

## Лекция № 4

### Рельеф и его изображение на планах и картах

В зависимости от характера рельефа местность делят на: горную, холмистую и равнинную. Все это разнообразие рельефа местности можно свести к следующим типовым его формам в соответствии с рисунком 1.

*Гора* - куполообразная или коническая возвышенность земной поверхности. В ней выделяют вершину, представляющую собой самую высокую часть; скаты или склоны, которые расходятся от вершины во все стороны; основание возвышенности, называемое подошвой. Небольшая гора называется холмом или сопкой, а искусственный холм – курганов.

*Котловина* – чашеобразное замкнутое со всех сторон углубление, в ней различают: дно – самую низкую часть; щеки – боковые покатости и окраину – то место, где котловина переходит в окружающую равнину.

*Хребет* – возвышенность вытянутая в одном направлении и образованная двумя противоположными скатами. Линия встречи скатов называется осью хребта, водоразделом или водораздельной линией. Наиболее низкие места водоразделов называются перевалами.

*Лощина* - вытянутое в одном направлении желобообразное углубление с наклоном в одну сторону. Склоны лощины пересекаются по линии, называемой осью лощины или водосливной линией. Широкая лощина с пологим дном называется долиной, а узкая с крутыми склонами – балкой; в горной местности узкая лощина называется ущельем.

*Седловина* – понижение между двумя соседними горными вершинами или возвышенностями.

Для изображения рельефа местности пользуются различными способами: перспективным изображением, штриховкой, отмывкой, горизонталями.

На крупномасштабных планах и картах рельеф изображается горизонталями.

Горизонталью называется замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одну и ту же высоту над поверхностью, принятой за начальную. Горизонталь – линия одинаковых высот – изогипса.

Понятие о горизонтали можно получить, если представить, что участок земной поверхности сечется рядом горизонтальных плоскостей, расположенных по вертикали на одинаковом расстоянии друг от друга. Спроектировав образованные в сечениях линии на горизонтальную плоскость, получим ряд замкнутых кривых – горизонталей в соответствии с рисунком 2.

Для большей наглядности направление понижения скатов показывается черточками, называемыми *бергштрихами*. Для указания высот горизонталей их отметки подписывают в разрывах горизонталей, располагая верх цифр по направлению верха ската.



Рисунок 1- Формы рельефа местности

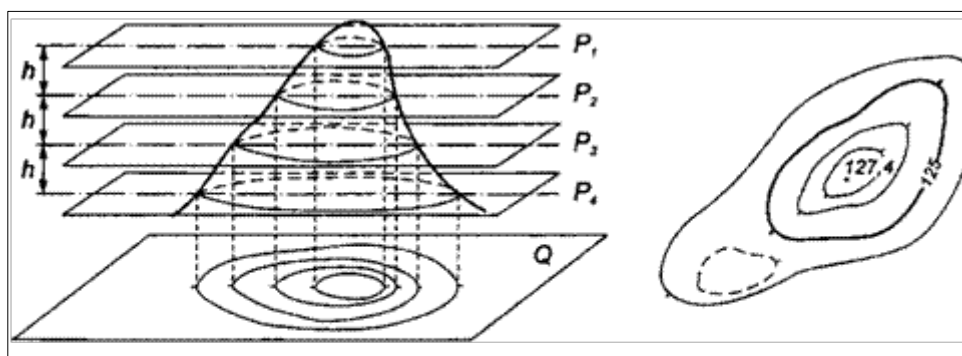


Рисунок 2- Сущность способа горизонталей

Для большей выразительности рельефа, как правило, пятая, а иногда десятая горизонталь утолщаются.

Полугоризонталь (дополнительная горизонталь) — это линия, соединяющая точки, имеющие высоту над уровнем моря, отличающуюся на половину сечения рельефа от высоты ближайшей к ней основной горизонтали.

Свойства горизонталей и особенности их проведения:

- 1) Горизонталь - линия равных высот т.е. все ее точки имеют одинаковую высоту;
- 2) Горизонталь должна быть непрерывной плавной линией;
- 3) Горизонтالي не могут раздваиваться и пересекаться;
- 4) Расстояние между горизонталями (заложение) характеризуют крутизну ската. Чем меньше расстояние, тем круче скат;
- 5) Водораздельные и водосборные линии горизонтали пересекают под прямым углом;
- 6) В случаях, когда заложение превышает 25мм, проводят дополнительные горизонтали (полугоризонтالي) в виде штриховой линии (длина штриха 5-6 мм, расстояние между штрихами 1-2 мм).

*Построение горизонталей по отметкам точек.* В процессе топографической съемки на планшете получают плановое положение характерных точек рельефа местности с их отметками. На основании отметок этих точек изображается рельеф местности в горизонталях. Для этого, руководствуясь масштабами составляемого плана или карты и характером снимаемой местности, в соответствии с требованиями инструкции выбирают высоту сечения рельефа. Точки, лежащие на одном скате, соединяют прямыми линиями. Затем на каждой линии находят точки, отметки которых кратны высоте сечения рельефа; это действие называется *интерполированием горизонталей*.

Интерполирование горизонталей может выполняться «на глаз» либо графически.

Интерполирование на «глаз» (визуально). Предположим, что на плане имеются три соседние точки с подписанными высотами 201.35, 203.30, 200.75. Необходимо провести горизонтали с высотой сечения рельефа 1.0 м, т.е. найти визуально плановое положение линий с высотами 201, 202 и 203 м.

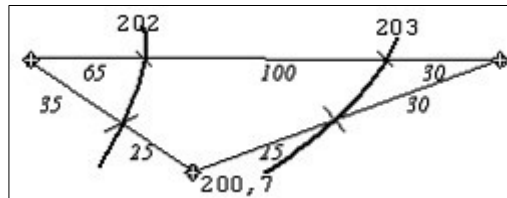


Рисунок 3- Интерполирование и проведение горизонталей "на глаз"

Аналитический метод предусматривает определять расстояние до горизонталей из прямо пропорциональной зависимости между превышением и горизонтальным проложением между точками с подписанными на плане высотами. Из рисунка 4 видно, что расстояния от точки А до горизонталей с высотами 202 и 203 при этом  $d_1 = h_1$ ,  $d_{AB}/h_{AB}$ ,  $d_2 = h_2 d_{AB}/h_{AB}$ ,

где  $h_1$  и  $h_2$  - превышения между горизонталями с отметками 202 и 203 и точкой А с отметкой 201.35 (0.65 и 1.65 м);

$d_{AB}$  - расстояние, измеряемое на плане между пикетными точками;

$h_{AB}$  - превышение между точками А и В (203.30 - 201.35 = 1.95 м)

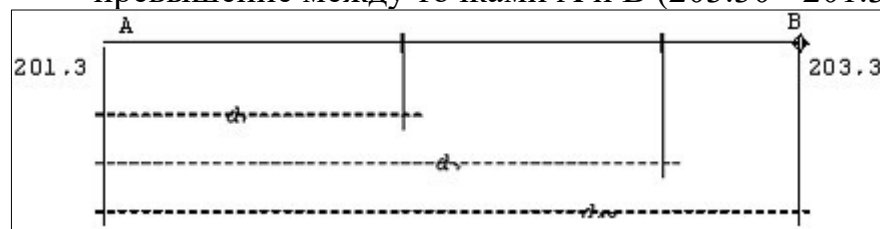


Рисунок 4- Аналитический способ интерполяции горизонталей

Графический способ предусматривает использование палетки, представляющей собой прозрачный лист бумаги или пластика с нанесенным рядом параллельных линий (горизонталей) через 5...10 мм друг от друга. Подписав на палетке отметки горизонталей, которые необходимо провести, и,

поворачивая палетку на плане, совмещают точки с отметками с горизонталями на палетке, продавливают карандашом их на план в соответствии с рисунком 5.

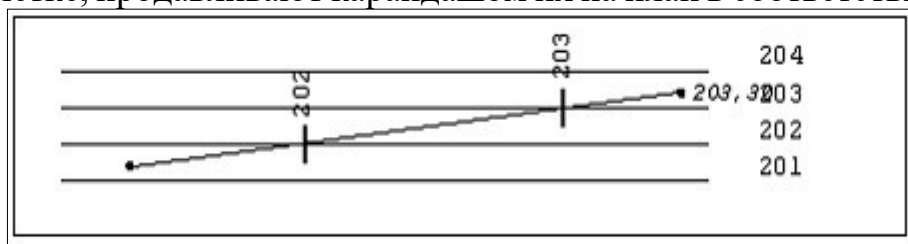


Рисунок 5- Графический способ интерполяции горизонталей

Высота точки – это расстояние по отвесной линии от уровенной поверхности Земли до данной точки.

Отметка точки  $H$  – это численное значение высоты точки.

Разность высот двух точек называется превышением  $\Delta H$  или  $h$  и вычисляется по формуле:

$$\Delta H = h = H_2 - H_1, \quad (5)$$

где  $\Delta H$ ,  $h$  – превышение между точками;  $H_2$ ,  $H_1$  – отметки точек.

*Высота сечения рельефа, заложение, уклон линии.* Разность высот двух соседних горизонталей называется *высотой сечения рельефа*. Расстояние между двумя смежными горизонталями на плоскости называется *заложением*. Между ними существует зависимость:

$$\operatorname{tg} v = \frac{h}{a}, \quad (6)$$

где  $v$  - угол наклона местности.

Измерив по карте заложение  $a$  и зная высоту сечения рельефа  $h$ , можно вычислить тангенс угла наклона (уклон линии) и затем сам угол наклона  $v$ .

*Углом наклона* линии называется угол между горизонтальным проложением линии и самой линией.

Иногда вместо угла наклона используют *уклон местности* – это тангенс угла наклона, его выражают обычно в процентах (%) или промилле (‰) (промилле – это тысячная часть целого). Уклон можно вычислить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} i &= \operatorname{tg} v; \\ i &= \frac{H_2 - H_1}{S_{1-2}} \times 1000 \text{ ‰}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $S_{1-2}$  – расстояние между точками в метрах.

Для быстрого определения угла наклона по карте пользуются специальным графиком заложений, который помещается внизу листа карты справа.

Обычно крутизна ската и уклоны определяют графически. Для этого на

планах строят графики заложений. Для построения *графика заложений по уклонам* величину заложения  $d$  определяют по формуле

$$d = h/i \quad (8)$$

Если в эту формулу последовательно поставить величины уклонов  $i$ , равные 0,001; 0,002; 0,003 и т.д., то при известной для данного плана высоте сечения  $h=1\text{м}$  можно получить соответствующие данным уклонам заложения:

|                 |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Уклоны .....    | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 |
| Заложения ..... | 1000  | 500   | 333   | 250   | 200   | 167   | 143   |

График заложений по уклонам, строят подобно графику заложений по углам наклона, но только в этом случае по горизонтальной прямой в произвольном масштабе откладывают уклоны, а по вертикали – соответствующие этим уклонам заложения в масштабе план. Пользуются графиком заложений по уклонам так же, как и графиком заложений по углам наклона. Так например, для линии  $ab$  уклон  $i=0,0025$ .

Крутизну ската с помощью графика заложений определяют следующим образом: измерив циркулем заложение линии на плане, ставят циркуль на график заложений таким образом, чтобы острие одной ножки циркуля находилось на горизонтальной прямой, а острие другой – на кривой линии графика, при этом прямая, соединяющая ножки циркуля, должна быть перпендикулярна ОВ. Пусть раствор циркуля занимает положение  $mn$ ; в этом случае крутизна ската, или уклон линии,  $i=3^\circ 40'$ .

*Решение задач по топографическим картам и планам с горизонталями.*  
*Определение отметки точки.* Если точка лежит на горизонтали, то ее отметка равна отметке этой же горизонтали.

Высотную отметку точки, расположенной между горизонталями, можно определить с помощью *метода интерполяции*. Он заключается в следующем:

1) Проводим кратчайшую прямую, (зрительно) между двумя горизонталями, проходящую через искомую точку.

2) Находим разность между высотами горизонталей и делим на измеренное расстояние между ними –  $[(106-104)/45]=0,044$ ;

3) Измеряем расстояние от одной из горизонталей, и умножаем его на число полученное в результате действия (2) –  $0,044*16=0,71$  ;

4) Прибавляем (или отнимаем, в зависимости от того, в какую сторону у нас подъем) к высотной отметке той, горизонтали, от которой измеряли расстояние до точки результат действия (3) –  $104+0,71=104,71$ .

Отметка точки равна  $104 + [(106-104)/45]*16 = 104,71 \text{ м}$ .

*Определение направления и крутизны ската.* Направление понижения ската определяется по следующим признакам:

- по водоемам (рекам, озерам) - понижение ската в сторону водоема;
- по указателям направления ската - штрих направлен в сторону понижения;

– по положению подписей горизонталей - цифры подписываются основанием в сторону понижения;

– по отметкам точек - понижение в сторону меньшей отметки.

Все формы рельефа образуются из сочетания наклонных поверхностей — скатов, которые подразделяются на ровные, выпуклые, вогнутые и смешанные в соответствии с рисунком 16.



Рисунок 6 – Формы скатов

Как видно из рисунка 17, горизонтالي, изображающие ровный скат, располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга. При выпуклом скате расстояния между горизонталями у подошвы меньше, чем у вершины. При вогнутом скате горизонтالي у подошвы отстоят друг от друга на большем расстоянии, чем у вершин. Следовательно, по характеру горизонталей можно определить вид ската. Также можно сделать вывод, что самому короткому расстоянию между двумя соседними горизонталями соответствует самая крутая линия на местности.

*Проведение на карте линии заданного предельного уклона в соответствие с рисунком 18. Между заданными на карте точками  $A$  и  $B$  требуется провести кратчайшую линию так, чтобы ни один отрезок не имел уклона больше заданного предельного  $i_{\text{пред}}$ .*

Проще всего задача решается с помощью масштаба заложения для уклонов. Взяв по нему раствором циркуля заложение  $a_{\text{пред}}$ , соответствующее предельному уклону, засекают последовательно точки  $1...7$  - все горизонтالي от точки  $A$  до точки  $B$ . Если раствор циркуля меньше расстояния между горизонталями, линию проводят по кратчайшему направлению. Соединив все точки, получают линию с заданным предельным уклоном.

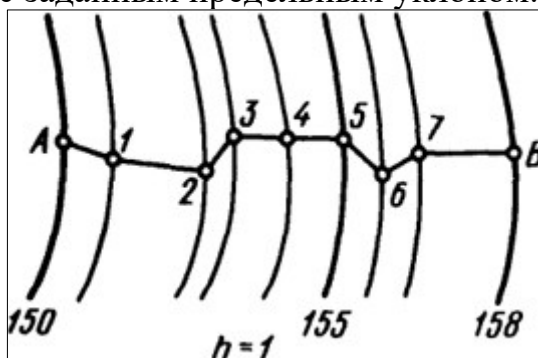


Рисунок 7- Схема проведения на карте линии заданного предельного уклона

Если нет масштаба заложений, заложение  $a_{\text{пред}}$  можно подсчитать по формуле  $a_{\text{пред}} = h/(i_{\text{пред}}M)$ , где  $M$  - знаменатель числового масштаба карты.

*Построение профиля местности по заданному на карте направлению.* Рассмотрим построение профиля на конкретном примере в соответствии с рисунком 18.

Пусть требуется построить профиль местности по линии  $AB$ . Для этого линию  $AB$  переносят в масштабе карты на бумагу и отмечают на ней точки 1, 2, 4, 5, 7, 9, в которых она пересекает горизонтالي, а также характерные точки рельефа (3, 6, 8). Линия  $AB$  служит основанием профиля. Взятые с карты отметки точек откладывают на перпендикулярах (ординатах) к основанию профиля в масштабе, в 10 раз превышающем горизонтальный масштаб. Полученные точки соединяют плавной линией. Обычно ординаты профиля уменьшают на одну и ту же величину, т. е. строят профиль не от нуля высот, а от *условного горизонта* УГ на рис. 8 за условный горизонт принята высота, равная 100 м.

С помощью профиля можно установить взаимную видимость между двумя точками, для чего их нужно соединить прямой линией.

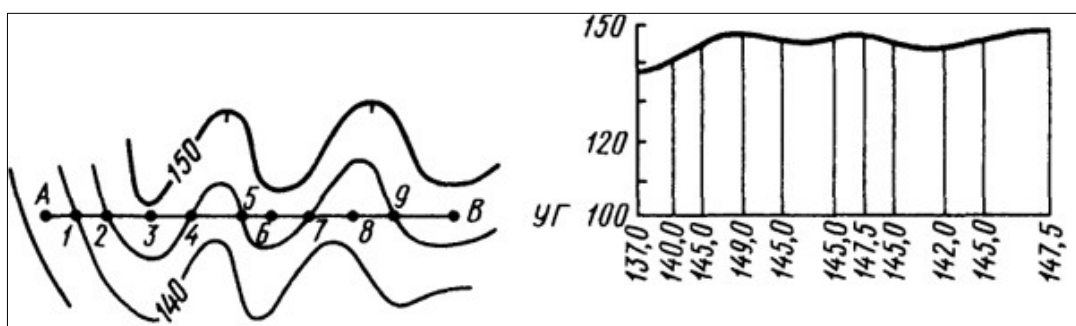


Рисунок 8- Схемы построения профиля по заданному направлению

Если построить профили из одной точки по нескольким направлениям, можно нанести на карту или план участка местности, не видимые с этой точки. Такие участки называют *полями невидимости*.

*Вычисление объемов* в соответствии с рисунком 19. По карте с горизонталями можно вычислить объемы горы и котловины, изображаемых системой горизонталей, замыкающихся в пределах небольшой площадки. Для этого формы рельефа делят на части, ограниченные двумя соседними горизонталями.

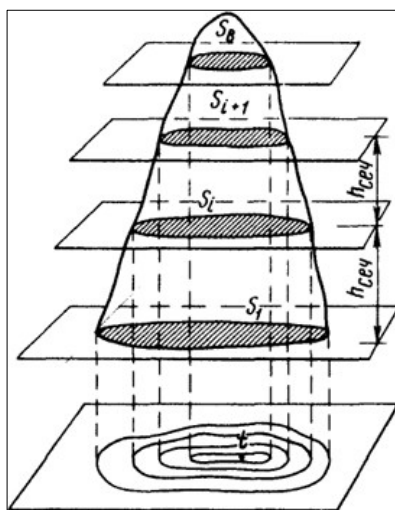


Рисунок 9 - Схема определения объема по карте с горизонталями

Каждую такую часть можно приближенно принять за усеченный конус, объем которого равен  $V_i = (1/2)(S_i + S_{i+1})h_{\text{сеч}}$ , где  $S_i$  и  $S_{i+1}$  - площади, ограниченные на карте нижней и верхней горизонталями, являющимися основаниями усеченного конуса,  $h_{\text{сеч}}$  - высота сечения рельефа,  $i = 1, 2, \dots, k$  - текущий номер усеченного конуса.

Площади  $S$  измеряют планиметром (механическим или электронным).

*Изображение земной поверхности в цифровом виде.* Развитие вычислительной техники и появление автоматических чертежных приборов (графопостроителей) привело к созданию автоматизированных систем для решения различных инженерных задач, связанных с проектированием и строительством сооружений. Часть этих задач решается с использованием топографических планов и карт. В связи с этим появилась необходимость представления и хранения информации о топографии местности в цифровом виде, удобном для применения компьютеров.

В памяти компьютера цифровые данные о местности наилучшим образом могут быть представлены в виде координат  $X, Y, H$  некоторого множества точек земной поверхности. Такое множество точек с их координатами образует цифровую модель местности (ЦММ).

По своему содержанию ЦММ разделяется на цифровую модель ситуации (контуров местности) и цифровую модель рельефа (ЦМР).

Все элементы ситуации задаются координатами  $X$  и  $Y$  точек, определяющих положение предметов и контуров местности. Цифровая модель рельефа характеризует топографическую поверхность местности. Она определяется некоторым множеством точек с координатами  $X, Y, H$ , выбранных на земной поверхности так, чтобы в достаточной мере отобразить характер рельефа.

Ввиду многообразия форм рельефа подробно описать его в цифровом виде довольно сложно. Поэтому в зависимости от решаемой задачи и характера рельефа применяют различные способы составления цифровых моделей. Например, ЦМР может иметь вид в соответствии с рисунком 10.



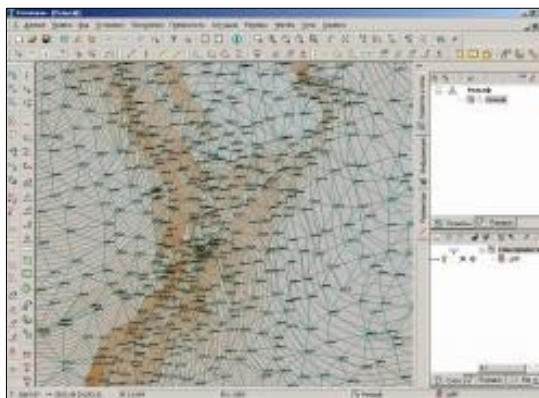


Рисунок 10 – Цифровая модель рельефа

Построение цифровой модели рельефа производится по точкам (например, по пикетам съемки или точкам оцифровки растра) нерегулярной сеткой треугольников с использованием структурных линий. Структурной линией может быть полилиния, как специально созданная для уточнения модели рельефа в тальвегах, водоразделах, так и существующая на местности (бордюр, кромка асфальта, бровка откоса). Рельеф отображается горизонталями различного вида либо в виде штриховки откоса или обрыва. Высота сечения рельефа, вид отображения горизонталей (дополнительные горизонтали, полугоризонтали) могут определяться как для всей поверхности, так и для ее отдельных участков, состоящих из группы выбранных треугольников. Элементарные участки поверхности могут быть представлены не только плоскими треугольниками, но и нелинейными поверхностями, что позволяет повысить адекватность модели, а также делает более удобным и наглядным процесс редактирования рельефа.

Для анализа и оценки рельефа в системе предусмотрены возможности построения разреза поверхности по произвольной линии либо по полилинии – элементу ситуации. На цифровой модели местности выполняются измерения линий, углов, площадей, нанесение размеров и надписей.

### **Контрольные вопросы:**

- 1) Дать определение горизонтали.
- 2) Указать методы определения отметок точек.
- 3) Что такое высота сечения рельефа?
- 4) Что называется уклоном местности?
- 5) Опишите порядок построения линии заданного уклона.