

# Цифровое моделирование

- **Цифровое моделирование рельефа** составляет крупный раздел внутри блока обработки данных в ГИС и также относится к задачам геоанализа и моделирования. Хотя оно реализовано далеко не во всех ГИС-пакетах, тем не менее цифровое моделирование рельефа – одно из приоритетных направлений развития современной геоинформатики.

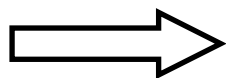
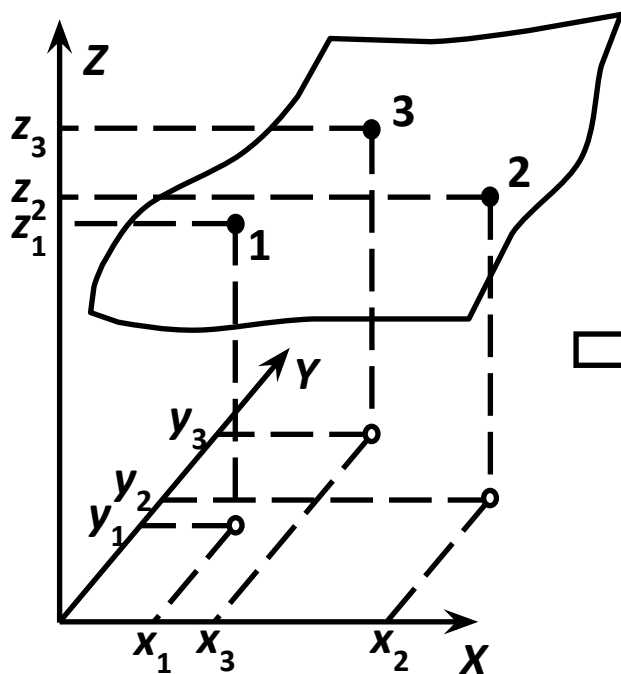
# Рельеф как объект ЦМТ

- Рельеф является главным элементом ландшафта. Он определяет все особенности местности: характер и конфигурацию гидрографической сети, распределение растительности и почвенного покрова, микроклимат и экологические условия, расположение дорог и населенных пунктов

# Рельеф как объект ЦМТ

- Цифровое моделирование рельефа ставит перед собой две главные группы задач:
  - Первая сводится к разработке методов и приемов по созданию цифровых моделей рельефа (ЦМР);
  - Вторая совершенствует способы их практического использования.

# Создание ЦМР. Общий принцип



<i>ID</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
1	$x_1$	$y_1$	$z_1$
2	$x_2$	$y_2$	$z_2$
3	$x_3$	$y_3$	$z_3$
...	...	...	...
$n$	$x_n$	$y_n$	$z_n$

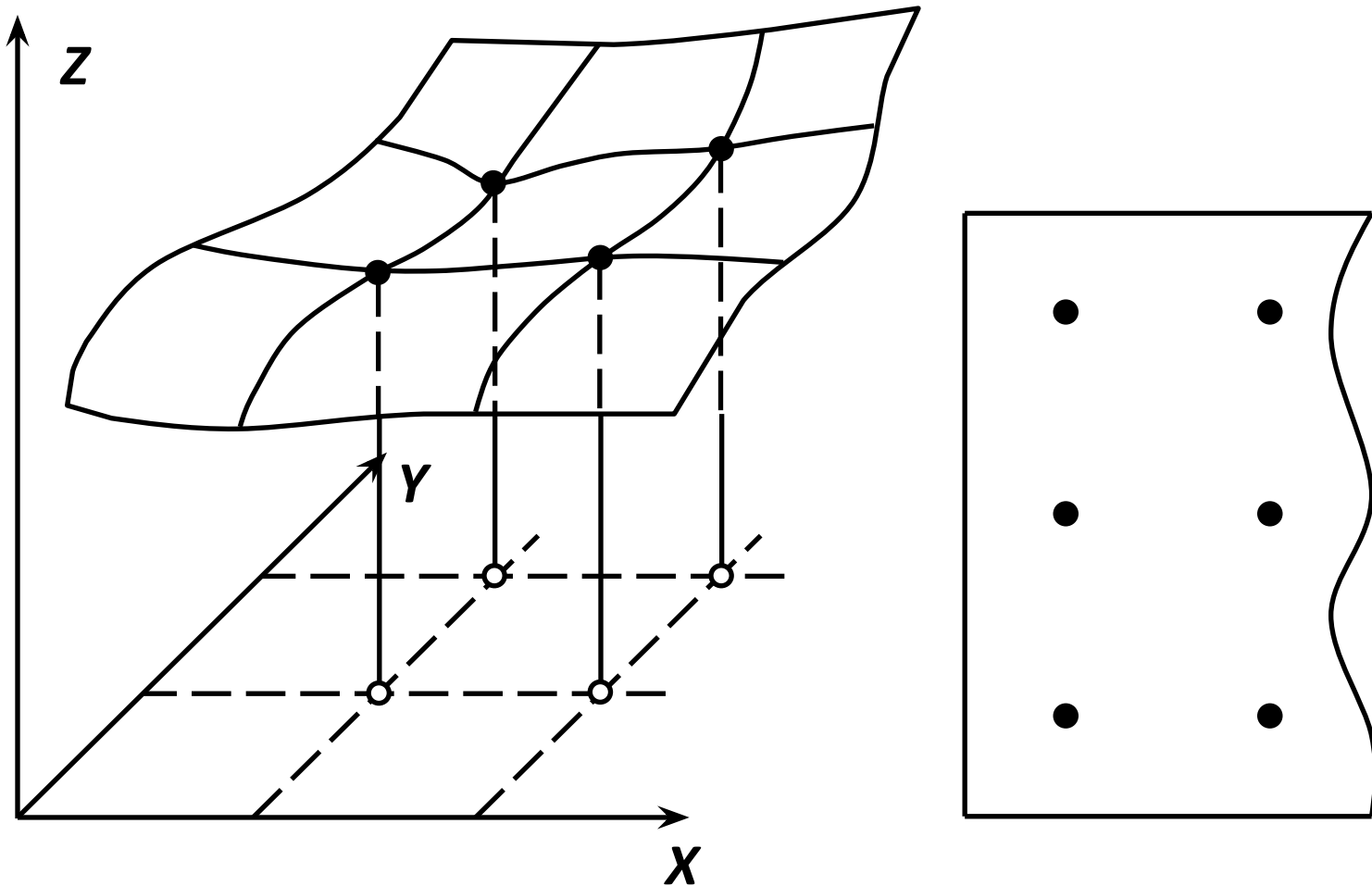


Цифровая модель рельефа (ЦМР)

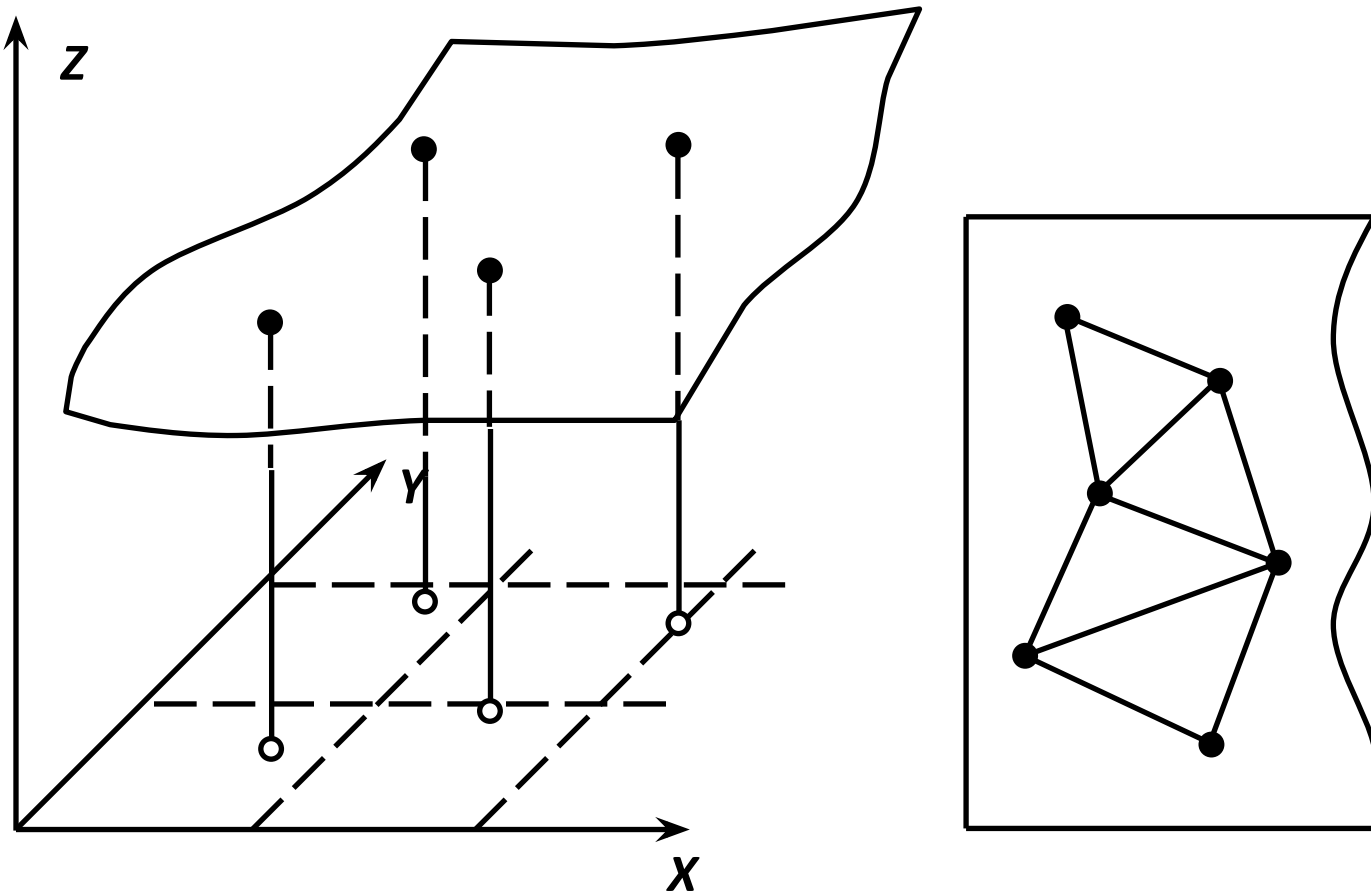
# Создание ЦМР

- Современные цифровые модели рельефа создаются четырьмя основными способами:
  - получение высотных отметок в узлах регулярной сетки
  - нерегулярное (случайное) размещение высотных отметок в узлах произвольной сети
  - размещение высотных отметок вдоль горизонталей или изобат с определенным шагом
  - получение высотных отметок в точках пересечения горизонталей со структурными линиями рельефа

# Получение высотных отметок в узлах регулярной сетки

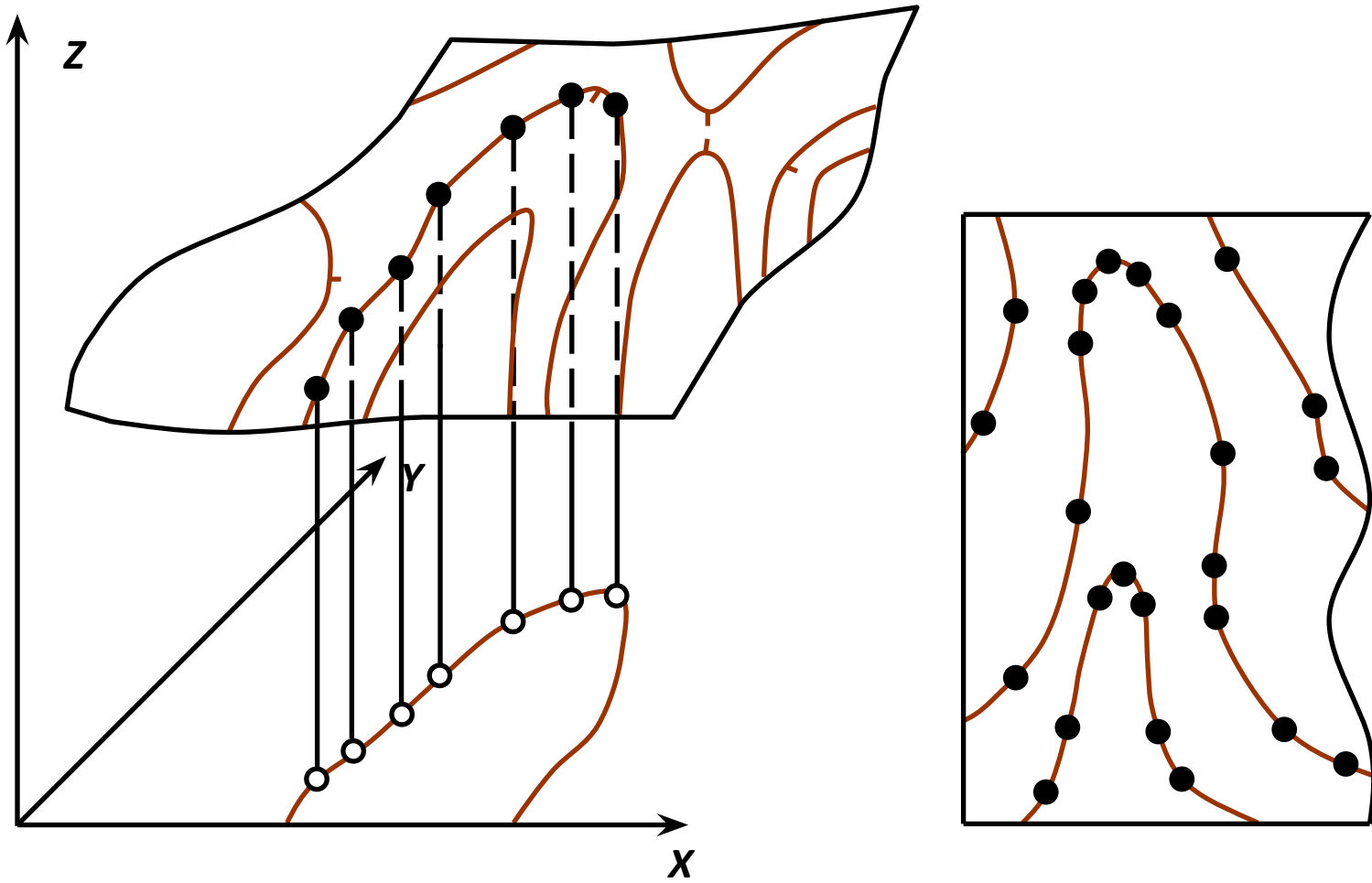


# Нерегулярное размещение высотных отметок в узлах произвольной сети

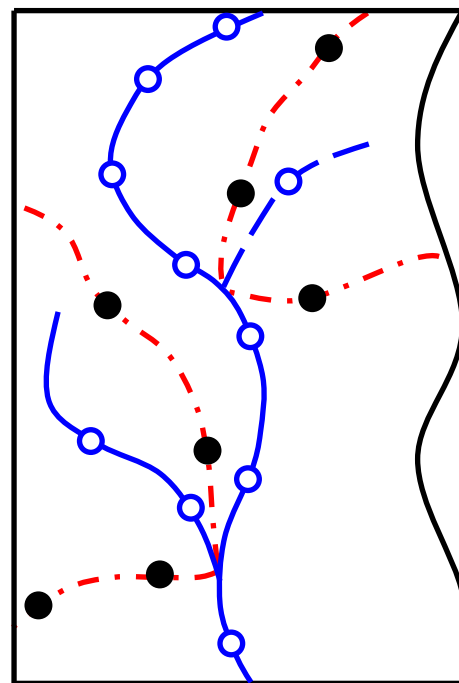
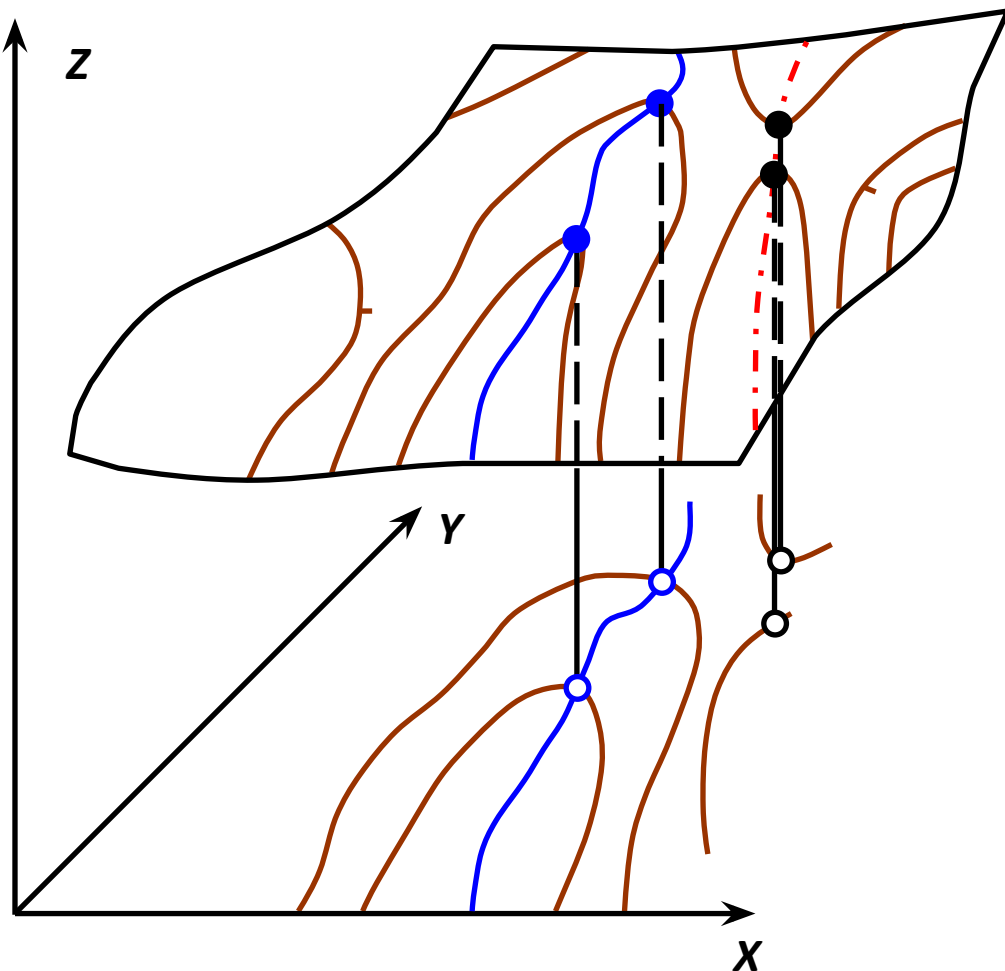




# Размещение отметок вдоль горизонталей с определенным шагом



# Получение отметок в точках пересечения горизонталей со структурными линиями рельефа



# Источник данных для ЦМР

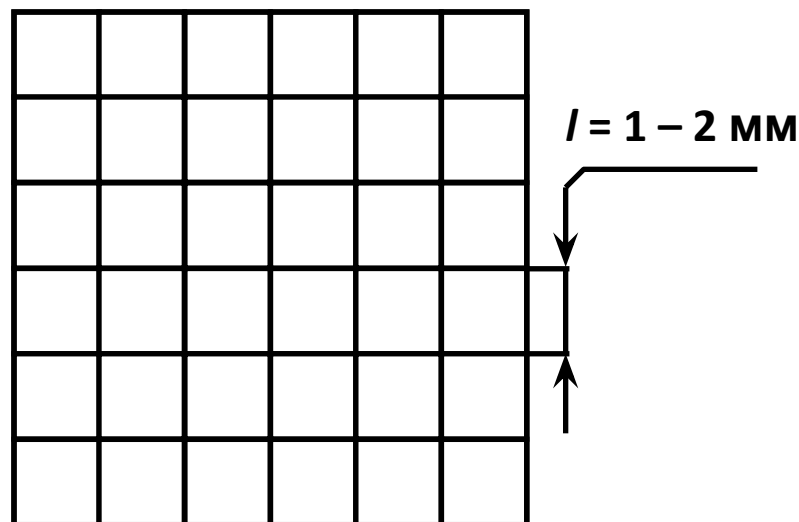
- Главными источниками для создания ЦМР служат крупномасштабные топографические карты. Типовая технология создания ЦМР основана на цифровании (обводке) горизонталей как основной ее составляющей и высотных отметок. Применение мелкомасштабных карт ограничено по условиям генерализации. На таких картах геометрическая точность вступает в противоречие с географическим правдоподобием и морфологическим соответствием, и, как правило, метричностью жертвуют. В теории и практике геоинформатики доказывается, что использование в качестве исходных материалов для построения ЦМР карт масштаба 1 : 500 000 и мельче, – бессмысленно.

# Форматы ЦМР

- Обычно первичные данные для создания новой ЦМР (получаемые традиционно по картам) приводятся к одному из двух наиболее широко распространенных формата представления: GRID-модели и TIN-модели. Первая модель во многом аналогична растровой модели пространственных данных: она предполагает разбиение пространства карты на далее неделимые элементы (пикселы), внутри которых высота земной поверхности считается постоянной. Пикселы образуют квадраты регулярной обычно прямоугольной матрицы высот, расстояние между которыми определяет пространственное разрешение ЦМР.

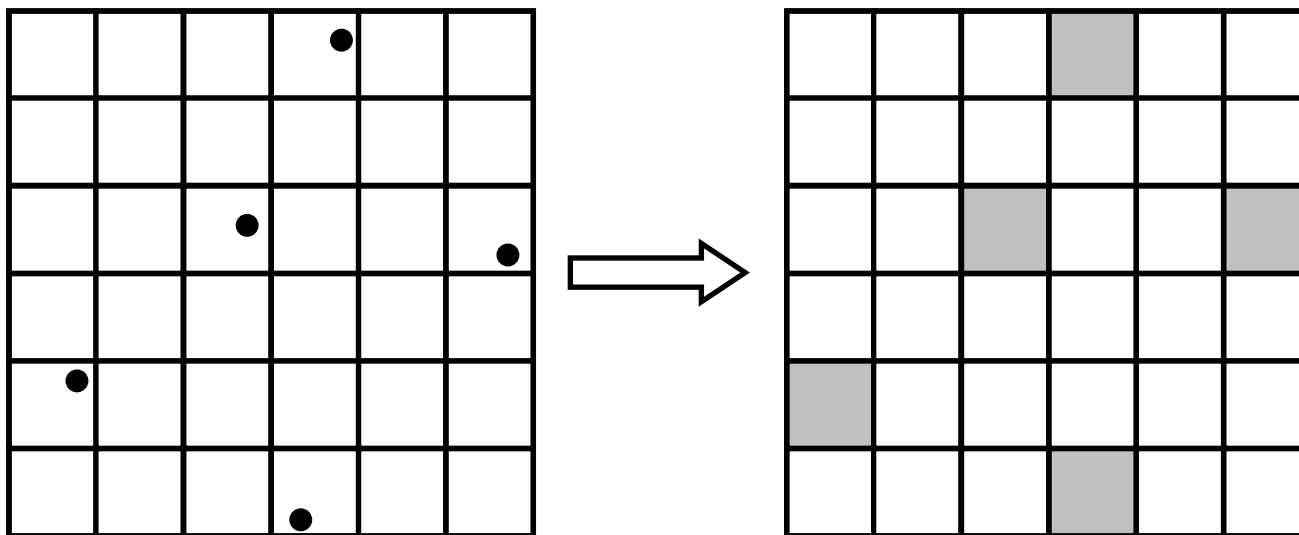
# GRID.1

- При создании GRID-моделей на первом шаге изучаемую территорию как бы нарезают на квадратные выделы, участки, геометрические размеры которых определяются заранее исходя из качества исходных материалов, задач исследования и технических средств (*grid* в переводе с английского – решетка, сетка). Малые пиксели детальнее передают неровности земной поверхности, но для создания таких ЦМР требуются крупномасштабные исходные материалы, а образованный массив чисел – огромен и труднообрабатываем. Обычно размер пикселей устанавливают равным 1 – 2 мм в масштабе карты (например, для 1 : 100 000 карты размер пиксела – 100 – 200 м на местности).



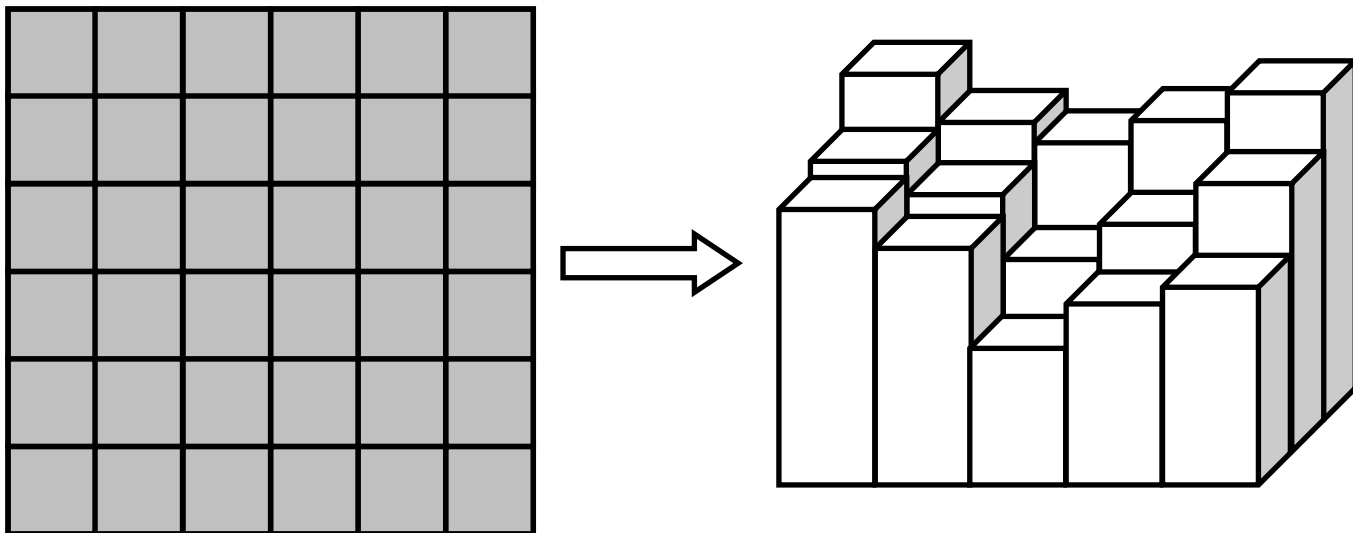
# GRID.2

- Далее определяется положение точек, высоты которых известны (определены одним из четырех рассмотренных способов), относительно ячеек решетки. Высоты точек присваиваются пикселу, в который попала отметка.

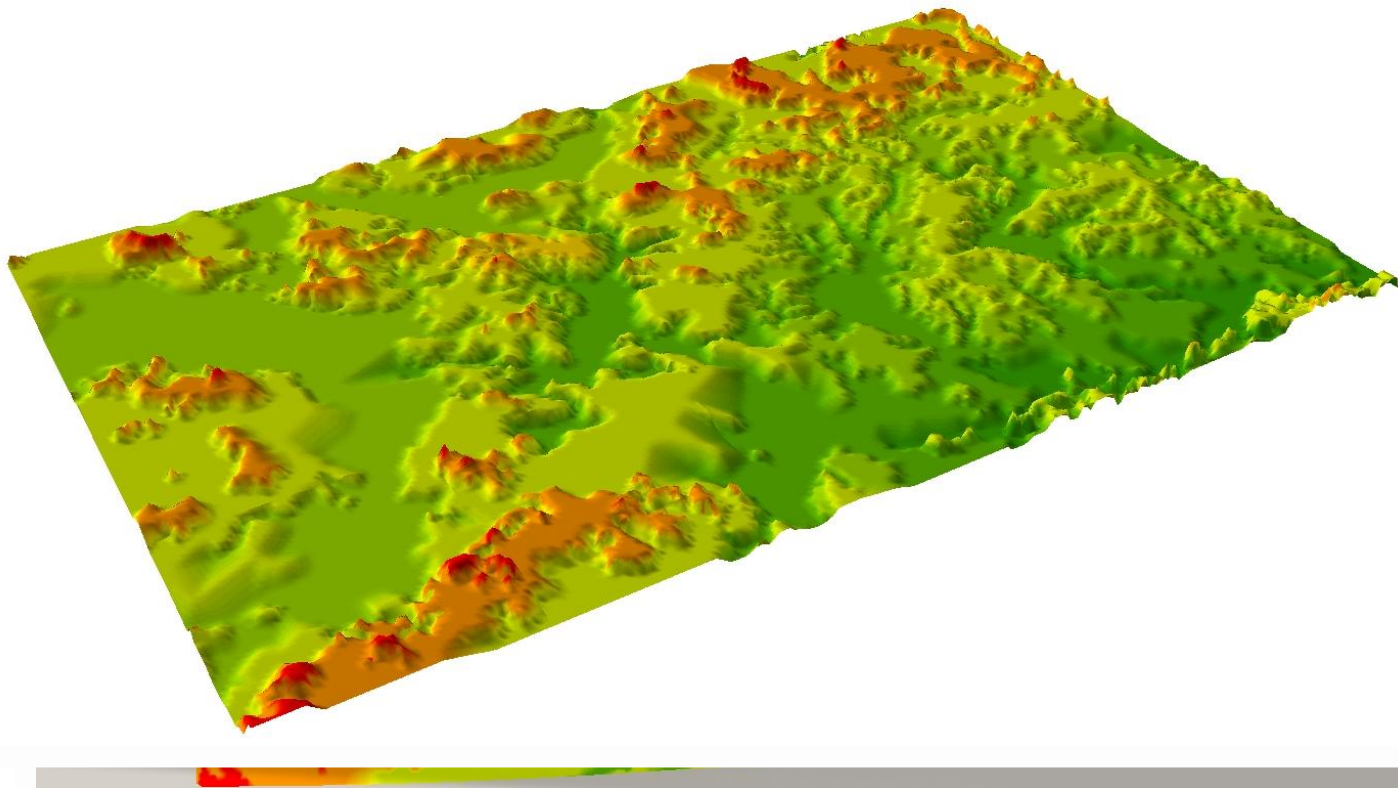


# GRID.3

- Затем по правилам интерполяции определяются значения высот всех прочих пикселов. Рельеф имитируется плотно подогнанными друг к другу параллелепипедами разной высоты.

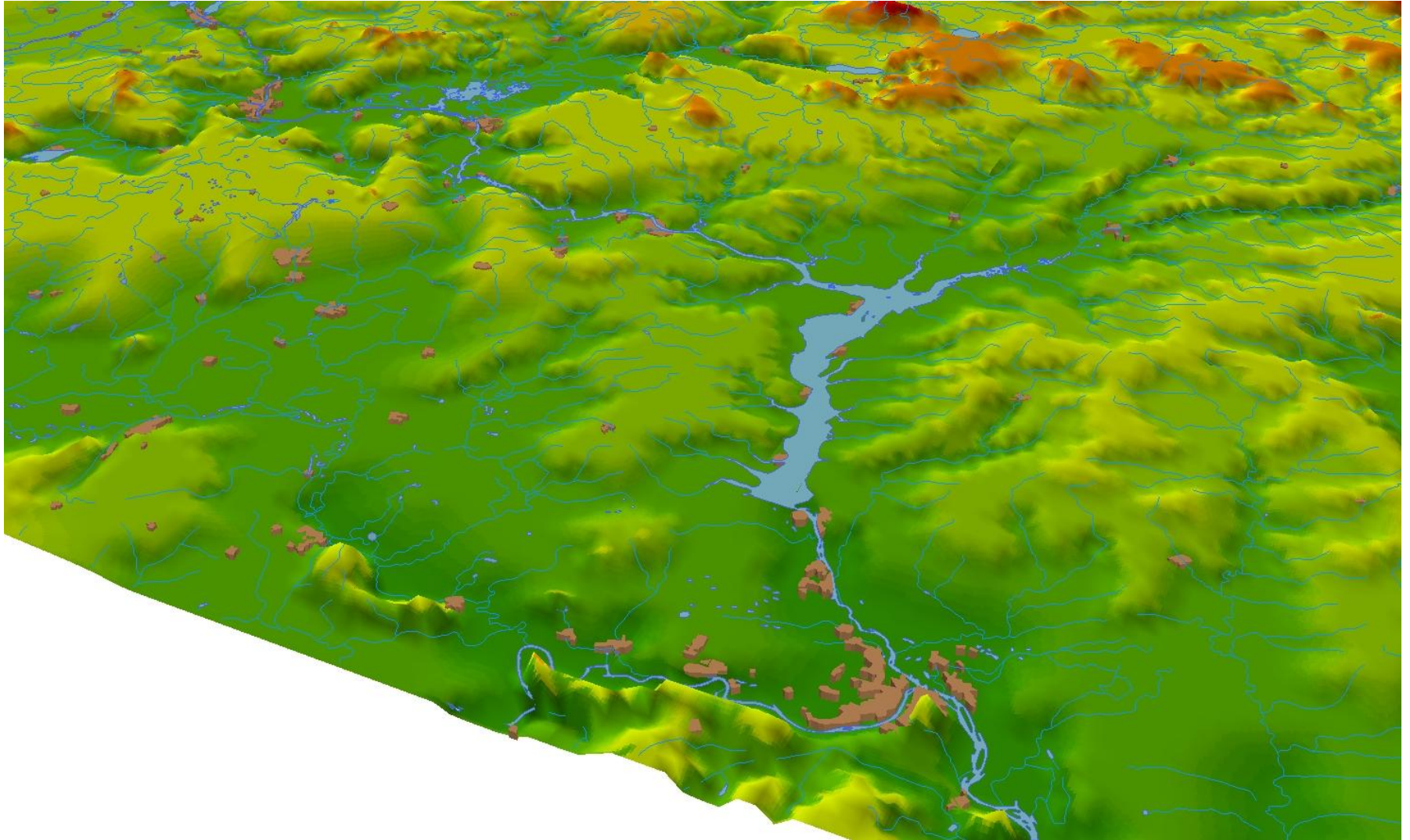


# GRID 4





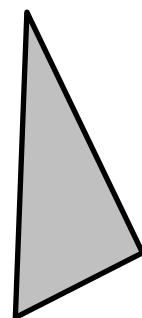
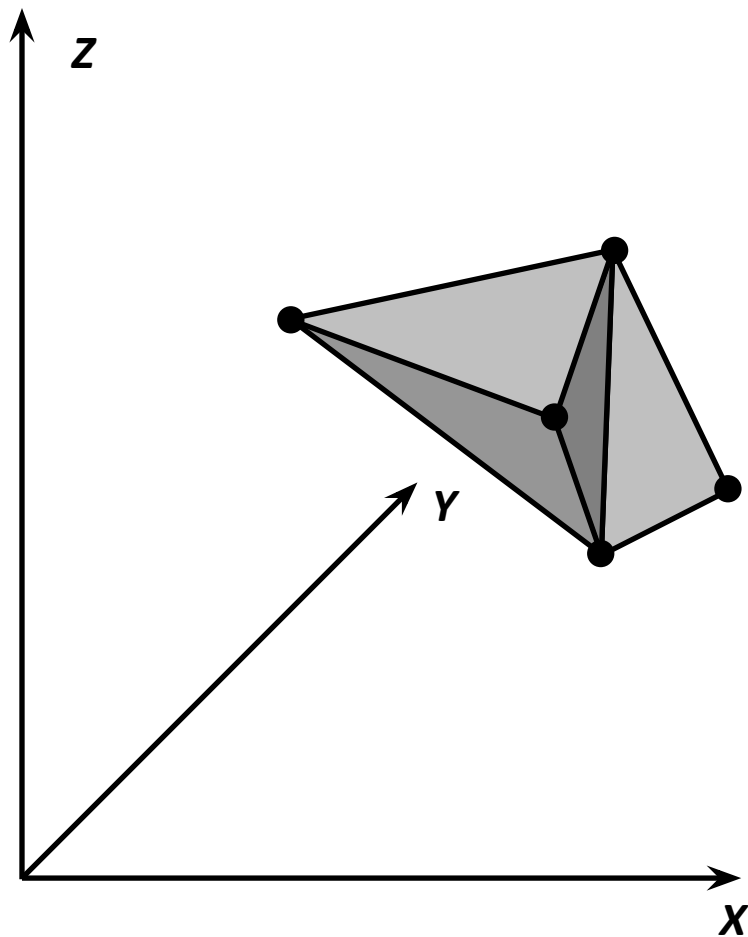
# GRID. Result



# TIN.1

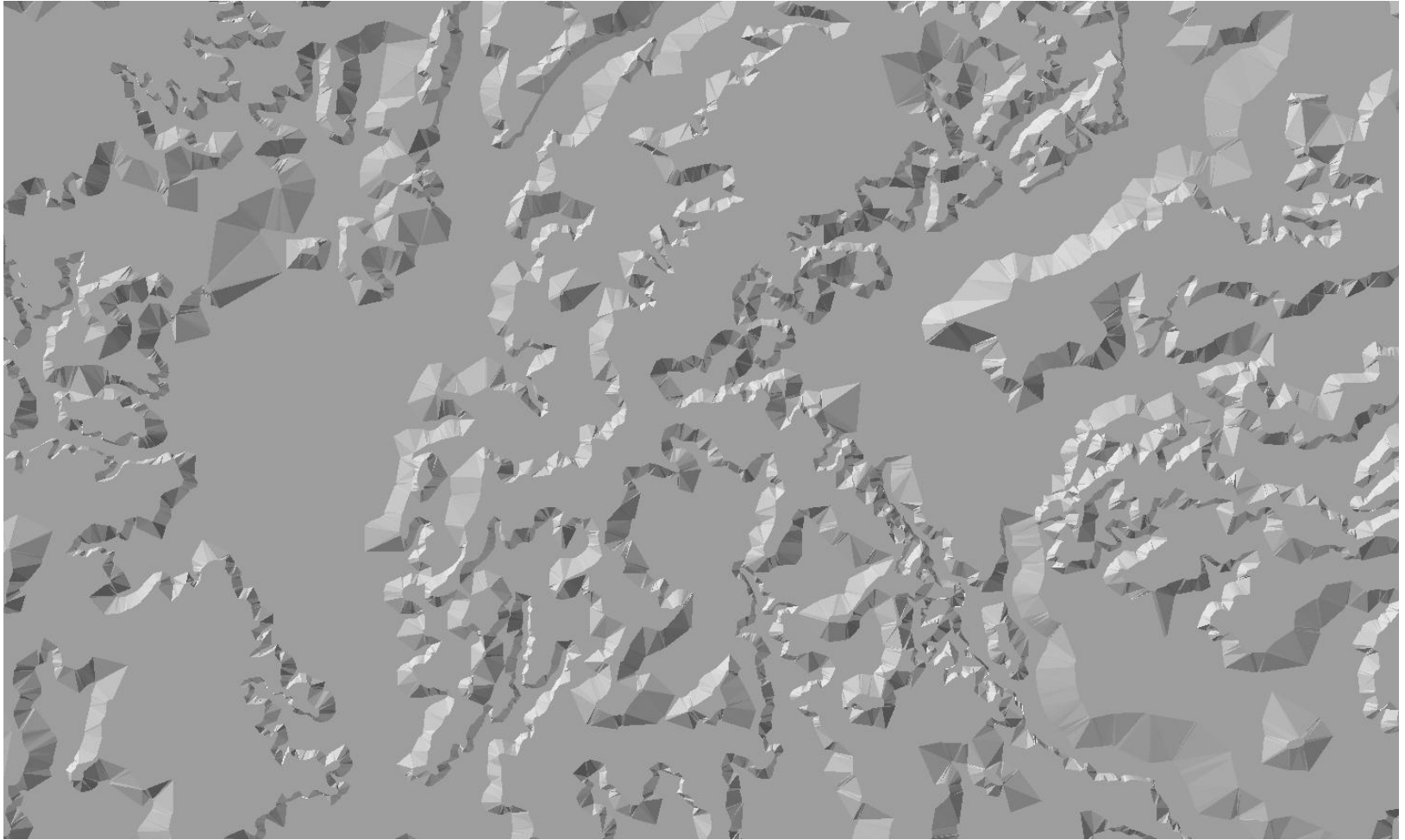
- Суть модели TIN – в ее названии: ***Triangulated irregular network*** (нерегулярная треугольная сеть). Она представляет собой сеть треугольников, в вершинах которых находятся высотные отметки. Строится она следующим образом. Все точки с известными высотами соединяются попарно отрезками так, чтобы они нигде не пересекались; в противном случае оставляют кратчайший отрезок. Полученная сеть треугольников в топографии получила название элементов триангуляции Делоне. В начертательной геометрии с триангуляцией Делоне тесно связаны полигоны Тиссена, или диаграммы Вороного, обладающие рядом особых свойств. В результате моделируемая поверхность представляется как многогранная.

# TIN.2

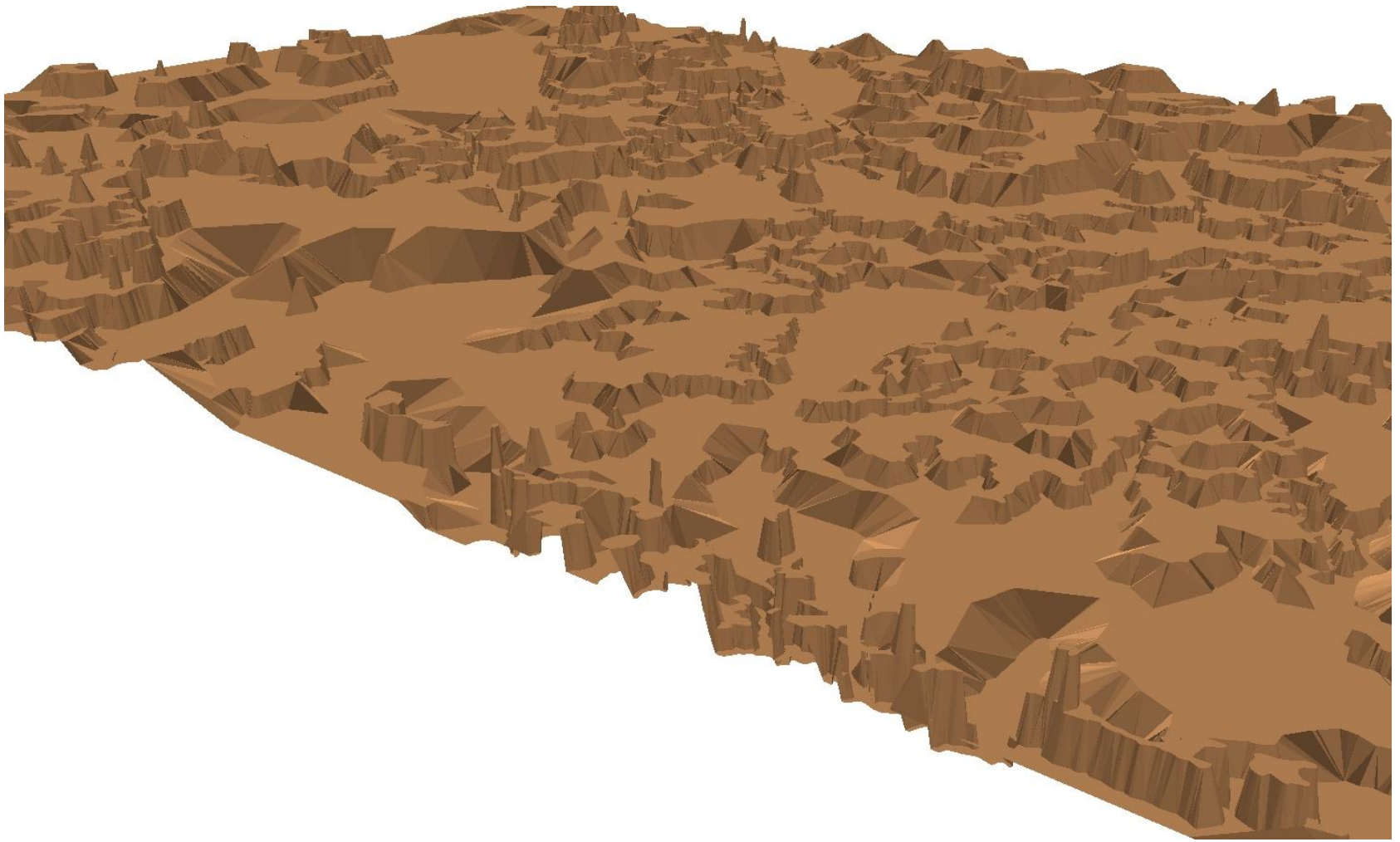


трехреберные грани

# TIN.4



# TIN.4



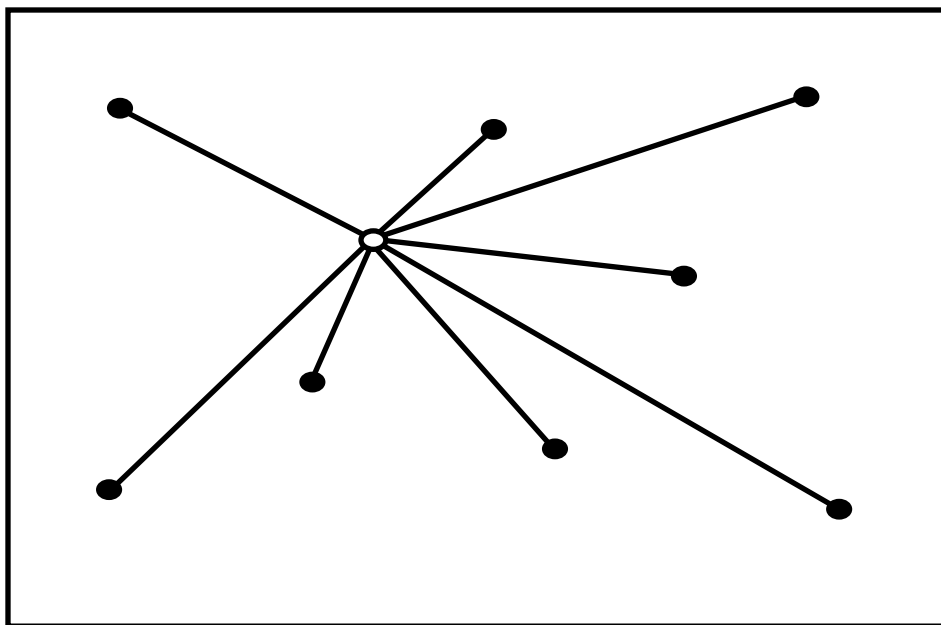
# Цифровое моделирование.2

# Интерполяция в ЦМР

- Важным элементом построения любой ЦМР независимо от формата представления является интерполирование – т.е. нахождение высот земной поверхности любой произвольной точки, для которой известны только плановые координаты  $X$  и  $Y$ , по некоторой сети опорных точек, называемых узлами интерполяции, для которых известны все три координаты –  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .
- Для GRID-моделей интерполяция необходима для получения непрерывной матрицы высот по дискретным необязательно регулярным опорным точкам, в TIN-моделях она применяется с целью сгущения сети треугольников, обычно весьма разреженной.
- Все методы интерполяции делятся на **глобальные и локальные**, а также **точные и аппроксимирующие**.

# Глобальная инетполяция

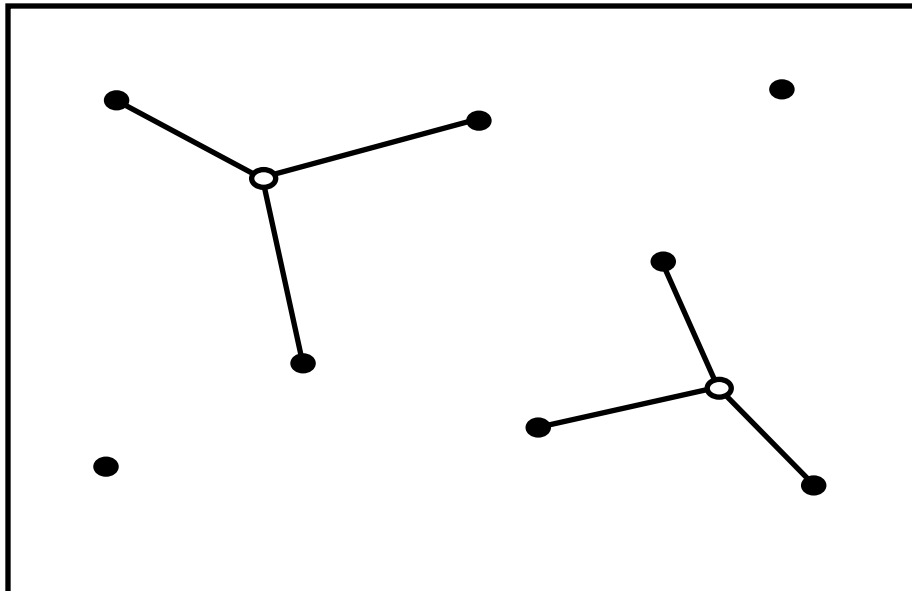
- При глобальной интерполяции определение высот произвольных точек осуществляется с использованием всех узлов интерполяции. В этом случае изменение в исходном наборе опорных точек (добавление, удаление и т.п.) сказывается на всей результирующей ЦМР.





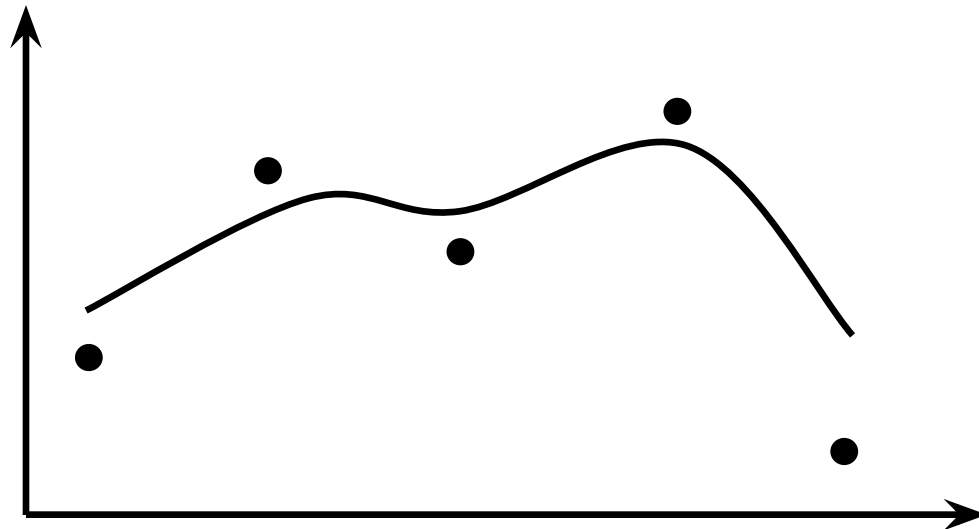
# Локальная интерполяция

- В локальной интерполяции расчет высоты ведется лишь в непосредственных окрестностях точки, многократно повторяя алгоритм вычисления в разных частях ЦМР.



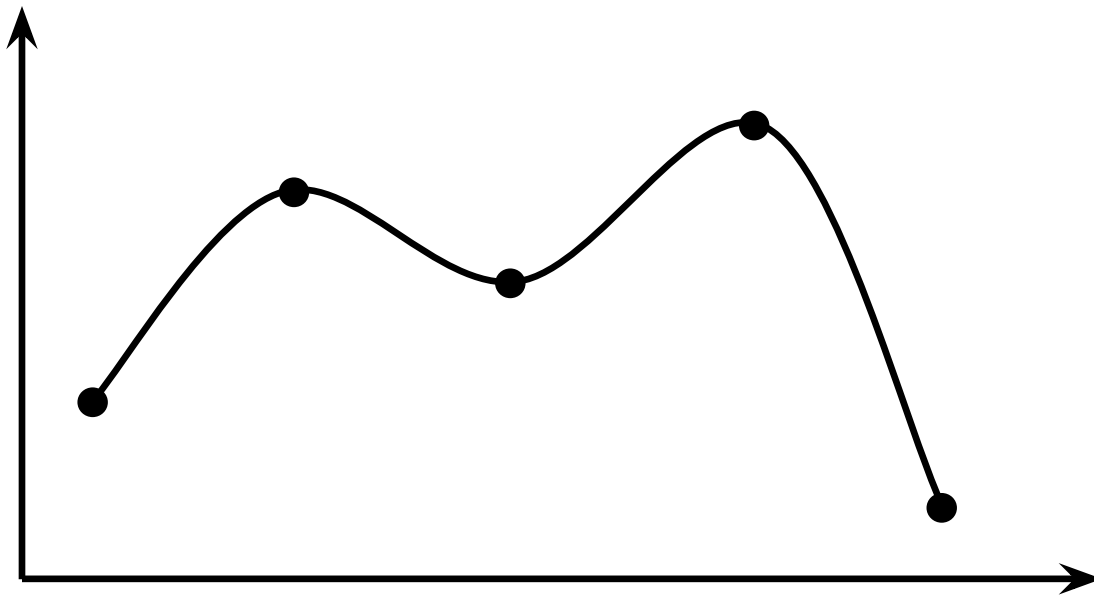
# Аппроксимирующая интерполяция

- В основе аппроксимирующих методов лежит соображение о неточности или даже ошибках исходных данных, потому что они отражают лишь общий тренд поверхности, не воспроизводя точного значения высоты в опорных точках.



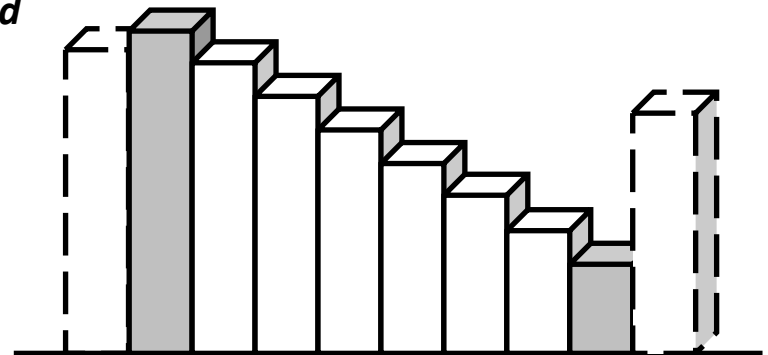
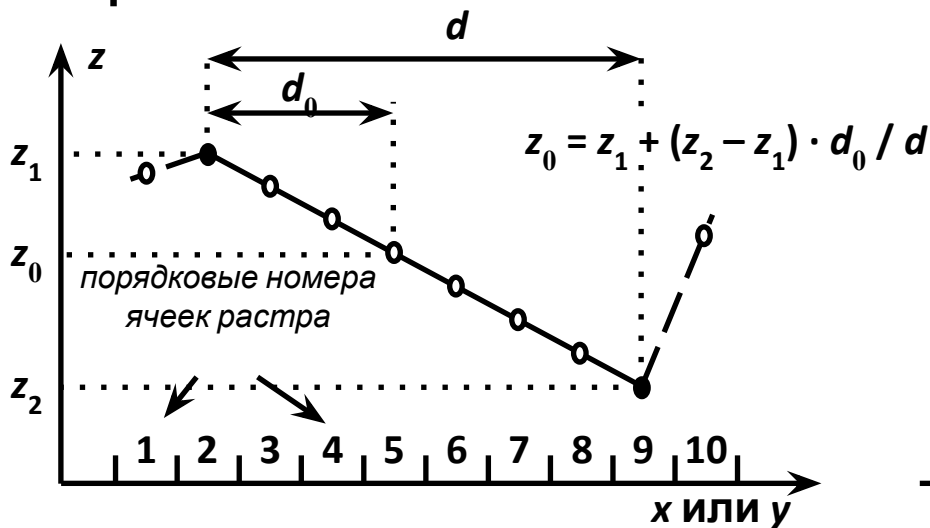
# Точная интерполяция

- Точные методы интерполяции сохраняют высоты в опорных точках, на которых базируется сама интерполяция, и поверхность проходит через все точки с известными аппликатами.



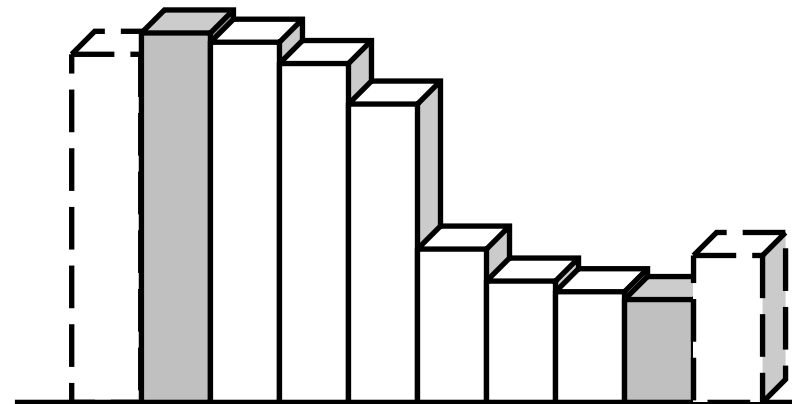
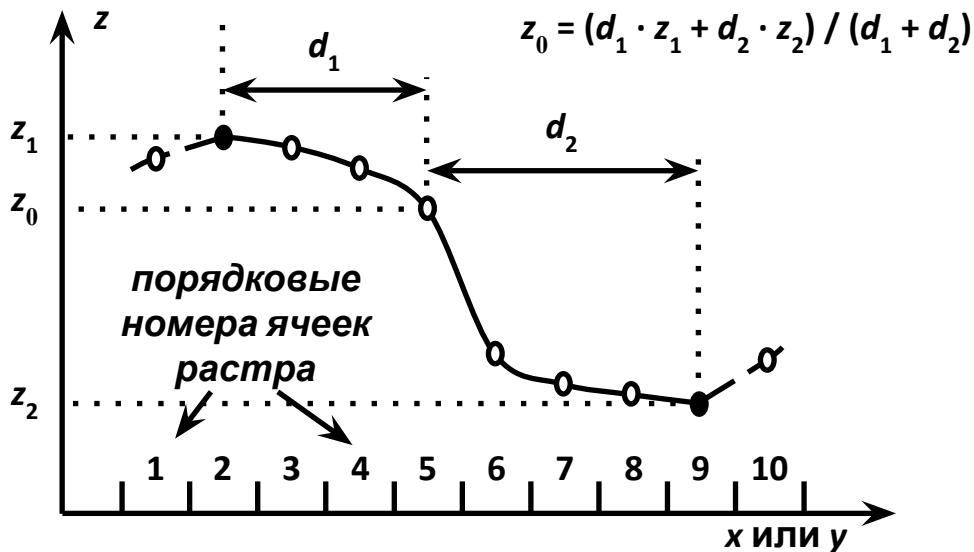
# Linear interpolation

- Среди конкретных реализаций алгоритмов интерполяции наиболее часто употребляется линейная интерполяция, выполняемая от точки к точке по отрезкам прямых линий.



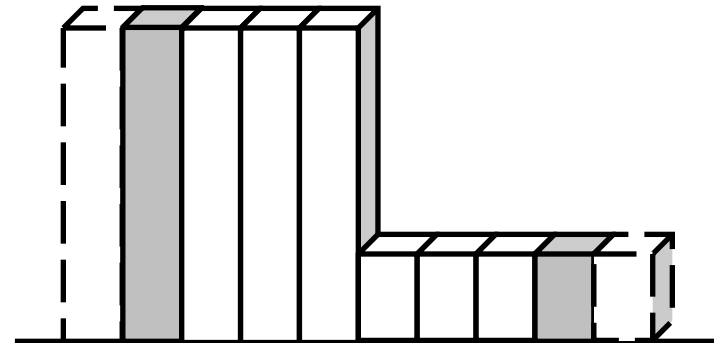
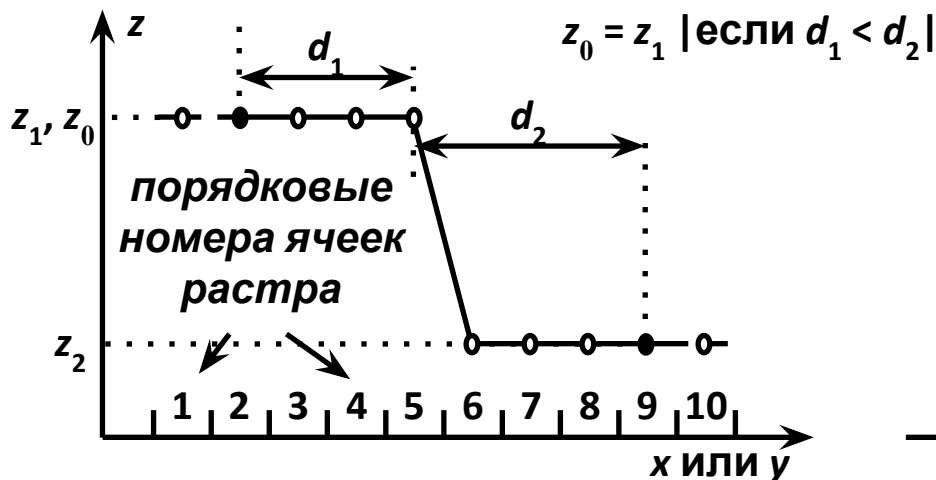
# Inverse weight interpolation

Другой метод – метод обратных весовых коэффициентов – при интерполировании позволяет в большей степени учитывать влияние близ лежащих точек и в меньшей – находящихся на удалении.



# Nearest neighbor interpolation

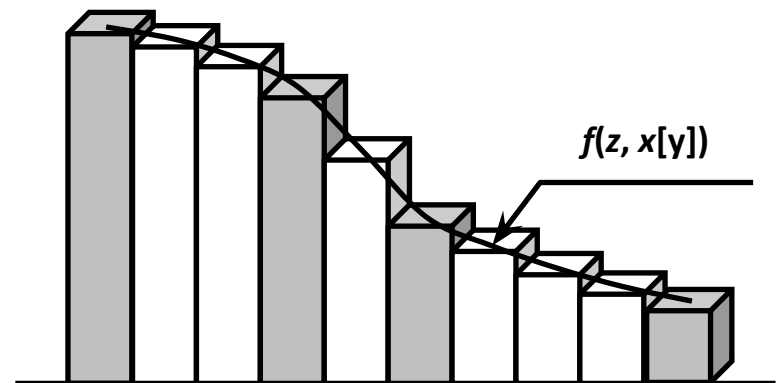
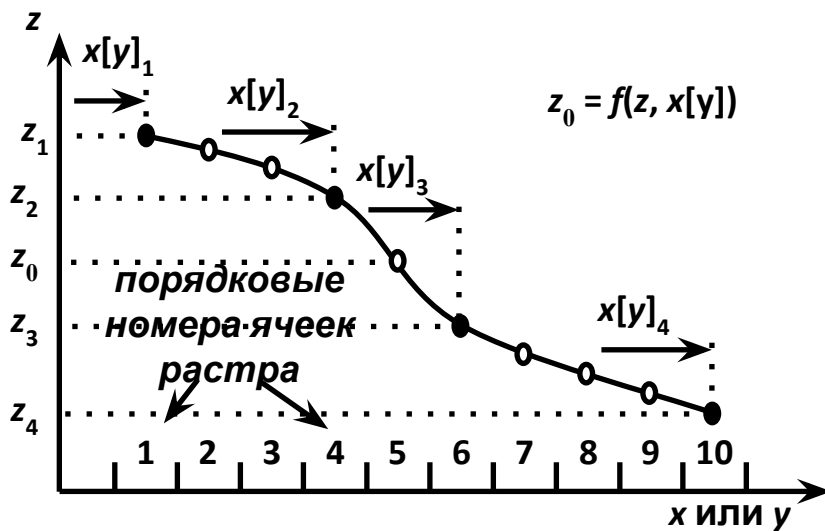
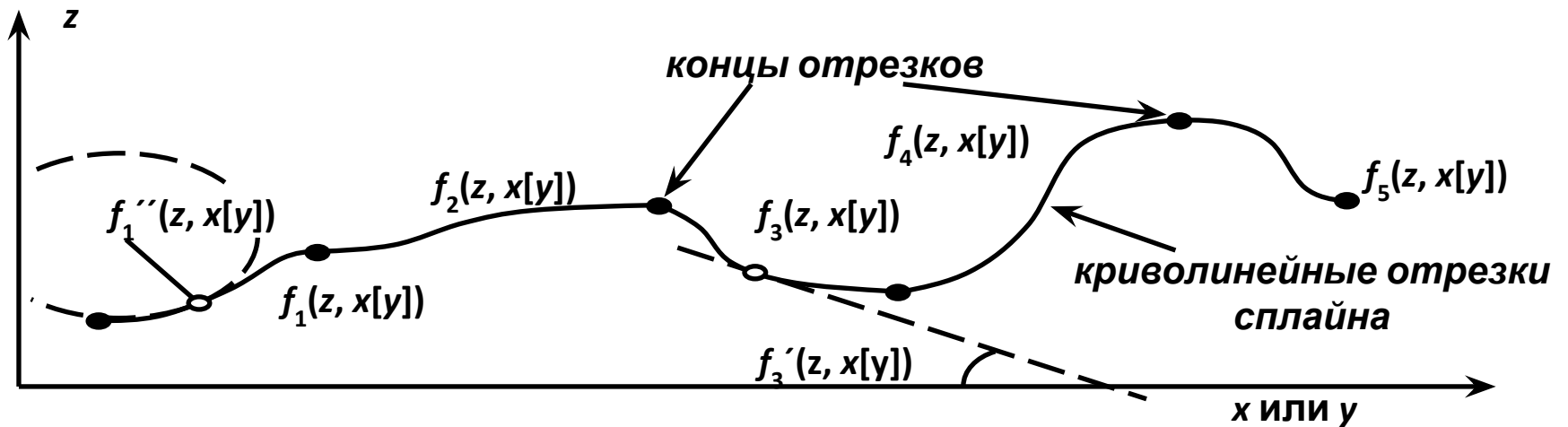
- В следующем способе – методе ближайшего соседа – высота точки принимается равной высоте опорной точки, располагающейся ближе всего.



# Spline interpolation

- Следующий метод интерполяции получил названия метода сплайнов (**spline** в переводе с английского – упругая линейка), или кусочно-полиномиального сглаживания.

# Spline interpolation





# Аппроксимирующая интерполяция

- Все рассмотренные методы интерполяции относятся к точным. Однако наибольшую популярность завоевали аппроксимирующие методы:
  - полиномиальная интерполяция
  - кригинг.

# Аппроксимирующая интерполяция

- В аппроксимирующих методах рельеф земной поверхности понимается как очень сложная функция вида

$$z = F(x, y),$$

- т.е. высота точки зависит от ее пространственного положения. Эта функция неизвестна и неопределима, поскольку учитывает огромное число причин и факторов, влияющих на рельеф. Но ее можно заменить более простой функцией, свойства которой известны, и представить рельеф в виде

$$z = f(x, y) + \varepsilon,$$

- где  $\varepsilon$  – некоторый неразложимый остаток, очень малый по величине:

$$[F(x, y) - f(x, y)] = \varepsilon \rightarrow 0.$$

# Полиномиальная интерполяция

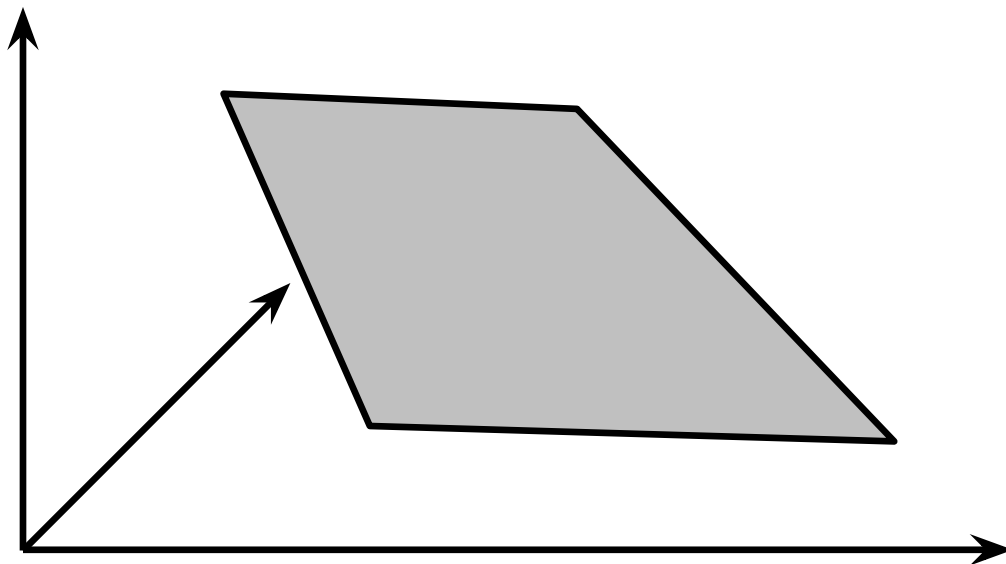
- В полиномиальной интерполяции отыскание высот промежуточных точек  $z_0$  проводится путем решения полиномов заданной степени  $m$ :

$$z_0 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m a_{ij} x^i y^j$$

- где  $a_{ij}$  – коэффициенты полинома, а  $x$  и  $y$  – координаты сети. Коэффициенты полинома определяются исходя из условия минимизации  $\epsilon$ , для этого необходимо, чтобы число опорных точек, привлекаемых для расчета, было не меньше величины  $(m + 1) \cdot (m + 2) / 2$ .
- Порядок полинома указывает на число чередующихся максимумов или минимумов аппроксимирующей поверхности, которое равно  $m - 1$ .

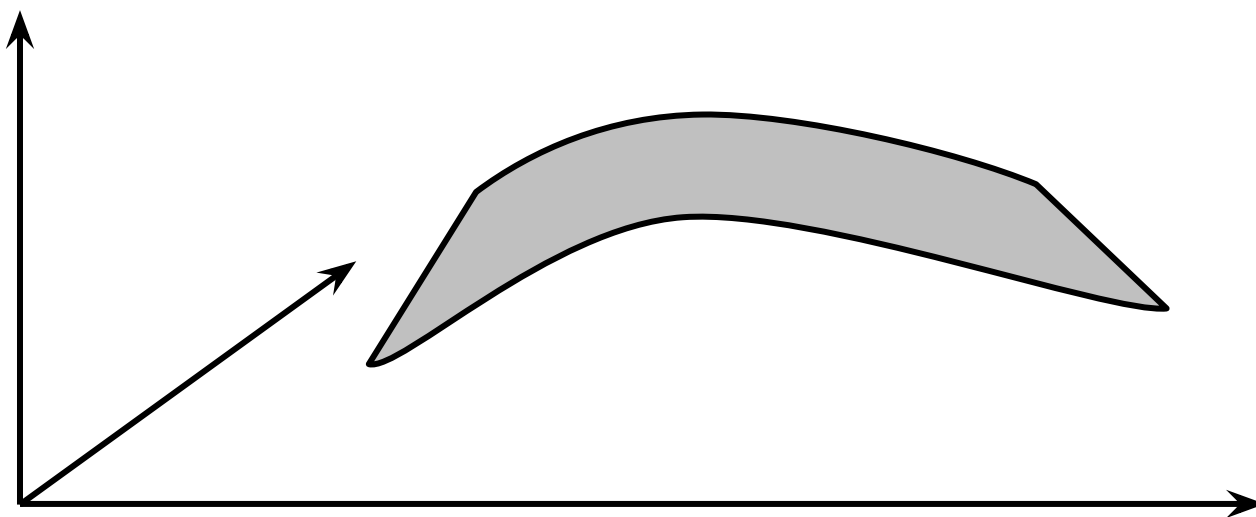
# Полином 1-ой степени

- Полином первой степени ( $m = 1$ )  $z_0 = a + bx + cy$  описывает наклонную плоскую поверхность и для своего определения требует знания высот всего лишь 3 точек.



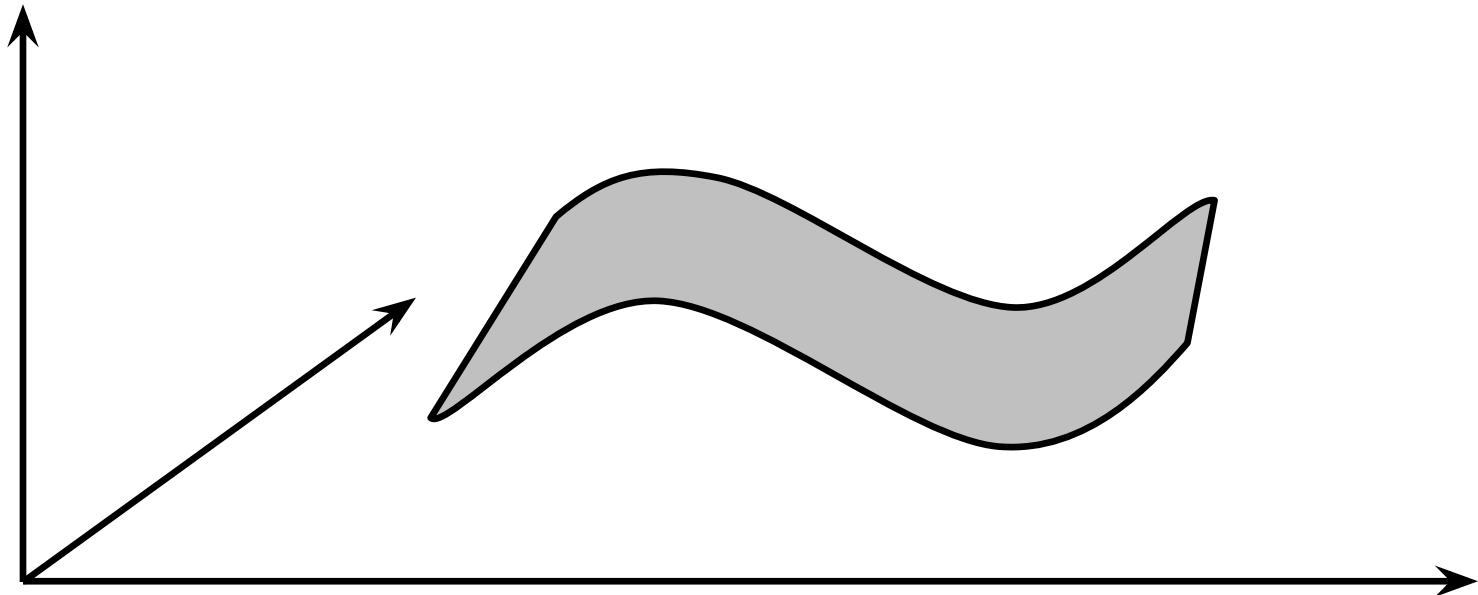
# Полином 2-ой степени

- Полином второй степени ( $m = 2$ )  $z_0 = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2$  способен представлять поверхности с одним экстремумом (например, положительную или отрицательную форму) и требует знания высот 6 точек.



# Полином 3-ей степени

- Полином третьей степени ( $m = 3$ )  $z_0 = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2 + gx^3 + hx^2y + ixy^2 + jy^3$  представляет поверхности с одним максимумом и одним минимумом при условии, что априори известны триады координат 10 точек. Полиномы более высоких степеней обычно не применяются.



# Кригинг.1

- В методе кригинга изменчивость высот подразделяется на три компоненты:
  - трендовую  $e$
  - автокорреляционную  $e'$
  - случайную  $e''$
- На примере одномерной функции значения высот  $z$  в точках  $x$  может быть представлено как:

$$z(x) = e(x) + e'(x) + e''(x).$$

# Кригинг.2

- Трендовая компонента отражает направленность изменений высот
  - Автокорреляционная характеризуют физически трудно объяснимую вариацию, зависящую от соседних точек
  - Случайная – некоторый статистический шум, равный постоянному значению.
- Различают простой кригинг и универсальный.
  - В простом кригинге тренд  $e(x)$  предполагается постоянным и рассматривается как средняя арифметическая высота . В универсальном кригинге тренд обычно моделируется полиномами первой или второй степени.



# Кригинг.4

