).

Размеры трапеций и номенклатуры листов карты

Масштаб карты	Размеры трапеции		Образец номенклатуры
	По широте	По долготе	
1:1000000	4°	6°	N – 37
1:500000	2°	3°	N – 37 – A
1:300000	1°20′	2°	IX – N – 37
1:200000	1°	1°30′	N – 37 – XXXVI
1:100000	20′	30′	N – 37 – 144
1:50000	10′	15′	N – 37 – 144 – A
1:25000	5′	7′30"	N – 37 – 144 – A – a
1:10000	2′30"	3′45"	N – 37 – 144 – A – a – 4
1:5000	1′15"	1′52,5"	N – 37 – 144 – (256)

Контрольные вопросы:

- 2.1. Что такое ситуация и рельеф местности.
- 2.2. Что такое масштаб карты или плана.
- 2.3. В чем отличия карты от плана.
- 2.4. На какие виды подразделяются карты по масштабам.
- 2.5. Что такое разграфка и номенклатура топографических карт.

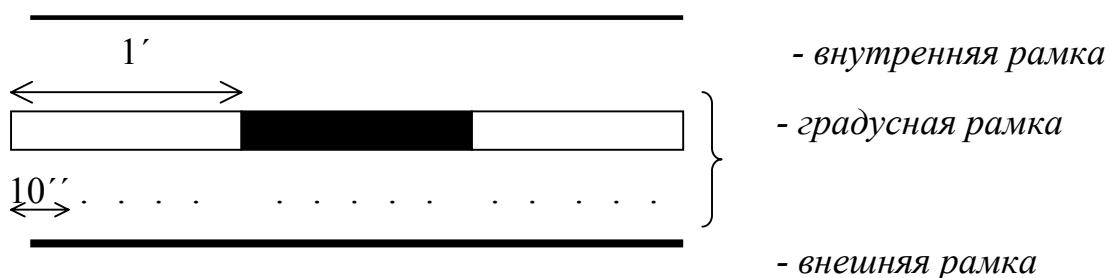
Тема 3. Изображение местности на топографической карте

- 3.1. Определение координат по топографической карте.
- 3.2. Ориентирование линий на карте.
- 3.3. Условные знаки топографических карт.
- 3.4. Изображение рельефа на топографических картах.

3.1. По топографической карте можно определить геодезические (географические) и прямоугольные координаты точки местности.

Крупномасштабные и среднемасштабные карты издаются отдельными листами. Картографическое изображение ограничивается внутренней рамкой, которая с севера и юга представляет собой параллели, а с запада и востока истинные меридианы. На листах карты также наносится внешняя (оформительская) рамка, за которой находится зарамочное оформление.

Для определения геодезических (географических) координат точек между внешней и внутренней рамкой наносится **градусная рамка** в виде двойной линии, разделенной на отрезки, соответствующие одной угловой минуте по широте и долготе. Эти минутные интервалы выделяются попеременно черным и белым цветом, а также разделяются точками на интервалы по 10 угловых секунд:



В углах внутренней рамки указываются широты и долготы. Используя градусную рамку на листе карты можно мысленно расчертить градусную сетку, с помощью которой определяют геодезические

(географические) координаты любой точки. При практическом определении координат в случае необходимости используется линейка.

Кроме градусной сетки на карту наносят квадратную координатную сетку зональной системы прямоугольных координат. Стороны этой сетки обычно равны целому числу километров в масштабе карты, поэтому ее называют **километровой сеткой**.

Линии километровой сетки между внутренней и градусной рамкой подписывают определенными значениями. Подписи горизонтальных линий соответствуют расстоянию в километрах от экватора, а вертикальных линий – расстоянию в километрах от начала координат Y (первая цифра слева – номер шестиградусной зоны). Для получения прямоугольных координат точек эти подписи нужно перевести в метры, а затем прибавить к ним расстояния в метрах Δx и Δy от соответствующих координатных линий до определяемой точки с учетом масштаба карты (отрезки измерять параллельно линиями километровой сетки):

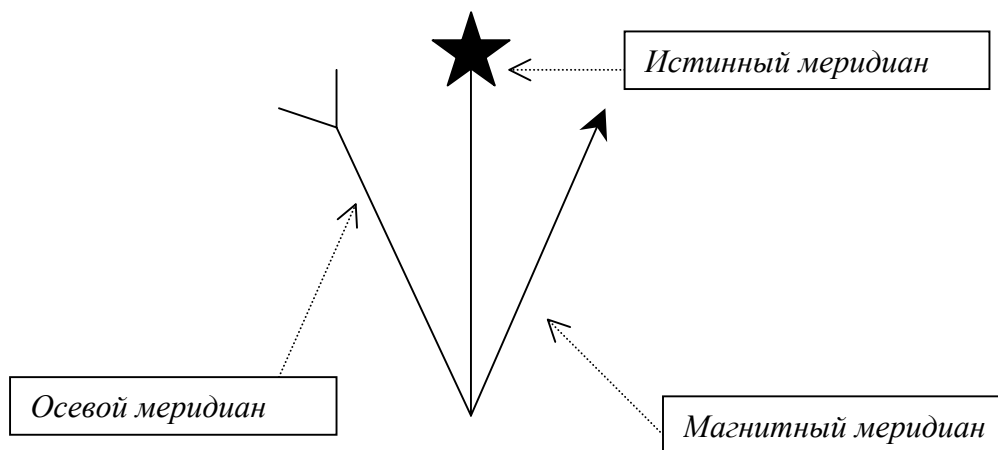
$$X(\text{точки}) = X(\text{координатной линии, м}) + \Delta x, \text{ м}$$

$$Y(\text{точки}) = Y(\text{координатной линии, м}) + \Delta y, \text{ м/}$$

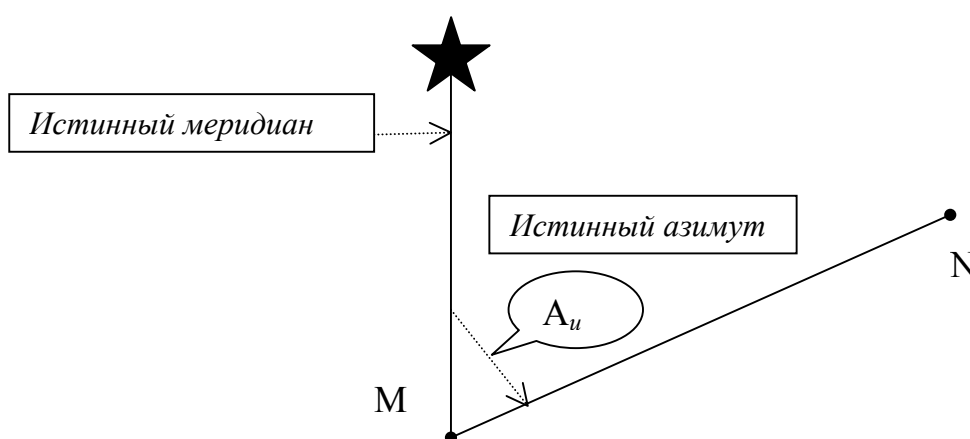
3.2. Ориентировать линию местности - найти ее направление относительно какого-либо другого направления, принимаемого за исходное (известное) направление.

Угол в горизонтальной плоскости (горизонтальный угол) между исходным направлением и ориентируемой линией называется ориентирным углом.

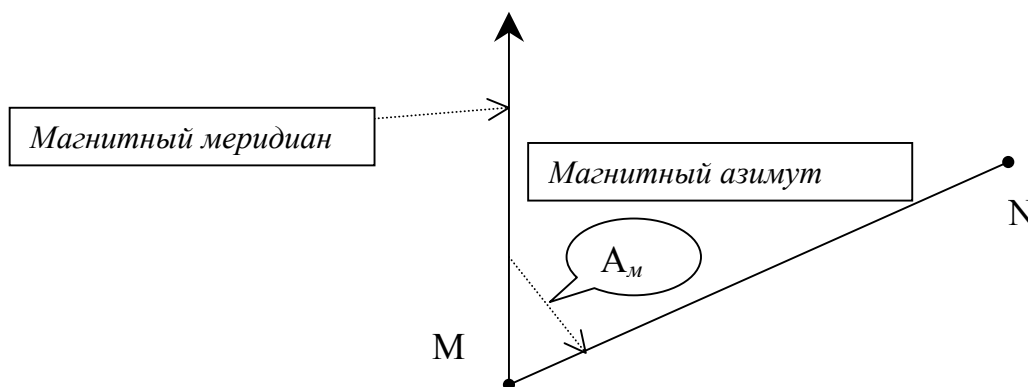
В геодезии в качестве исходного направления принимают направления истинного меридиана, магнитного меридиана, осевого меридиана долготной (6-градусной) зоны.



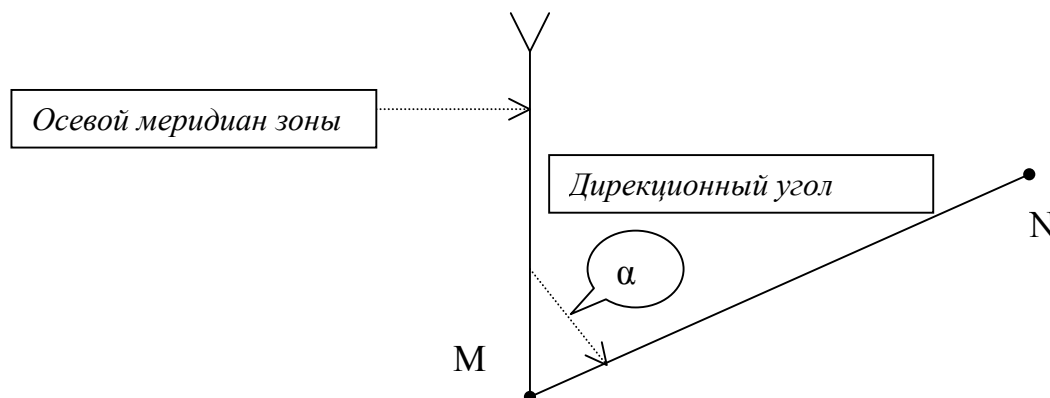
Истинный азимут A_n - горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от 0 до 360 градусов между северным направлением истинного (географического) меридиана и заданным направлением.



Магнитный азимут A_m - горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от 0 до 360 градусов между северным направлением магнитного меридиана и заданным направлением.



Дирекционный угол α - горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от 0 до 360 градусов между северным направлением осевого меридиана зоны (то есть северным направлением оси X) и заданным направлением.



Острый угол, отсчитываемый от ближайшего направления осевого меридиана до заданного направления называется **румбом**. Численные значения румбов без указания четвертей называются табличными углами.

Связь дирекционных углов с табличными углами

Четверти	Значения α	Формула связи	Знак ΔX	Знак ΔY
I - СВ	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	$\alpha = r$	+	+
II - ЮВ	$90^\circ < \alpha < 180^\circ$	$\alpha = 180 - r$	-	+
III - ЮЗ	$180^\circ < \alpha < 270^\circ$	$\alpha = 180 + r$	-	-
IV - СЗ	$270^\circ < \alpha < 360^\circ$	$\alpha = 360 - r$	+	-

3.4. На топографических картах и планах земная поверхность и расположенные на ней искусственные и естественные объекты (ситуация местности и рельеф) отображаются специальными графическими изображениями (значками), которые называются условными знаками.

Условные знаки для всех масштабов карт и планов устанавливаются нормативными документами.

В зависимости от масштабов карт и планов местные предметы изображаются с различной подробностью. Обобщение элементов ситуации и рельефа при переходе от крупных масштабов к более мелким называется **генерализацией**.

Условные знаки, изображающие ситуацию местности, подразделяются на площадные или масштабные, внемасштабные, линейные, пояснительные условные знаки.

Площадные или масштабные условные знаки служат для изображения объектов, занимающих значительную площадь и выражающихся в масштабе карты или плана. Такой условный знак состоит из знака границы объекта и заполняющих его знаков или условной окраски. Контур объекта показывается сплошной линией, точечной пунктирной линией или условным знаком соответствующей границы (канавы, изгороди и т.п.). Заполняющие знаки располагаются внутри контура в определенном порядке. Площадные условные знаки позволяют не только найти расположение объекта, но и оценить его линейные размеры, площадь и очертания.

Внемасштабными называют такие условные знаки, которые изображают предметы местности без соблюдения масштаба карты или плана. Эти знаки не позволяют получить представление о линейных размерах изображаемых местных предметов (отдельное дерево, километровый столб, колодец и т.д.).

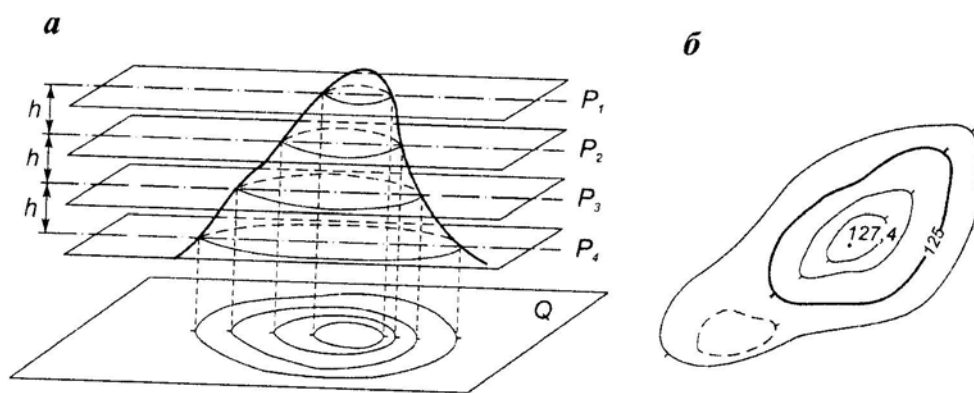
Линейными условными знаками называют знаки, изображающие протяженные объекты (например, дороги, ручьи, границы и др.). Длина таких объектов выражается в масштабе карты или плана, а ширина – нет. Обычно она получается больше реальной ширины объекта, и его положению соответствует продольная ось условного знака.

Пояснительные условные знаки служат для дополнительной характеристики изображаемых на карте предметов.

3.5. Рельеф на топографических планах и картах изображается следующими методами: штрихов, отмывки, цветной пластики, отметок или горизонталей.

На крупномасштабных топографических картах и планах рельеф изображается, как правило, методом горизонталей.

Горизонталью называется линия, соединяющая точки с равными высотами (иногда применяют термин «изогипса»). Горизонталь получается при сечении земной поверхности горизонтальной плоскостью расположенной на определенной высоте. Расстояние по вертикали между соседними секущими горизонтальными плоскостями называется **высотой сечения рельефа**. Она устанавливается нормативными документами в зависимости от масштаба карты или плана и характера отображаемой местности.



Если некоторые мелкие, но важные детали физической поверхности Земли невозможно отобразить горизонталями принятого сечения рельефа, то применяют «полугоризонтали» и «четвертьгоризонтали», соответствующие половине или четверти основного сечения рельефа.

Расстояние между смежными горизонталями в плане называется **заложением (d)**.

Отношение высоты сечения к заложению называется **уклоном** **линии ската**:

$$i = \operatorname{tg} v = h/d$$

Угол наклона ската к горизонту (v) характеризует крутизну ската:

$$v = \operatorname{arctg} h/d$$

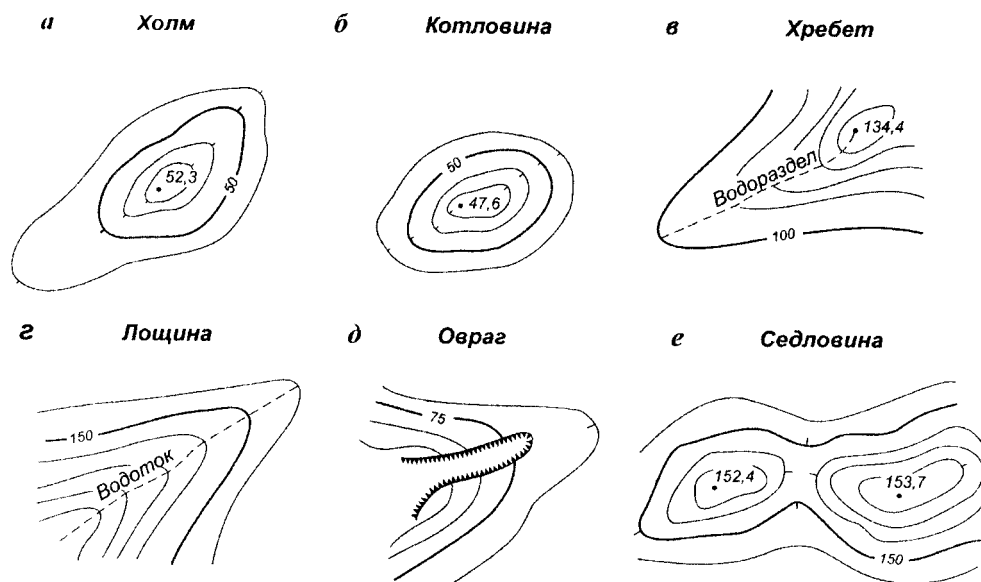
Для облегчения чтения рельефа и определения направления скатов перпендикулярно горизонтали ставятся короткие штрихи (бергштрихи). Обычно каждая пятая горизонталь проводится утолщенной линией и подписывается значением высоты (верх цифр - в сторону повышения рельефа). Горизонтالي, бергштрихи, подписи высот и другие условные знаки для отображения рельефа изображаются на картах и планах коричневым цветом.

На топографических картах горизонталями изображают формы рельефа, если угол наклона скатов не превышает 45 градусов. При изображении более крутых скатов пользуются специальными условными знаками. К числу дополнительных знаков при изображении рельефа относятся: подписи отметок вершин, глубин и других высот.

Горизонтالي имеют следующие свойства:

- все точки на одной горизонтали имеют одинаковую высоту;
- замкнутые горизонтالي обозначают холм или котловину;
- горизонтали должны быть непрерывными линиями, они могут прерываться только в оврагах;
- горизонтали не могут пересекаться и разветвляться;
- расстояние между горизонталями в плане (заложение) характеризует крутизну ската, то есть угол наклона ската к горизонту;
- линии водоразделов и водотоков пересекаются горизонталями под прямым углом;
- горизонтали имеют отметки, кратные высоте сечения рельефа.

В зависимости от характера рельефа местность делят на: **равнинную, холмистую и горную**. Рельеф местности складывается из различных сочетаний форм земной поверхности. К основным формам рельефа относят **холм, котловину, хребет, ложину, овраг и седловину**:



Контрольные вопросы:

- 3.1. Как определить геодезические (географические) координаты по топографической карте.
- 3.2. Как определить прямоугольные координаты (х,у) точек по топографической карте.
- 3.3. Что такое ориентирование линий.
- 3.4. Какие условные знаки применяются для изображения ситуации местности на топографических картах.
- 3.5. Как изображается рельеф местности на топографических картах.

Тема 4. Геодезические сети

- 4.1. Виды геодезических сетей.
- 4.2. Основные методы создания геодезических сетей.
- 4.3. Современная концепция геодезического обеспечения страны.

4.1. Геодезической сетью называют систему закрепленных на земной поверхности геометрически связанных между собой точек, положение которых определено в принятой системе координат и высот.

Геодезические сети подразделяют на:

- глобальные, покрывающие поверхность всей Земли;
- национальные (государственные) на территорию страны;
- специального назначения;
- обоснование топографических съемок.

При построении геодезических сетей соблюдается принцип перехода от общего к частному и систематический контроль всех видов работ.

Глобальная геодезическая сеть создается методами космической геодезии. Положение пунктов определяется в геоцентрической системе прямоугольных координат. Глобальную геодезическую сеть используют для решения научных и научно-технических задач геодезии, геофизики, астрономии и других наук, например, для уточнения фундаментальных геодезических постоянных, изучения фигуры и гравитационного поля Земли, определения перемещения литосферных плит и т.п.

Национальная геодезическая сеть подразделяется на государственную плановую геодезическую сеть, нивелирную (высотную) сеть и гравиметрическую сеть.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) состоит из пунктов, взаимное плановое положение которых определяют с наивысшей точностью, достигнутой в массовых измерениях.

Государственная нивелирная сеть содержит пункты, высоты которых относительно поверхности квазигеоида определяют с наивысшей точностью, плановое положение этих пунктов определяют с меньшей точностью.

Государственная гравиметрическая сеть имеет пункты, на которых измеряют с высокой точностью ускорение силы тяжести.

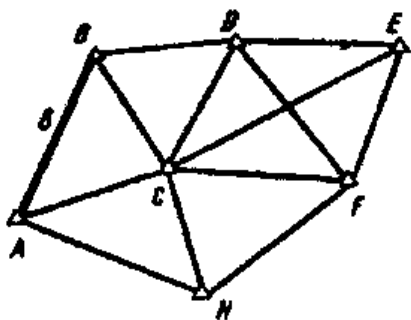
Государственные геодезические сети необходимы для распространения единой системы координат и высот на всю территорию страны, детального изучения фигуры и гравитационного поля Земли и их изменений во времени, выполнения топографических съемок в единой системе координат и высот, надежного контроля качества топографо-геодезических работ, решения научных и технических задач.

Геодезические сети специального назначения создают в тех случаях, когда для решения поставленных задач на данной территории недостаточно пунктов имеющихся геодезических сетей. Такие сети строят для ведения кадастров, в сейсмоактивных регионах для прогнозирования землетрясений, при строительстве крупных сооружений и т.п.

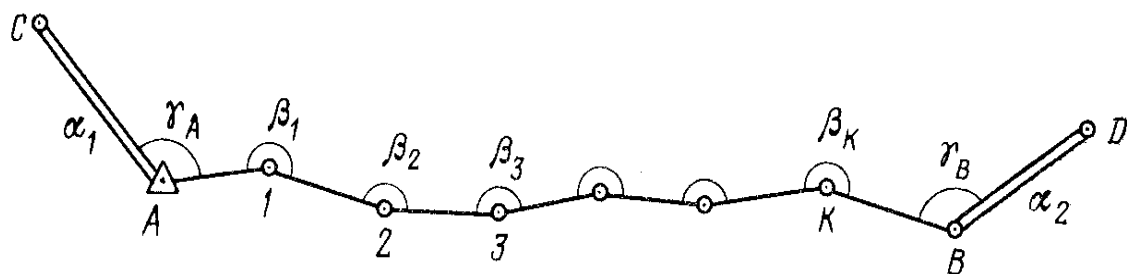
4.2. Основными методами создания геодезических сетей являются триангуляция, полигонометрия, трилатерация и спутниковые координатные определения. Выбор конкретного метода определяется условиями местности, требуемой точностью и экономической эффективностью. В настоящее время геодезические сети создают преимущественно методом спутниковых координатных определений с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГЛОНАСС, GPS), реже применяется полигонометрия.

Метод триангуляции заключается в том, что на командных высотах устанавливают геодезические пункты, соединяя которые, получают треугольники. В сети треугольников известными являются координаты пункта А, базис АВ и дирекционный угол стороны АВ (или

координаты пунктов А и В). На пунктах триангуляции в вершинах треугольников измеряют горизонтальные углы. Вычислив дирекционные углы и длины сторон треугольников, определяют координаты всех остальных пунктов сети:



В **полигонометрии** на местности строят геодезические пункты, которые соединяют между собой ломаными линиями одиночным ходом или системой ходов, в которых измеряют длины сторон, соединяющие пункты, а на пунктах - углы поворота между сторонами.



Конечные пункты полигонометрии являются опорными, и на них измеряют примычные углы между сторонами, для которых известны дирекционные углы, и начальной и конечной сторонами хода. Простейшим случаем полигонометрии является теодолитный ход.

В методе **трилатерации**, как и в триангуляции, строят цепочки треугольников, геодезических четырехугольников, центральных систем,

сплошных сетей треугольников, в которых измеряют только длины сторон. Исходными являются координаты одного или нескольких пунктов.

Спутниковые методы создания геодезических сетей делят на геометрические и динамические. В геометрическом методе искусственные спутники Земли (ИСЗ) используют как высокую визирную цель, в динамическом - ИСЗ является носителем координат. В геометрическом методе спутники фотографируют на фоне опорных звезд, что позволяет определить направления со станции слежения на спутники. Фотографирование нескольких положений ИСЗ позволяет получить координаты определяемых пунктов. Эту же задачу в динамическом методе решают путем измерения расстояния до спутников радиотехническими средствами. Создание навигационных систем в России и в США (ГЛОНАСС, GPS) позволяет в любой момент времени в любой части Земли определять координаты точек с высокой точностью.

4.3. Современная концепция геодезического обеспечения страны.

В настоящее время единые системы координат на территории России задаются соответственно государственной геодезической сетью (ГГС) и государственной нивелирной сетью (ГНС). Государственная геодезическая сеть имеет среднюю плотность 1 пункт на 38 кв.км, а государственная нивелирная сеть - 1 репер на 34 кв.км.

Завершенная к середине 90-х годов прошлого столетия государственная геодезическая сеть страны (ГГС) построена методами триангуляции и полигонометрии. Она содержит более 464 тыс. геодезических пунктов. Точность этой сети позволяет использовать ее для обоснования топографических съемок до масштаба 1:2000 и крупнее.

В результате математической обработки (заключительного уравнивания) в 1996 году получена новая высокоточная система геодезических координат СК-95, распространенная на всю территорию страны. Точность взаимного положения пунктов в этой системе координат

составляет: 2-4 см - при расстояниях между пунктами 10-15 км; 10-20 см - при расстояниях 100-200 км; 0,5-0,8 м - при расстояниях около 1000 км.

Заключительное уравнивание ГГС завершило этап истории развития геодезии в России, в котором система геодезического обеспечения основывалась на традиционных методах линейно-угловых геодезических измерений. Однако эти методы по точности, оперативности, экономической эффективности уже не соответствуют современным требованиям науки и практики.

В 80-х годах прошлого столетия появились первые геодезические спутниковые приемники, позволяющие получать координаты с высокой точностью. А в начале 90-х годов уже были созданы приемники, с помощью которых производятся в реальном времени как съемочные, так и разбивочные работы. Спутниковые методы по сравнению с традиционными методами обладают рядом преимуществ (они будут рассмотрены в соответствующей теме).

В структуре государственной геодезической сети, основанной на использовании современных спутниковых технологий предусматривается построение геодезических сетей высшего класса точности, связанных между собой по традиционному геодезическому принципу «перехода от общего к частному».

Высшим звеном всей структуры должна стать **фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС)**. Она реализует общеземную геоцентрическую систему координат при решении задачи координатно-временного обеспечения страны, стабильность системы координат во времени, метрологическое обеспечение высокоточных космических средств измерений. Для этого необходимо использовать весь комплекс существующих космических средств измерений (лазерные, радиоинтерферометрические и др.).

Следующее звено - **высокоточная геодезическая сеть (ВГС)**. Ее основные функции: распространение на всю территорию страны общеземной геоцентрической системы координат, определение точных параметров взаимного ориентирования общеземной и референционной систем координат, объединение плановой и высотной геодезических основ. Пункты ВГС необходимо привязать к реперам высокоточного нивелирования со средней квадратической ошибкой определения высот не превосходящей 5 см, что позволит получать из спутниковых определений также и высоты.

Третьим звеном новой структуры ГГС является **спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1)**. Она должна обеспечить оптимальные условия использования спутниковой аппаратуры, в том числе односторонних приемников ГЛОНАСС/GPS, для возможно более полного удовлетворения интересов широкого круга потенциальных потребителей.

Все сети связаны между собой путем последовательного вписывания одной в другую: ФАГС - опорная для ВГС, а ВГС и ФАГС - для СГС-1. Предусматривается привязка к ним и существующей ГГС, которая в новой структуре – лишь низшее звено, исполняющее роль сети сгущения.

Уровень сети	Характеристика	Точность
ФАГС	Расстояние между пунктами 700-1000 км. Общее число пунктов 50-70.	Относительная погрешность взаимного положения смежных пунктов $1-2 \cdot 10^{-8}$ (1-2 см).
ВГС	Расстояния между пунктами 150-300 км. Общее число пунктов 500-700.	Относительная погрешность взаимного положения смежных пунктов $1 \cdot 10^{-7}$.
СГС-1	Общее число пунктов 12-15 тысяч, расстояние между пунктами 40-50 км.	Точность взаимного положения смежных пунктов не хуже 1-2 см.

В новой концепции системы геодезического обеспечения страны, основанной на спутниковых технологиях, работы по поддержанию и восстановлению пунктов существующей ГГС не планируются.

Выполнение указанных мероприятий позволит:

- повысить точность и оперативность геодезических определений;
- внедрить методы спутникового нивелирования вместо геометрического нивелирования 3 и 4 классов;
- обеспечить изучение деформаций земной коры, являющихся предвестниками землетрясений и других опасных явлений;
- создать систему постоянных наблюдений за динамикой уровней морей на уровне постах и прогноза их состояния;
- обеспечить геодезическое обоснование картографирования страны и создание геоинформационных систем;
- установить высокоточную единую геодезическую систему координат и поддерживать ее на уровне современных и перспективных требований экономики, науки и обороны страны.

Однако спутниковые технологии не всегда можно использовать при решении ряда геодезических задач, что приводит к необходимости использовать и традиционные технологии выполнения работ.

Контрольные вопросы:

- 4.1. Что такое геодезическая сеть.
- 4.2. Перечислите основные виды геодезических сетей.
- 4.3. Какими методами создаются геодезические сети.
- 4.4. Каковы основные характеристики существующей ГГС.
- 4.5. Каковы новые подходы к геодезическому обеспечению страны.

Тема 5. Геодезические приборы и методы выполнения измерений

5.1. Классификация геодезических измерений.

5.2. Угловые измерения.

5.3. Линейные измерения.

5.4. Нивелирование.

5.1. Геодезические измерения – это измерения, проводимые для получения количественной информации о взаимном положении объектов материального мира в процессе выполнения топографо-геодезических работ.

Одна из главных задач измерений в процессе производства геодезических работ состоит не только в получении результата измерений, но и в оценке его достоверности. Этой задаче подчинена технология геодезических работ, обязательным условием построения которой является наличие избыточных измерений, обеспечивающих не только контроль работ, но и возможность количественной оценки их качества и надежности.

Метод геодезических измерений – это совокупность приемов использования технологических принципов и технических средств измерений.

В качестве **геодезических величин** выступают физические величины, значения которых определяются в результате выполнения геодезических измерений, а именно: длина линии (стороны); горизонтальный угол; вертикальный угол (зенитное расстояние или угол наклона); азимут; превышение; высота (отметка); координаты (приращения координат) точки.

Геодезические измерения можно классифицировать по различным признакам: назначению; точности; объему получаемой информации; характеру получаемой информации; инструментальной природе; по

возможностям последующей обработки результатов; взаимозависимости результатов измерений.

По назначению геодезические измерения подразделяются на следующие виды: угловые, линейные, нивелирные, координатные, долготные, гравиметрические. С учетом перечисленных видов измерений сформировались **технологические процессы** топографо-геодезических работ: триангуляция; трилатерация; полигонометрия; базисные измерения; астрономические определения; гравиметрические работы; топографические съемки; створные измерения; разбивочные работы; определения деформаций сооружений и земной коры; спутниковые измерения и т.д.

По точности геодезические измерения различаются в широком диапазоне: относительная погрешность от $1-3 \cdot 10^{-3}$ до $0,5-2 \cdot 10^{-6}$. В топографо-геодезическом производстве точность измерений определяют **классом** выполняемых работ. Например: триангуляция 1, 2, 3 и 4 классов; трилатерация 1, 2, 3 и 4 классов; полигонометрия 1, 2, 3, 4 классов и 1, 2 разрядов; нивелирование I, II, III, IV классов и техническое; теодолитные ходы 1, 2 разрядов и повышенной точности. Принято также, измерения делить на высокоточные, точные (средней точности), технические (малой точности), что связано с типом применяемых средств измерений. С классификацией измерений по точности тесно связаны понятия **равноточные и неравноточные** измерения.

В зависимости от количества (объема) получаемой информации геодезические измерения подразделяют на **необходимые и избыточные**. При необходимых измерениях располагают количеством измерений, достаточным для однозначного нахождения значения геодезической величины. Избыточными называют измерения, выполненные сверх необходимого их количества. Наличие избыточных измерений является принципиальной особенностью геодезических измерений. Это позволяет

не только повысить надежность результатов измерений, но и оценить их точность.

По характеру получаемой информации различают прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения. Наиболее характерным случаем для геодезических работ является выполнение прямых измерений, при которых непосредственно находят значение искомой геодезической величины. Однако распространение получили и косвенные измерения, примерами которых могут служить: определение горизонтального проложения по измеренной наклонной дальности и углу наклона линии (или разности высот конечных точек линии); получение приращений координат по измеренным непосредственно дирекционному углу и длине линии.

При совместных измерениях определяют зависимость между двумя и более физическими величинами, измеряемыми одновременно. Например, зависимость угла i нивелира от температуры окружающей среды. При совокупных измерениях в ряды наблюдений включают различные сочетания определяемых величин. Примерами таких измерений в геодезии является определение приборной поправки светодальномера из измерений линий во всевозможных комбинациях.

По физической (инструментальной) природе носителей информации различают **визуальные и невизуальные измерения**. При визуальных измерениях передача информации в системе «прибор-цель» осуществляется с участием наблюдателя (оператора). Невизуальные измерения полностью или частично исключают участие наблюдателя.

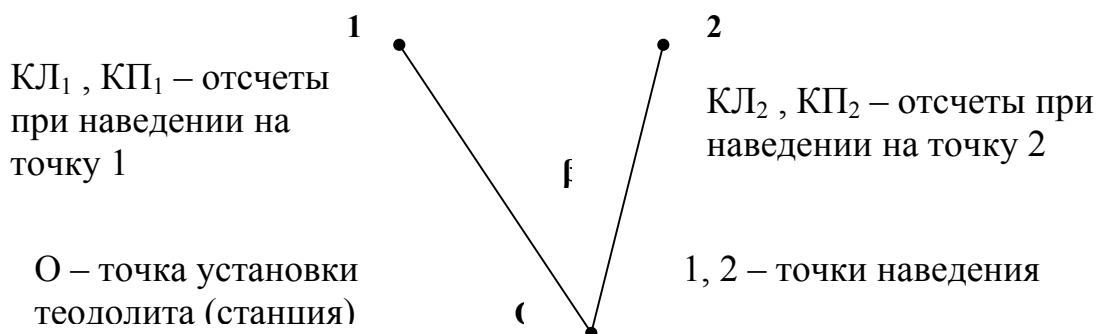
С точки зрения взаимозависимости результатов измерений можно выделить **независимые, зависимые и коррелированные измерения**. Отнесение результатов измерений к одному из этих видов определяет последующий метод их обработки.

5.2. К угловым измерениям относят измерения горизонтальных и вертикальных углов. Их выполняют при создании геодезических сетей методами триангуляции и полигонометрии, топографических съемках (тахеометрическая съемка), разбивочных работах (полярным методом, угловыми и линейно-угловыми засечками). Эти измерения производят специальными геодезическими угломерными приборами: теодолитами и электронными тахеометрами, которые подразделяют на высокоточные, точные и технические.

Угломерные приборы, как и другие геодезические средства измерений, должны своевременно проходить метрологическую аттестацию (государственную поверку). Кроме того, перед началом и в ходе измерений осуществляется технологическая поверка приборов исполнителем работ.

В зависимости от класса и вида выполняемых работ применяются различные методы угловых измерений: измерение углов методом полных приемов, метод круговых приемов, метод повторений, метод измерения углов во всех комбинациях.

Одним из наиболее распространенных методов измерения горизонтальных углов является метод полных приемов. Горизонтальный угол β получают как разность отсчетов при двух положениях теодолита («круг лево» и «круг право»): $\beta_{\text{КЛ}} = \text{КЛ}_2 - \text{КЛ}_1$ и $\beta_{\text{КП}} = \text{КП}_2 - \text{КП}_1$:



Измерения при одном положении теодолита называют полуприемом. Прием состоит из двух полуприемов. По величине расхождения значений угла между полуприемами судят о качестве (точности) измерений. В случае допустимого расхождения значений углов в полуприемах вычисляют среднее значение горизонтального угла в приеме: $\beta_{\text{сред.}} = (\beta_{\text{КЛ}} + \beta_{\text{КП}})$.

5.3. Линейные измерения выполняют при создании геодезических сетей, определении положения отдельных точек на местности при разбивочных работах и топографических съемках.

Линии можно измерить с помощью лент и рулеток, светодальномеров, электронных тахеометров, радиодальномеров, оптических дальномеров. В настоящее время в топографо-геодезических работах основным прибором для линейных измерений является электронный тахеометр.

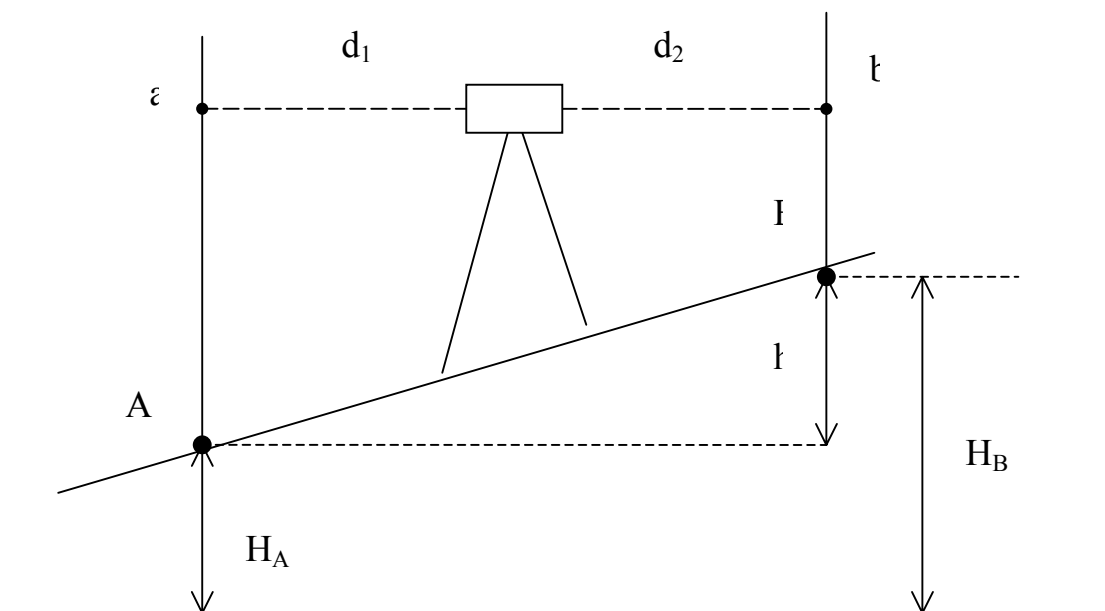
Измеренные наклонные расстояния s приводят к горизонту (получают горизонтальные проложения d) по формуле:

$$d = s \cos \gamma, \text{ где } \gamma - \text{угол наклона линии к горизонту.}$$

5.4. Существуют различные способы измерения превышений (геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, гидростатическое и механическое нивелирование). В практике геодезических работ широко применяются геометрическое и тригонометрическое нивелирование.

1) В **геометрическом нивелировании** используется горизонтальный луч визирования, который задается специальным геодезическим прибором – нивелиром. Различают два способа геометрического нивелирования: способ «из середины» и способ «вперед».

В способе «из середины» нивелир устанавливают на одинаковом расстоянии («плечах») $d_1 = d_2$ от точек А и В, превышение h между которыми необходимо измерить. На точках устанавливают вертикально две рейки, по которым снимают отсчеты **a** (по «задней рейке») и **b** (по «передней рейке»).



Превышение между точками вычисляют по формуле:

$$h = a - b,$$

которая называется **основной формулой геометрического нивелирования**. Тогда высоту точки В можно получить по формуле:

$$H_B = H_A + h.$$

В способе «вперед» нивелир устанавливают вблизи задней точки А. Если плечо достаточно для фокусирования, то отсчет **a** берут по рейке, если рейка слишком близко, то значение **a** будет равно высоте линии визирования от точки А («высота прибора»), которая измеряется рулеткой.

Одна точка стояния нивелира называется станцией. Измерение превышений последовательно на нескольких станциях называется сложным нивелированием или **нивелирным ходом**.

A diagram of a beam of length l inclined at an angle γ to the horizontal. A distributed load i acts perpendicular to the beam. A point load I acts vertically downwards at the right end of the beam. The horizontal distance from the left support to the point load is d . The vertical distance from the left support to the point load is H_A . The vertical distance from the point load to the right end of the beam is H_B . The beam is supported by a pin support at the left end and a roller support at the right end. The reaction forces at the supports are R_A and R_B .

где – i - высота прибора от точки А; s - наклонное расстояние между точками; γ - угол наклона линии визирования к горизонту; h - превышение между точками А и В; v - высота визирного луча над точкой В. Тогда:

Если на рейке (вешке), установленной вертикально в точке В, отметить отрезок, равной высоте прибора и наводиться на эту точку ($i = v$), тогда формула тригонометрического нивелирования примет вид:

44

Контрольные вопросы:

- 5.1. По каким признакам классифицируют геодезические измерения.
- 5.2. Как различаются геодезические измерения по точности.
- 5.3. Как выполняются угловые измерения в геодезии.
- 5.4. Как выполняются линейные измерения в геодезии.
- 5.5. Какие способы нивелирования применяются в геодезии.

Тема 6. Геодезическое обеспечение геофизических работ

6.1. Общие положения.

6.2. Основные требования к топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ.

6.3. Методы топографо-геодезического и навигационного обеспечения геологоразведочных работ.

6.1. Основными задачами топографо-геодезического обеспечения геологоразведочных работ являются:

1) своевременное и качественное обеспечение геологоразведочных организаций и их структурных подразделений топографическими картами (планами), аэрокосмическими материалами, топографическими основами специальных (геологических, геофизических, гидрогеологических, инженерно-геологических и др.) карт;

2) подготовка на местности сети точек геологоразведочных наблюдений и соответствующее (геодезическое, маркшейдерское, инженерно-геодезическое и т.п.) сопровождение этих наблюдений в процессе геологоразведочного производства;

3) определение планово-высотного положения устьев скважин, горных выработок, геофизических и других пунктов и точек (в дальнейшем именуемых объектами или пунктами геологоразведочных наблюдений).

В соответствии с указанными задачами выполняются следующие виды работ:

- создание геодезической основы для геологоразведочных работ;
- топографические съемки в масштабах 1:5000 и крупнее;
- разбивочно-привязочные работы;

- маркшейдерские работы;
- создание топографических основ;
- разные сопутствующие работы.

Геодезическая основа геологоразведочных работ создается путем развития геодезических сетей сгущения (ГСС), съемочных сетей, а также опорных геодезических сетей для разбивочно-привязочных работ.

Развитие опорных геодезических сетей для разбивочно-привязочных работ осуществляется в соответствии с требованиями [7].

Работы по развитию ГСС и съемочных сетей для топографических съемок выполняются в установленном порядке и в соответствии с нормативными актами Федеральной службы геодезии и картографии России (Роскартография).

Топографические съемки в масштабах 1:5000 и крупнее выполняются в обоснованных техническим проектом случаях. При этом масштабы топографических съемок должны соответствовать масштабам отчетных специальных карт, а также удовлетворять требованиям действующих инструкций (других нормативных документов) по применению классификации запасов к различным видам полезных ископаемых и по передаче месторождений в эксплуатацию.

Топографические съемки в масштабах 1:5000 и крупнее выполняются в установленном порядке и в соответствии с нормативными актами Роскартографии.

В отдельных случаях, по согласованию с органами Государственного геодезического надзора Роскартографии, топографические съемки в масштабах 1:5000 и крупнее могут выполняться по специальным требованиям, обоснованным в техническом проекте.

В состав разбивочно-привязочных работ входят:

- перенесение на местность проектного положения магистральных и профильных линий, а также объектов геологоразведочных наблюдений;
- проложение на местности магистральных и профильных линий с разбивкой пикетов;
- определение плановых координат и высотных отметок объектов геологоразведочных наблюдений.

Разбивочно-привязочные работы выполняются в соответствии с требованиями [7].

К маркшейдерским работам относятся:

- перенесение на местность проектного положения и планово-высотная привязка канав, траншей, неглубоких шурфов и других мелких горных выработок на земной поверхности, а также обеспечение их проходки по заданному направлению и с проектными параметрами;
- маркшейдерское обеспечение строительства технологических комплексов на шахтной поверхности, сооружения шахтных стволов и монтажа подъемных установок, проходки капитальных горных выработок по заданному направлению и их эксплуатации, а также построение наземных и подземных маркшейдерских опорных и съемочных сетей.

Остальные маркшейдерские работы, приведенные в настоящем пункте, выполняются в установленном порядке с соблюдением требований «Инструкции по производству маркшейдерских работ».

Создание топографических основ специальных карт и планов осуществляется:

- методами специальной топографической съемки;

- составлением с использованием топографических карт и аэрокосмических материалов.

В состав разных сопутствующих работ входят:

- закрепление на местности геодезических точек и объектов геологоразведочных наблюдений;
- нивелирование площадок вокруг гравиметрических пунктов;
- полевое компарирование измерительных средств;
- определение приближенного азимута направления профиля;
- определение в натуре азимута наклонного бурения;
- прорубка визирок и просек;
- изготовление центров и реперов, вех, кольев и т.п.

Топографо-геодезические работы проводятся, как правило, в Государственной системе координат (1995 г.) и в Балтийской системе высот (1977 г.). Прямоугольные координаты геодезических пунктов и объектов геологоразведочных наблюдений вычисляются в шести- или трехградусных зонах проекции Гаусса.

При удалении участка на расстояние более 10 км от пунктов Государственных геодезической и нивелирной сетей допускается применение местной системы координат и высот - единой для всего комплекса геологоразведочных работ на данном участке. Исходные пункты и данные местной системы координат и высот определяются любыми средствами и методами, обеспечивающими заданную точность проектируемых работ, а также переход к Государственной системе координат и высот.

6.2 Основные требования к топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ распространяются на:

- перенесение в натуру проектного положения объектов геологоразведочных наблюдений;

- определение плановых координат и высот объектов геологоразведочных наблюдений;
- определение значений поправок за влияние рельефа на гравиметрических пунктах;
- активное вождение транспортных средств-носителей геолого-геофизической и навигационно-геодезической аппаратуры по заданным маршрутам.

Перенесению в натуру подлежат:

- устья скважин, горные выработки, точки начала, конца и поворота профилей и другие запроектированные точки;
- ориентирные и проектные направления при бурении наклонных скважин;
- пункты гравиметрических и магнитометрических наблюдений;
- центры баз возбуждения и приема сигналов при сейсмических и электроразведочных работах;
- другие точки (пункты), перенесение в натуру которых обосновано в проекте.

Средняя квадратическая погрешность (СКП) перенесения в натуру проектного положения объектов геологоразведочных наблюдений, за исключением объектов геофизических наблюдений, не должна превышать удвоенного значения СКП их привязки. Перенесение в натуру проектного положения геофизических профилей или отдельных пунктов (точек) осуществляется с точностью их плановой привязки.

Требования к точности определения планового и высотного положения объектов геологоразведочных наблюдений приводятся в [7].

6.3 Методы топографо-геодезического и навигационного обеспечения геологоразведочных работ.

1) Создание топографических основ

Топографические основы геологических, геофизических и других карт создаются:

- по имеющимся топографическим картам;
- по материалам аэрофотосъемки;
- материалам специализированных топографических съемок.

Точность и содержание топографических основ масштабов 1:25000 и мельче должны соответствовать требованиям инструкций и наставлений по составлению и подготовке к изданию геологических карт соответствующих масштабов.

Точность и содержание топографических основ геофизических карт всех масштабов, а также геологических и других специальных карт масштабов 1:10000 и крупнее определяются техническим проектом.

При оформлении топографических основ используются условные знаки и образцы шрифтов, принятые для оформления топографических карт (планов) соответствующих масштабов.

2) Перенесение в натуру проектного положения объектов геологоразведочных наблюдений и определение их планово-высотного положения осуществляется с использованием тиражных оттисков топографических карт, как правило, не бывших в употреблении. При этом масштаб топографических карт не должен быть мельче масштаба отчетной специальной карты.

В дополнение к топографическим картам при перенесении в натуру проектного положения объектов геологоразведочных наблюдений и определения их планово-высотного положения должны использоваться материалы аэрофотосъемки последних лет. Масштаб используемых для указанных целей материалов аэрофотосъемки не должен быть мельче масштаба топографической карты более чем в 1,5 раза.

При отсутствии обновленных топографических карт, а также в малоконтурных районах, если это целесообразно с технико-экономической точки зрения, может выполняться специальная аэрофотосъемка.

В состав работ по перенесению в натуру проектного положения объектов геологоразведочных наблюдений по топографическим картам входят:

- измерения на карте величин углов (азимутов) и длин линий, которые необходимо отложить на местности от исходного пункта (ориентира или четкого контура) до проектной точки, если она не совмещена с исходным пунктом (ориентиром или четким контуром);
- отыскание (опознавание) на местности исходного пункта (ориентира или четкого контура);
- определение местоположения проектной точки (если она не совмещена с ориентиром или четким контуром) по данным величин углов (азимутов) и длин линий, измеренным на карте;
- закрепление проектной точки на местности;
- занесение данных о местоположении проектной точки в соответствующий список (ведомость).

При использовании в процессе перенесения в натуру проектного положения объектов геологоразведочных наблюдений материалов аэрофотосъемки в состав работ дополнительно включается перенесение проектных точек с карты на эти материалы.

3) При определении планового и высотного положения объектов геологоразведочных наблюдений могут использоваться:

- спутниковые методы;
- триангуляционные построения;
- линейно-угловые засечки;
- теодолитные ходы;

- одиночные магистральные и профильные линии (ходы), а также системы магистральных и профильных линий (ходов);
- тригонометрическое (геодезическое) и геометрическое нивелирование.

4) Определение координат с помощью глобальных навигационных спутниковых систем.

Наиболее прогрессивной и перспективной в настоящее время, безусловно, является технология спутникового геодезического и навигационного обеспечения геологоразведочных работ. Кроме того, в ряде случаев, особенно при геофизических исследованиях, необходимо создание и применение единых технологических комплексов, включающих синхронные измерения параметров геофизических полей, а также определение координат и высот.

Точное позиционирование ГНСС методами обеспечивает экономическую эффективность при геологоразведочных работах. Широкие диапазоны точности определения координат от 15 метров до первых сантиметров в плане и по высоте позволяют применять все режимы съемки ГНСС (подробнее см. тему 8).

Основные положения и методы топографо-геодезического и навигационного обеспечения геологоразведочных работ регламентированы «Инструкцией по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ» (Новосибирск, СНИИГГиМС, 1997), которая обязательна для всех предприятий, организаций и учреждений, выполняющих геологоразведочные работы, независимо от их организационно-правовых форм и ведомственной принадлежности.

В плане развития этой инструкции по заказу Министерства природных ресурсов РФ разработаны и изданы методические рекомендации: «Геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ с использованием глобальных спутниковых систем» (Новосибирск, СНИИГГиМС, 2000), «Геодезическое обеспечение сейсморазведочных

работ» (Новосибирск, СНИИГГиМС, 2000), «Оценка достоверности определения координат пунктов геолого-геофизических наблюдений» (Новосибирск, СНИИГГиМС, 2001), «Спутниковое обеспечение сейсморазведочных работ» (Новосибирск, СНИИГГиМС, 2001). Эти рекомендации предназначены для широкого круга геодезистов, геофизиков и геологов, осуществляющих геодезическое и навигационное обеспечение геолого-геофизических исследований.

Контрольные вопросы:

- 6.1. Каковы основные задачи топографо-геодезического обеспечения геологоразведочных работ.
- 6.2. Какие виды геодезических работ выполняются в рамках топографо-геодезического обеспечения геологоразведочных работ.
- 6.3. Каковы основные требования к топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ.
- 6.4. Перечислите основные нормативные акты и методические документы по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ.
- 6.5. Перечислите и охарактеризуйте методы топографо-геодезического и навигационного обеспечения геологоразведочных работ.

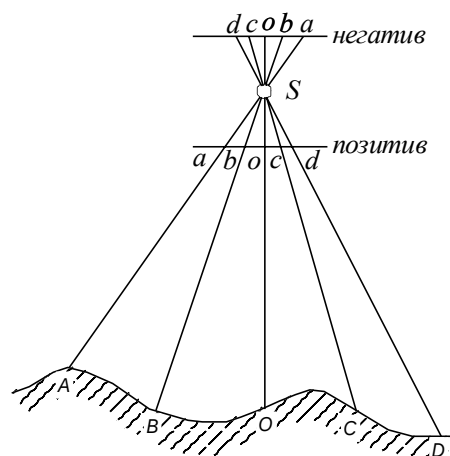
Тема 7. Основы космоаэро съемки.

7.1 Аэрофотосъемка.

7.2 Космосъемка.

7.3 Лазерное сканирование.

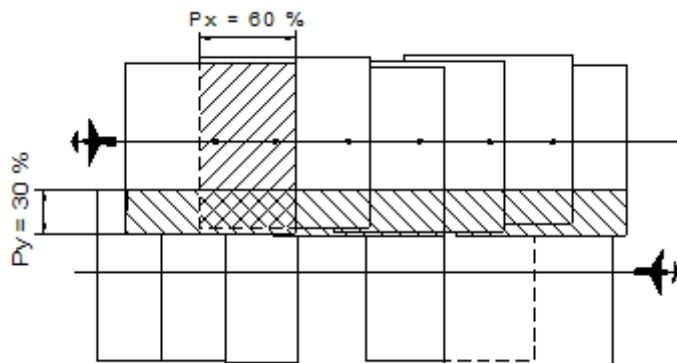
7.1 Аэрофотосъемка – фотографирование местности с самолета для составления карт и планов на основе измерений снимков. Выполняется с помощью специальных аналоговых или цифровых фотокамер. При выполнении аэрофотосъемки для картографических целей стремятся придать снимкам горизонтальное положение, т.е. направить оптическую ось отвесно – центральная проекция. Случайные колебания самолета обычно не вызывают углов наклона аэроснимков более $2-3^\circ$. Такая аэросъемка называется плановой. Для специальных целей применяют перспективную аэрофотосъемку, когда оптическую ось камеры отклоняют от вертикали на заданный угол.



Центральная проекция аэроснимка

Аэрофотосъемка участка местности производится по маршрутам, прокладываемым с запада на восток и обратно параллельно друг другу. Фотографирование местности осуществляется через определенные интервалы времени с таким расчетом, чтобы аэрофотоснимки перекрывали друг друга. Тогда на каждом следующем аэрофотоснимке частично изображается площадь, полученная на предыдущем. Перекрытие двух смежных снимков в одном маршруте называется *продольным перекрытием аэроснимков* P_x , его значение по условиям дальнейшей обработки снимков должно быть не менее 60% от размера снимка. Расстояние между маршрутами устанавливается таким образом, чтобы между снимками соседних маршрутов тоже получилось перекрытие,

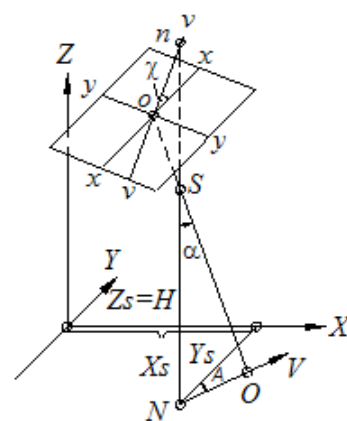
называемое *поперечным перекрытием снимков* P_y , оно должно быть не менее 30%. В последнее время на практике продольное перекрытие увеличивается до 80–90%, а поперечное до 60% для достижения более эффективного использования центральных частей аэроснимков.



При аэрофотосъемке очень важное значение имеет определение **элементов внешнего ориентирования**, т.е. величин, определяющих положение аэроснимка относительно системы координат местности. Таких элементов шесть – три угловых и три линейных:

- 1) координаты центра проектирования X_S , Y_S , H_S в геодезической системе координат;
- 2) два угла, определяющие направление So (главного направления) – азимута направления A и угол наклона аэроснимка α ;
- 3) угол поворота аэроснимка в своей плоскости χ .

Элементы внешнего ориентирования могут быть определены по опорным геодезическим или фотограмметрическим точкам путем решения обратной фотограмметрической засечки. Эти элементы также можно найти по данным, зафиксированным в полете: координаты центра проектирования – по измерениям радиогеодезических систем и показаниям радиовысотомера; угловые элементы ориентирования – с помощью гиравертикали и по фотоснимкам линии горизонта или



звездного неба. Только при строго отвесной аэрофотосъемке ($\alpha = 0$) и горизонтальной местности центральная проекция будет тождественна ортогональной, т.е. аэроснимок будет планом местности. В этом случае масштаб (M) изображения местности на аэроснимке будет постоянен для всех частей аэроснимка и определяется по формуле $l / M = f_k / H$, где H – высота залета.

Так как аэрофотосъемка местности производится с большой высоты, изображение практически получается в задней фокальной плоскости объектива, где и расположена прикладная рамка. Последняя имеет четыре координатных метки, фиксирующие на аэроснимке начало системы координат. Координатные метки юстируют таким образом, чтобы начало координат совпадало с главной точкой аэроснимка o – основанием перпендикуляра, опущенного с задней узловой точки объектива на плоскость прикладной рамки (аэроснимка). Длина этого перпендикуляра называется **фокусным расстоянием** камеры и обозначается f_k .

Координаты главной точки снимка x_0 и y_0 и фокусное расстояние камеры f_k , определяющее положение задней узловой точки объектива как центра проектирования относительно аэроснимка, называется **элементами внутреннего ориентирования**.

Стереотопографический метод является базовым в классической аэрофототопографии, где по аэроснимкам создается как рельефная (высотная), так и контурная (плановая) части карты. Масштаб создаваемой топографической карты (плана) и морфология объекта съемки являются главными обстоятельствами, оказывающими наиболее существенное влияние как собственно на выбор аэрофотоаппарата (в частности, величины фокусного расстояния), так и режима съемки (высота, скорость, величина перекрытий).

Топографо-геодезические работы связаны с планово-высотной привязкой аэроснимков – определении координат и высот опознаков. Опознак – это контурная точка, выбранная на местности и опознанная на аэрофотоснимке.

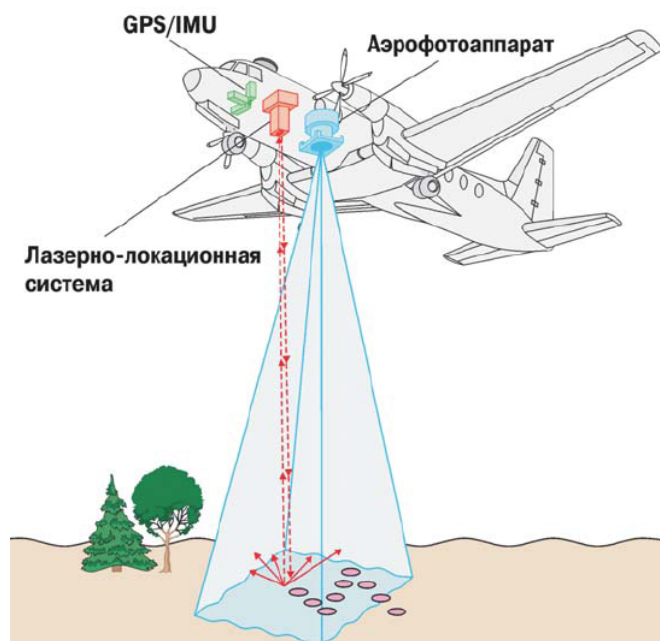
Подготовительные и фотограмметрические работы:

1. Сканирование снимков (в случае использования не цифровых камер).
2. Создание проекта и импорт цифровых снимков.
3. Внутреннее ориентирование снимков – позволяет выполнить расчет «положения рамок» снимков в проекте с учетом значений координат центров фотографирования.
4. Взаимное ориентирование снимков – фотограмметрическое сгущение опорной сети (фоториангуляция), заключающееся в расстановке общих точек в областях перекрытия снимков для объединения и трансформирования снимков.
5. Стереорисовка – построение рельефа, в виде регулярной сетки, по стереоизображениям для учета искажения изображений на снимках из-за рельефа и отображения рельефа на готовых картах (планах).
6. Внешнее ориентирование снимков – уравнивание опорной сети фототриангуляции и трансформирование снимков в геодезической системе координат.
7. Создание ортофотопланов – нарезка на планшеты по сшитым снимкам, где изображение выполнено в ортогональной проекции.

В последние годы классические методы получили ряд новшеств:

- 1) Обязательным стало использование систем спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС как для определения пространственных координат точки фотографирования каждого аэрофотоснимка, так и для контроля пилотажно-навигационных параметров и управления аэрофотосъемочным процессом в целом.

2) Активно стали применяться так называемые интегральные навигационные комплексы типа GPS/IMU, которые позволяют с достаточной точностью определять значения шести параметров внешнего ориентирования каждого аэрофотоснимка, как линейных, так и угловых. В некоторых случаях это позволяет полностью отказаться от работ по абсолютному пространственному ориентирова-



Современный аэросъемочный комплекс

нию аэрофотоснимков, которое, как известно, выполняется с целью их последующего ортотрансформирования и геодезической привязки. В большинстве случаев наличие GPS/IMU данных позволяет существенно упростить и ускорить процедуру создания фототриангуляционной сети.

3) Чрезвычайно важным обстоятельством является возможность выполнять одновременно аэрофотографическую и лазерно-локационную съемки.

4) Практически все основные компоненты современной аэрофототопографии являются цифровыми, т.е. использование цифровых изображений, получаемых путем сканирования фотоснимков или непосредственно с помощью цифровых метрических камер.

7.2 Космосъемка.

В настоящее время существуют следующие основные способы дистанционного получения информации о земной поверхности: 1) с помощью оптических и 2) радиолокационных систем. Оптические системы (цифровые камеры) используют отраженный солнечный свет и поэтому

считаются пассивными системами. Радиолокационные или радарные (RADio Detecting And Ranging) системы используют собственный источник излучения и называются активными системами. При этом выявление объектов происходит путем получения отраженных электромагнитных волн, переданных на эти объекты. Расстояние до объектов определяется по времени прохождения волной дистанции до объекта и обратно. Радиолокационные системы позволяют получать изображения различных объектов в облачную погоду и ночью, что дает возможность, например, осуществлять постоянный мониторинг ледовой обстановки во время полярной ночи.

Космические снимки нашли широкое применение в современной картографии. В настоящее время они сильно потеснили аэрофотосъемку из основных источников для составления и обновления карт. Космическая съемка Земли имеет ряд неоспоримых преимуществ перед традиционными методами картографирования, а именно:

- обзорность, которая обеспечивает экономически эффективное картографирование обширных территорий;
- комплексное отображение всех компонентов ландшафта, способствующее правильной передаче пространственных взаимосвязей картографируемых объектов;
- возможность съемки одной и той же территории с различным разрешением, а, следовательно, и с различной генерализацией, позволяющая упростить схему создания и обновления карт разных масштабов и многие другие.

Технология создания ортофотопланов включает следующие этапы:

- предварительную обработку цифровых космических снимков;
- создание проекта;
- создание проекта планово-высотной подготовки (ПВП);
- создание цифровой модели рельефа (ЦМР);

- внешнее ориентирование снимков;
- создание ортофотопланов.

Разрешение космоснимков достигает 2 метра, позволяющее создавать цифровые ортофотопланы масштаба 1:10 000.

7.3 Лазерное сканирование – новая технология выполнения топографических съемок. Принципы работы лазерного сканера заимствованы у космических радиолокационных систем.

Лазерное сканирование позволяет создавать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами.

Основное отличие от традиционных электронных тахеометров – гораздо большая скорость измерений, сервопривод, автоматически поворачивающий измерительную головку в обеих (горизонтальной и вертикальной) плоскостях и самое главное – скорость (5000 измерений в секунду – в среднем два-три полных рабочих дня измерений обычным тахеометром) и плотность (до десятков точек на 1 кв. см. поверхности).

Полученная после измерений модель объекта представляет собой гигантский набор точек (от сотен тысяч до нескольких миллионов), имеющих координаты с точностью в несколько миллиметров.

Обработка данных лазерного сканирования:

- Сшивка сканов (скан - результат съёмки лазерного сканера с одной точки).
- Трансформирование координат (процесс переориентирования скана из системы координат сканера в заданную систему координат).
- Создание поверхностей - представление “облаков” точек математически описываемыми поверхностями.

Применяется для: съемки промышленных объектов (заводы, сложное производство); мостов; съемка и профилирования тоннелей, для

промышленных измерений (определение объемов резервуаров), в горной промышленности, реставрации и строительстве и др.

Контрольные вопросы:

- 7.1. Дайте определение понятиям аэрофотосъемка, космосъемка.
- 7.2. Какие основные элементы внешнего и внутреннего ориентирования применяются на аэрофотоснимках.
- 7.3. Перечислите основные этапы создания карт по данным аэрофотосъемки.
- 7.4. Какие изменения коснулись классических методов аэрофотосъемки в настоящее время.
- 7.5. Назовите преимущества использования космосъемки перед аэрофотосъемкой.

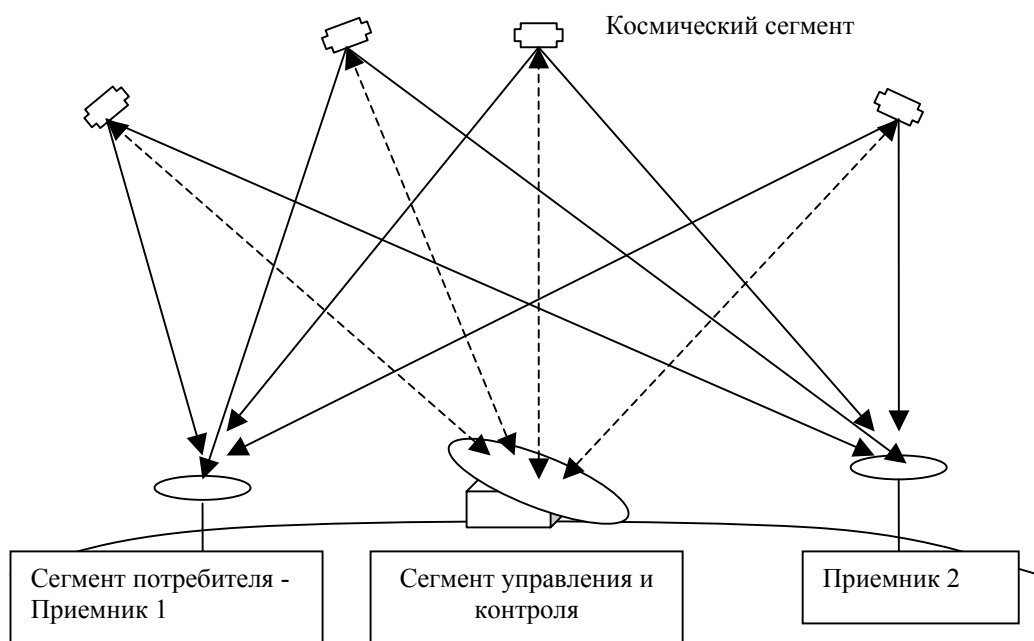
Тема 8. Применение глобальных навигационных спутниковых систем в геодезии.

- 8.1. Глобальные навигационные спутниковые системы.
- 8.2. Методы определения координат.
- 8.3. Источники ошибок.
- 8.4. Спутниковая аппаратура.
- 8.5. Режимы выполнения съемки.

8.1. Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) представляют собой упорядоченную на орбитах совокупность искусственных спутников Земли (ИСЗ), осуществляющих согласованные действия по сбору, обработке, хранению и передаче информации. В настоящее время созданы и успешно эксплуатируются две спутниковые радионавигационные системы: NAVSTAR GPS (США) и ГЛОНАСС (СССР - Россия). Предположительно в 2013 г., по оптимистичным прогнозам, будет введена в эксплуатацию европейская система GALILEO.

Определение координат пользователя производится с помощью специальных спутниковых приемников, измеряющих либо время прохождения сигнала от нескольких спутников до приемника (по **кодовым псевдодальностям**), либо **фазу сигнала на несущей частоте**. В первом случае расстояния измеряются с метровым уровнем точности, во втором случае – с миллиметровым уровнем точности. При этом реализован односторонний метод измерения расстояний, поскольку ГНСС являются беззапросными спутниковыми системами, допускающими одновременное использование их многими пользователями.

ГНСС включают в себя три основные составные части, получившие название сегментов: космический сегмент, сегмент управления и контроля, и сегмент потребителя.



Космический сегмент представляет собой совокупность («созвездие») искусственных спутников Земли.

Характеристика	ГЛОНАСС	GPS	GALILEO
Количество спутников в полностью развернутой орбитальной группировке	24	24	27
Количество орбитальных плоскостей	3	6	3
Высота орбит над поверхностью Земли, км	19100	20180	23600
Наклонение орбит, град.	64,8	55	56
Период обращения, ч-мин	11-15	11-58	-
Диапазон рабочих частот: L1 (МГц) L2 (МГц)	(1602,5626 1615,5)+0,5 1246,4375...1256,5	1575,42±1 1227,6	1559-1592 1164-1215 1260-1300
Способ разделения сигналов спутников	Частотный	Кодовый	Кодовый
Скорость передачи информационных данных, бит/с	50	50	-
Координатная система	ПЗ-90	WGS-84	GTRF

Установленная на спутниках аппаратура, выполняющая роль передающей части одностороннего радиодальномерного комплекса, осуществляет передачу на Землю как радиосигналов, на основе которых измеряется расстояние между спутником и наземным пунктом наблюдения, так и навигационного сообщения, в котором содержится информация об эфемеридах спутников, о поправках к показаниям его часов, о так называемом альманахе, несущем в себе усеченную информацию обо всех входящих в «созвездие» спутниках, а также некоторую другую служебную информацию.

Сегмент управления и контроля включает командную станцию управления и несколько разнесенных на большие расстояния станций слежения, некоторые из них выполняют функцию загружающих станций.

Основная задача этого сегмента состоит в осуществлении контроля за работоспособностью системы, систематическом уточнении эфемерид каждого спутника и параметров принятой модели атмосферы, корректировке показаний часов, установленных на каждом ИСЗ, периодическом обновлении содержания навигационного сообщения и организации передачи такого сообщения с помощью загружающих станций на каждый из обслуживаемых спутников. Для уточнения эфемерид используются результаты измерений на пунктах международных глобальных высокоточных сетей, например, таких как CIGNET и IGS.

Сегмент потребителя объединяет в себе всю совокупность имеющейся аппаратуры пользователей, с помощью которой осуществляется прием радиосигналов от спутников и вычисление на их основе интересующих потребителя координат или их приращений, точное время характерное для той или иной эпохи, а при установке приемной аппаратуры на движущемся объекте – скорость перемещения и направление движения объекта. Упомянутая аппаратура позволяет, также, определить и целый ряд других вспомогательных параметров.

Преимущества и недостатки использования ГНСС в геодезии.

Преимущества:

1. Широкий диапазон точностей – от единиц метров до субсантиметров практически на любых расстояниях.
2. При построении геодезических сетей отпадает необходимость в прямой видимости между пунктами. Поэтому не нужно строить высокие знаки-сигналы, выбирая места на возвышенностях. Строительство знаков занимало в геодезии до 80% от стоимости работ. Новые пункты закладываются в местах, удобных для подъезда.
3. Повышение производительности спутниковых технологий, по сравнению с обычными технологиями, в 10-15 раз.
4. Выполнение кинематических измерений, то есть измерений в движении. Особенно ценно применение таких методов в морской геодезии, аэрофотосъемке. При этом отпадает необходимость создавать наземное обоснование, производить привязку опознаков.
5. Обеспечение непрерывных наблюдений, например, для мониторинга деформаций в режиме реального времени.
6. Одновременно могут определяться три координаты. Деление классических геодезических сетей на плановые и высотные привело к тому, что на пунктах триангуляции оказываются грубые высотные отметки, а на реперах отсутствуют плановые координаты.
7. Благодаря высокому уровню автоматизации, обеспечиваются быстрота обработки, уменьшение субъективных ошибок.
8. Почти полная независимость от погоды и времени суток.

Принципиальное различие между классическими и спутниковыми методами геодезии состоит в том, что в классической геодезии измерения производятся относительно отвесной линии (или поверхности геоида), то

есть в основе измерений лежит физический принцип измерений. В результате геодезические сети, построенные классическими методами, делятся на плановые и высотные сети.

В основе спутниковых методов лежит геометрический принцип измерений, когда измеряются расстояния являющиеся инвариантными величинами относительно систем координат и не дающие связь с геоидом. Поэтому одна из принципиально важных проблем, связанных со спутниковыми методами, – это преобразования полученных координат в государственную систему координат и высот.

По этой причине нельзя говорить о том, что спутниковые методы универсальны.

Отметим следующие недостатки методов ГНСС:

1. Проблема преобразования высот и координат в локальную геодезическую систему, а высот – дополнительно в систему нормальных (или ортометрических высот).
2. Зависимость от препятствий и радиопомех. Спутниковые методы невозможно применять под землей.
3. Точность определения высот в 2-5 раз уступает точности определения плановых координат.
4. Высокая стоимость оборудования, сложное программное обеспечение.

8.2. К основным методам определения координат по наблюдениям спутников навигационных систем относятся абсолютный, дифференциальный и относительный. В абсолютном методе координаты получают одним приемником в системе координат, носителями которой являются станции подсистемы контроля и управления и, следовательно, сами спутники навигационной системы. При этом реализуется метод

засечек положения приемника от известных положений космических аппаратов (КА).

В **дифференциальном и относительном методах** наблюдения производят не менее двух приемников, один из которых располагается на опорном пункте с известными координатами, а второй совмещен с определяемым объектом.

В дифференциальном методе по результатам наблюдений на опорном пункте отыскиваются поправки к соответствующим параметрам наблюдений для неизвестного пункта или к его координатам, то есть наблюдения обрабатываются отдельно. Этот метод обеспечивает мгновенные решения, обычно называемые решениями в реальном времени. В них достигается более высокая точность, чем в абсолютном методе, но только по отношению к опорной станции.

В относительном методе наблюдения, сделанные одновременно на опорном и определяемом пункте, обрабатываются совместно. Это основное различие между относительным и дифференциальным методом, которое приводит к повышению точности решений в относительном методе, но исключает мгновенные решения. В относительном методе определяется вектор, соединяющий опорный пункт и определяемый пункт, называемый **базовой линией**.

Наблюдения **в реальном времени** (абсолютные, дифференциальные или относительные) предполагают, что полученное положение будет доступно непосредственно на месте позиционирования, пока наблюдатель находится на станции. При **пост-обработке** результаты получают после ухода с пункта наблюдений.

В каждом из трех указанных методов определений координат возможны измерения как по кодовым псевдодальностям (по фазе кода), так и по фазе несущей. Точность кодовых дальностей имеет метровый уровень, в то время как точность фазовых измерений лежит в

миллиметровом диапазоне. Точность кодовых дальностей, однако, можно улучшить, если использовать метод узкого коррелята или сглаживание по фазе несущей, достигая при этом дециметровый и даже более высокий уровень точности. Отличие от фаз несущих колебаний, кодовые дальности фактически не содержат неоднозначностей. Это делает их невосприимчивыми к потерям счета циклов (то есть изменениям неоднозначностей фазы) и, в некоторой степени, к препятствиям на пункте. Для фазовых же измерений критическим моментом является разрешение неоднозначностей.

Точность абсолютного метода позиционирования по кодовым ГНСС измерениям порядка 1-15 м. Такой метод идеально подходит для навигации любых перемещающихся объектов, от пешеходов до ракет. Возможности абсолютного метода по измерениям фазы ограничиваются точностью эфемерид и параметров часов спутников. Использовать бортовые данные со спутников при их метровом уровне точности нецелесообразно, а точные апостериорные эфемериды появляются с большой задержкой. Поэтому абсолютное позиционирование по фазе несущей пока применяется редко.

Точность дифференциального и относительного метода значительно выше, чем в соответствующих вариантах абсолютного метода, и может достигать сантиметрового и даже более высокого уровня. Однако следует обратить на два момента. Во-первых, поскольку в этих методах координаты неизвестных пунктов находятся относительно опорного пункта, то погрешности координат этого пункта полностью войдут в координаты определяемых точек, то есть вся развиваемая сеть оказывается смещенной. Во-вторых, поскольку координаты определяемых пунктов используются для вычисления компонент базовых линий, то это также будет сказываться на точности определения приращений координат между опорным и определяемым пунктом.

8.3. Основные источники ошибок можно разбить на три группы:

1. Ошибки, связанные с неточностью исходных данных, среди которых доминирующую роль играют погрешности эфемерид спутников, вследствие чего значения эфемерид должны быть известны на момент измерений с максимально возможной точностью;
2. Ошибки, обусловленные влиянием внешней среды, в частности воздействием атмосферы (ионосферы и тропосферы), а также отражением радиосигналов от окружающих станцию объектов так называемая многопутность сигнала;
3. Инструментальные источники ошибок, к которым, как правило, относятся неточность знания положения фазового центра антенны приемника, неучтенные временные задержки при прохождении информационных сигналов через аппаратуру, а также погрешности, связанные с работой регистрирующих устройств GNSS приемников.

Наряду с перечисленными выше группами ошибок приходится учитывать и отдельные факторы, обуславливающие появление ошибок, которые не удастся отнести ни к одной из перечисленных выше групп. В частности, к таким ошибкам могут быть отнесены погрешности, возникающие вследствие неоптимального взаимного расположения наблюдаемых спутников (геометрический фактор). Кроме того, целый ряд ошибок может возникать в процессе перехода от одной координатной системы к другой.

8.4. Аппаратура.

Каждый приемник, работающий по сигналам ГНСС, после его включения принимает сигналы навигационных спутников, обрабатывает их, производит необходимые измерения, расшифровывает навигационное сообщение и преобразует полученную информацию в значения координат,

скорости движения и времени. Для вычисления пространственных координат достаточно четырех спутников.

Приемник разделен на пять главных устройств: 1) антенна и связанная с ней электроника; 2) радиочастотный блок с контурами слежения; 3) навигационный микропроцессор; 4) блок питания; 5) блок команд и контрольного дисплея.

Типы приемников по их назначению:

- ручные приемники общего назначения (навигаторы);
- авиационные;
- морские;
- автомобильные;
- космические;
- для картографии и ГИС;
- для установки на другом оборудовании (чип);
- геодезические.

8.5. Режимы выполнения съемки

В дифференциальном или относительном методах возможны наблюдения в режимах **статики** и **кинематики**. При статических наблюдениях оба приемника находятся в стационарном положении относительно Земли, а при кинематическом позиционировании один из приемников является стационарным, а другой – движущимся. Оба приемника наблюдают одни и те же спутники. Потеря захвата сигнала спутника для статического позиционирования не является настолько важной, как при кинематической позиционировании. Статическое позиционирование позволяет накапливать данные, добиваясь повышения точности.

Для статического и кинематического позиционирования применяется как одночастотная, так и двухчастотная спутниковая аппаратура. При использовании первой имеются ограничения по расстояниям между

приемниками из-за ошибок, связанных с распространением сигнала через атмосферу, имеющую неоднородное состояние на больших расстояниях. Двухчастотные наблюдения исключают большую часть ошибок и позволяют проводить наблюдения на самых больших расстояниях, вплоть до нескольких тысяч километров. Относительное позиционирование по фазовым измерениям является наиболее точным методом определения положений и часто используется геодезистами.

Статические наблюдения можно разделить на три режима: **статика, быстрая статика и реокупация**. Наиболее точным, но самым продолжительным является режим статики (от 1 часа), расстояния между приемниками могут достигать 5000 – 7000 км при двухчастотных измерениях. Быстрая статика в 2-4 раза быстрее статики, но ограничена по расстояниям до 20 км. Режим реокупации подразумевает короткие сеансы наблюдений на точках, но с последующим посещением этих точек еще раз. Данный метод применяется в случае слабого геометрического фактора, недостаточного количества спутников или для усиления одночастотных наблюдений.

Кинематические съемки начинаются с выполнения инициализации. Целью которой является разрешение целочисленных неоднозначностей фазовых отсчетов на момент движения подвижной антенны. Инициализация может выполняться «на земле» путем измерений пункта с известными координатами или «на лету», где разрешение фазовой неоднозначности происходит во время движения. После инициализации один приемник перемещается на неизвестную станцию, таким образом, чтобы не было потери захваченных спутников. По прибытию на новую станцию необходимо только 1 – наблюдения, чтобы определить новую неизвестную точку. Можно вообще не останавливаться на точках, а производить фиксирование фазы в predetermined моменты. Первый режим получил название **«стой-иди»** (Stop-and-Go), а второй

«непрерывная кинематика» (Continuous Kinematic). Каждый из них может выполняться с пост-обработкой или в реальном времени (Real Time Kinematic). Кинематика в реальном времени, кроме съемки позволяет выполнять вынос в натуру.

Измерения	Методика	Период	Удаление	Точность
По фазам кодов дифференциальный	В реальном времени Динамика Статика	1 сек 1 сек - 3 мин	<500 км <500 км	<1м+2мм/км/2-5м 50см - 80см/1-3м
	В постобработке Динамика Статика Режим-высокая точность	1 сек 1сек-3мин 10-15 мин	<500 км <500 км <100 км	<1м+2мм/км/2-5м 50 см - 80 см/1-3м 10-30 см / < 1м
По фазам несущим относительный	Статика L1 L1/L2	45-60+ мин 30-60+ мин	< 25 км < 1000 км	5 мм + 1 мм/км 5 мм + 1 мм/км
	Быстрая Статика L1 L1/L2	15-30 мин 5-20 мин	< 10 км < 20 км	5 мм + 1(2) мм/км 5 мм + 1(2) мм/км
	Псевдостатика	2 x 10 мин	< 20 км	20 мм + 2 мм/км
	Кинематика Непрерывная Stop&Go RTK	0.5-5 сек 1-15 сек 1-5 сек	< 50 км < 50 км < 20 км	план 10 мм + 2 мм/км высота 20 мм + 2 мм/км

Контрольные вопросы:

- 8.1. Какие сегменты составляют ГНСС.
- 8.2. Преимущества и недостатки использования ГНСС в геодезии.
- 8.3. Какие методы определения координат используются в ГНСС.
- 8.4. Каковы основные источники ошибок в спутниковых методах.
- 8.5. Перечислите режимы съемок и их точность.

Список литературы

1. Божок А.П., Дрич К.И., Евтифеев С.А. и др. под ред. А.С. Харченко и А.П. Божок. Топография с основами геодезии. – М.: Высшая школа, 1986. – 304 с.: ил.
2. Ключин Е.Б., Кисилев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Академия, 2004. – 480 с.
3. Медведев Е.М. О будущем цифровой аэрофототопографии в России, Геопрофи (2006) 1: 10-12.
4. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия. – М.: Академический проект, 2007. – 592 с.
5. Прихода А.Г. Геодезическое обеспечение геологоразведочных работ, «Геопрофи» (2003) 2: с. 3-5.
6. Столов Б.Л. Обеспечение и оценка качества геофизических работ. Методические указания, – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 47с.
7. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск, СНИИГГиМС, 1997.
8. Справочник современного изыскателя. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 590 с.

Содержание контрольного задания: определить номенклатуру трапеций топографических карт масштабов 1:1000000, 1:500000, 1:300000, 1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, в которые попадает точка с указанными в соответствующем варианте координатами.

Результаты выполнения задания оформляются письменно с условным графическим изображением трапеций, указанием их масштаба, номенклатуры и подписей координат рамок трапеций.

Варианты контрольных заданий

Номера вариантов	Исходные данные	
	Северная широта	Восточная долгота
1	55°38'	48°53'
2	55°39'	48°57'
3	55°36'	48°54'
4	55°37'	48°56'
5	55°38'	48°46'
6	55°39'	48°49'
7	55°36'	48°48'
8	55°37'	48°52'
9	55°33'	48°46'
10	55°34'	48°50'
11	55°31'	48°47'
12	55°32'	48°51'
13	53°43'	51°23'
14	53°44'	51°27'
15	53°41'	51°25'
16	53°42'	51°28'
17	53°43'	51°16'
18	53°44'	51°19'
19	53°41'	51°18'
20	53°42'	51°22'

Примечание: Номер варианта контрольного задания соответствует порядковому номеру обучающегося в общем списке группы.