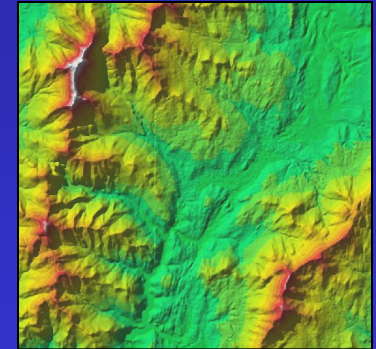
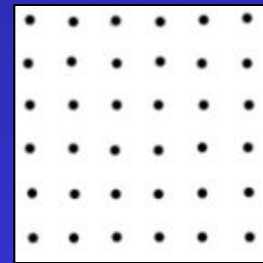


**Цифровая
модель рельефа:
создание и анализ**

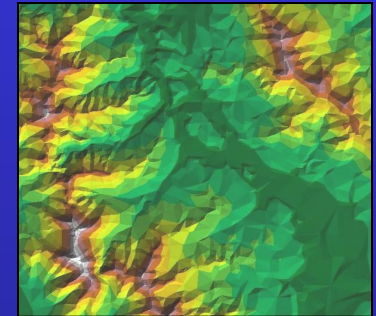
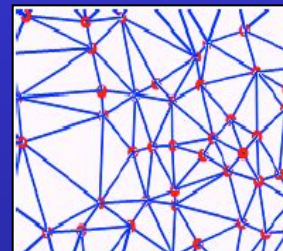
ЦМР (Цифровая Модель Рельефа, DEM) - цифровое представление 3-мерных пространственных объектов (непрерывных поверхностей, рельефов) в виде трехмерных данных с координатами X, Y, Z, расположенных

- в узлах **регулярной** сетки с образованием матрицы высот (**растровая** модель);
- в узлах **нерегулярной** треугольной сети (**TIN-модель**);
- или вдоль **горизонталей** или иных **изолиний** (**векторная** модель).

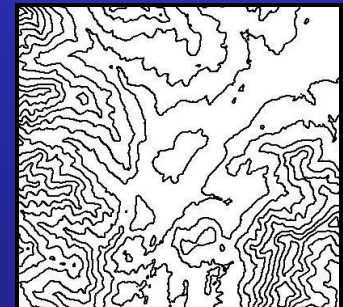
Растровая модель



TIN - модель



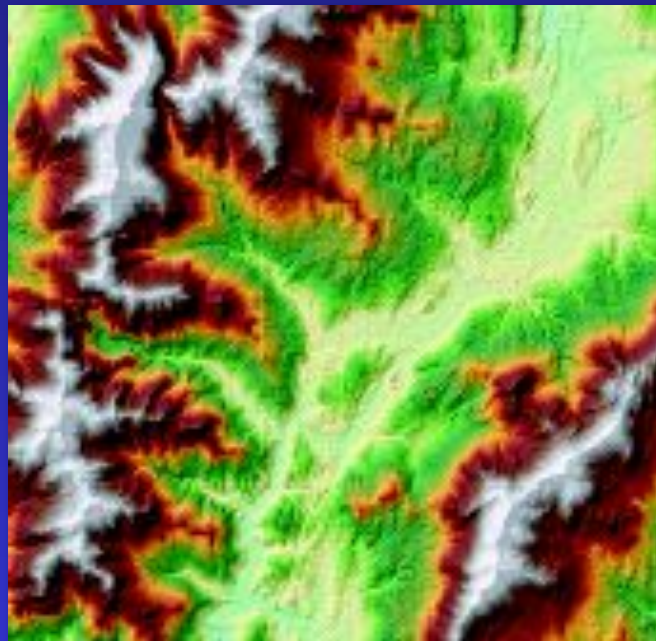
Горизонтали



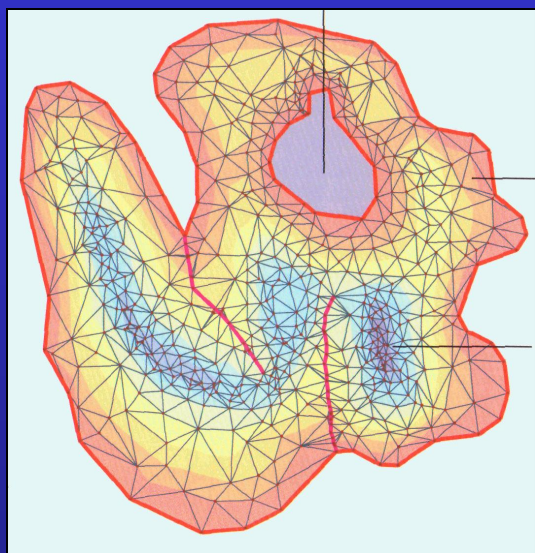
Наиболее распространенным способом построения ЦМР является **растровая модель**.

Цифровая модель рельефа

Структура растровой модели



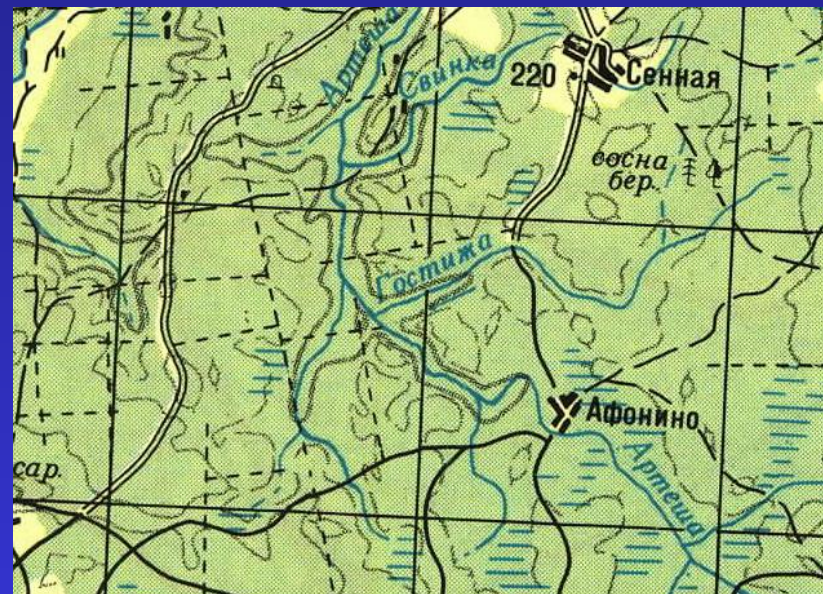
Структура TIN-модели



Источники данных для создания ЦМР:

- топографические карты;
- данные дистанционного зондирования;
- GPS.

Топографическая карта с *высотными отметками* и *горизонталями*



Приемник GPS



Космический снимок



Цифровая модель рельефа SRTM

получена посредством радарной топографической съемки в рамках Shuttle Radar Topographic Mission (радарная система, установленная на космическом шатле **Endeavour**, проводила съемки в течении 11 дней в феврале 2000г.).

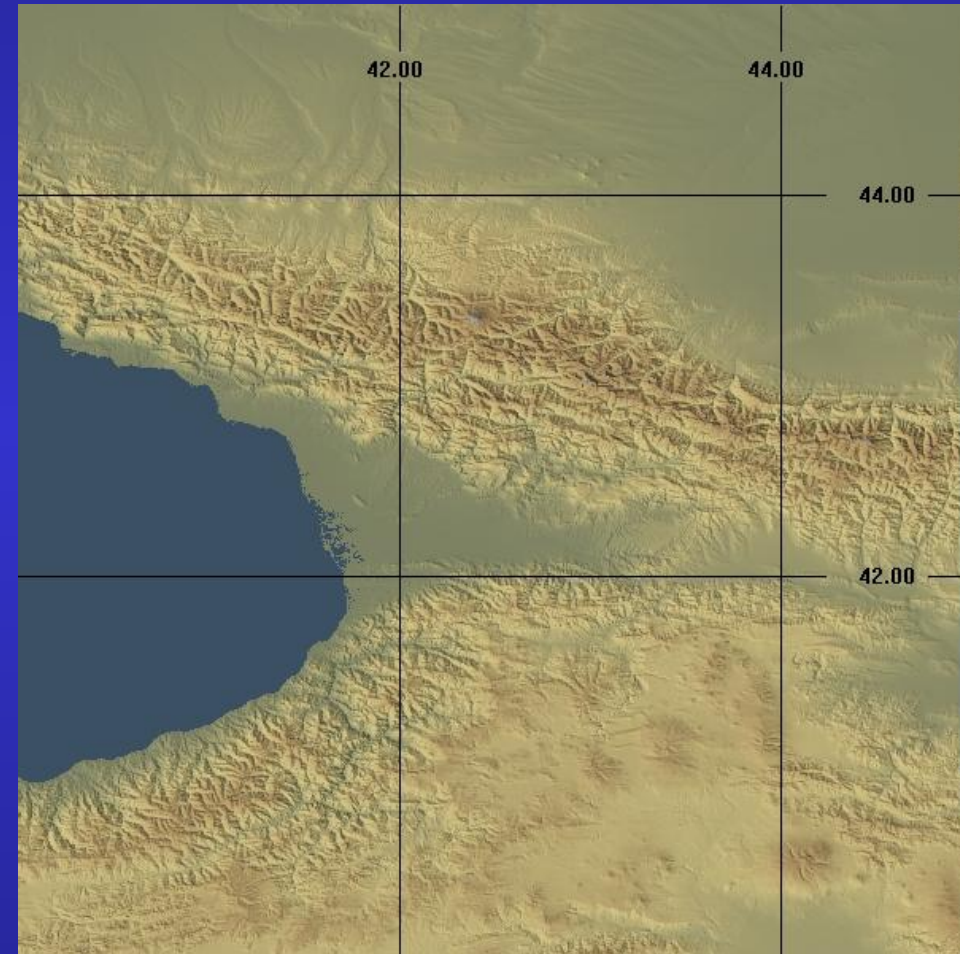
Целью SRTM было получить ЦМР с **высоким разрешением**, покрывающую большую часть земной поверхность (от 56°S до 60°N, что составляет **>80%**).

Открытые данные SRTM:

- имеют пространственное разрешение 3 сек ($\approx 90\text{м}$),
- вертикальная ошибка $<20\text{м}$,
- распределяются свободно через Интернет,
- широко используются в ГИС.

ЦМР (SRTM)

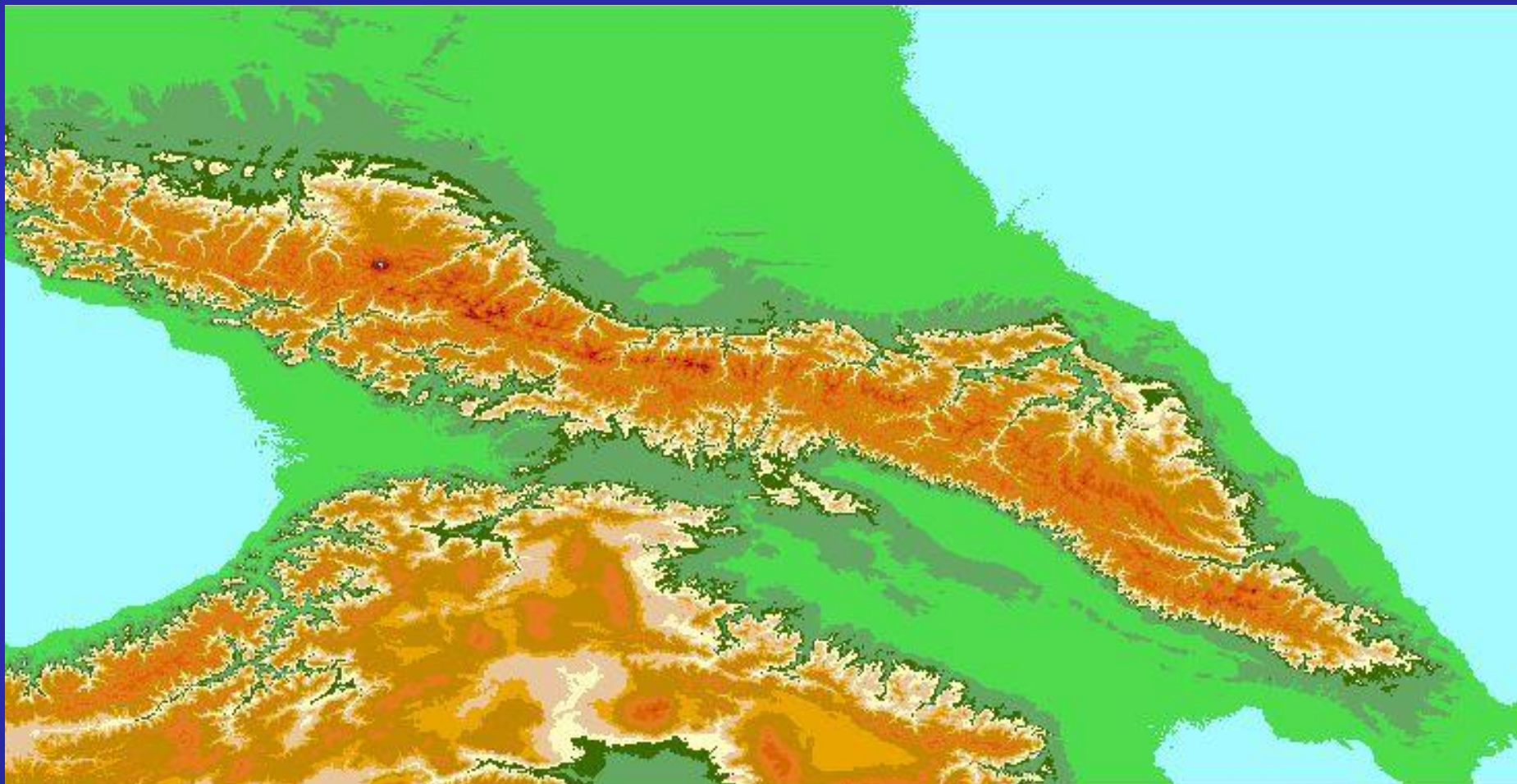
(Кавказ, 5°x5°)



ЦМР (SRTM)
(Кавказ, 10°x5°)

N45E40

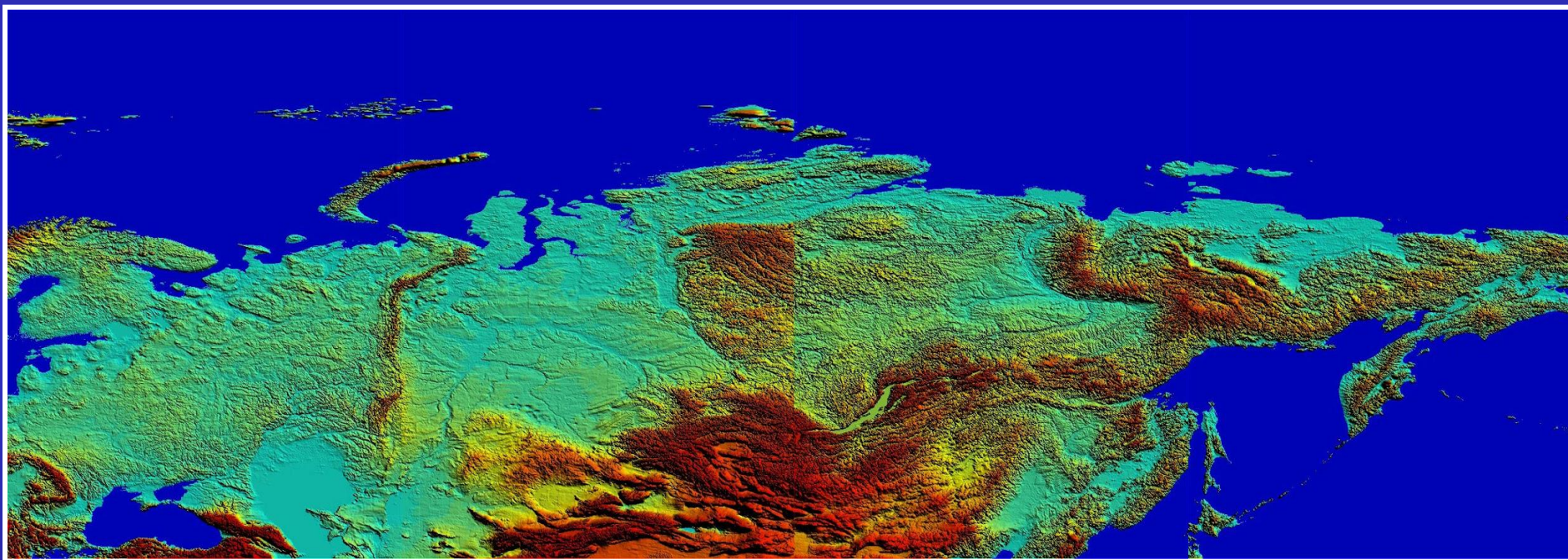
N45E50



N40E40

N40E50

ЦМР России (географическая система координат)

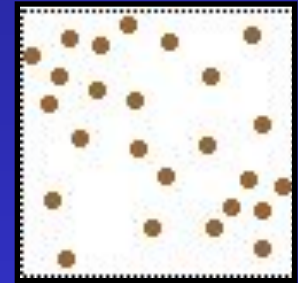


Интерполяция поверхностей – это процесс *прогнозирования* значений для точек, где нет измеренных значений, по *ограниченному набору опорных точек* с известными значениями.

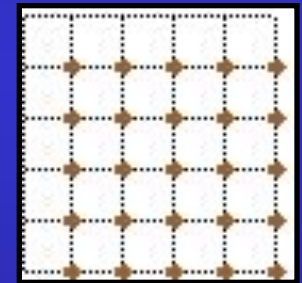
Чтобы создать модель *непрерывной поверхности*, необходимо множество регулярно расположенных точек, но сделать измерения в каждой **невозможно!**

□ Вместо этого берется **выборка точек**, для которых определяются значения (высота, концентрация и т.п.):

- **случайная** выборка – когда каждое место одинаково вероятно, чтобы быть выбранным;
- **регулярная** - проводится согласно правилу (например, через каждый 1 км);
- **упорядоченная** - когда известно, что генеральная совокупность содержит существенно различные подсовкупности.

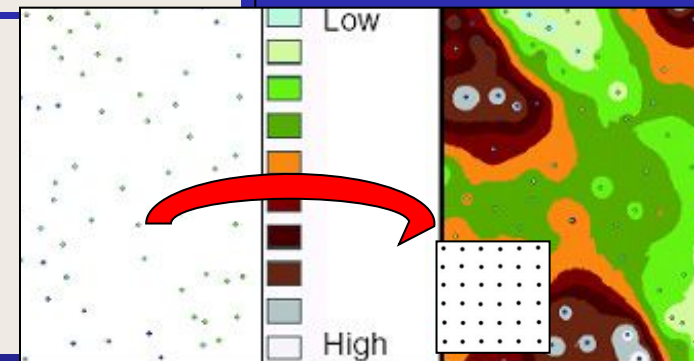


Случайная выборка



Регулярная выборка

□ Затем используются различные методы **интерполяции**, чтобы предсказать значения *во всех точках растра по ограниченному набору опорных точек* с известными значениями.



Замечания:

- Чем больше опорных точек и чем шире они распространены по поверхности, тем *достовернее* результаты интерполяции.
- **Интерполяция** основана на предположении, что чем *ближе* расположены точки, тем *больше похожи их свойства* (атрибуты) и наоборот.

Пространственная автокорреляция определяет зависимость между близкими и отдаленными пространственными объектами (пространственную структуру данных):

- **положительная** пространственная автокорреляция - это автокорреляция, при которой пространственно **близкие** объекты имеют **сходные атрибуты**;
- **отрицательная** – наоборот;
- **нулевая** - когда атрибуты объектов **не зависят от их положения**.

Методы интерполяции поверхностей

Поверхность можно представить

- либо как функцию $z = F(x,y)$, где X и Y - координаты точки,
- либо как *поле случайных величин*.

В связи с этим существует две **основные группы методов интерполяции**:

- **Детерминистские** методы - используют для интерполяции **математические функции** и не имеют **случайной компоненты**.
- **Геостатистические** - основываются на математических и **статистических** моделях, учитывающих **пространственную автокорреляцию** между опорными точками.

Методы геостатистики позволяют не только **построить поверхность**, но и количественно **оценить точность интерполяции**.

Четыре *основных* метода интерполяции:

- Метод *обратных взвешенных расстояний* (ОВР);
- *Сплайн*;
- *Тренд* (или *метод глобального полинома*);
- **Кригинг** (**геостатистический** метод).

Детерминистские
методы

Разновидности детерминистских методов интерполяции

В зависимости от **количества используемых опорных точек** выделяют:

- **глобальные** методы - вычисляют искомые значения с использованием *всего набора* опорных точек (метод глобального полинома);
- **локальные** методы - вычисляют неизвестные значения по опорным точкам, расположенным в *окрестностях* искомой (ОВР, сплайн).

В зависимости от того, **проходит или не проходит** поверхность, построенная с помощью детерминистских методов, **через опорные точки**, выделяют:

- **жесткий** интерполятор - дает в опорной точке значение, равное измеренному (методы ОВР и сплайн).
- **нежесткий** интерполятор - дает в опорной точке значение, отличное от измеренного, т.е., аппроксимирует значение в опорной точке (**глобальный полином**).

□ Метод обратных взвешенных расстояний

Рассчитывает значение каждой ячейки раstra, *усредняя* значения *опорных точек* в *заданной окрестности* данной ячейки, при условии, что чем *ближе* точка находится к центру расчетной ячейки, тем *больше ее вклад* (вес) в интерполируемое значение по сравнению с более удаленными.

Вес каждой опорной точки - *обратная функция расстояния* в некоторой степени (как правило, 2):

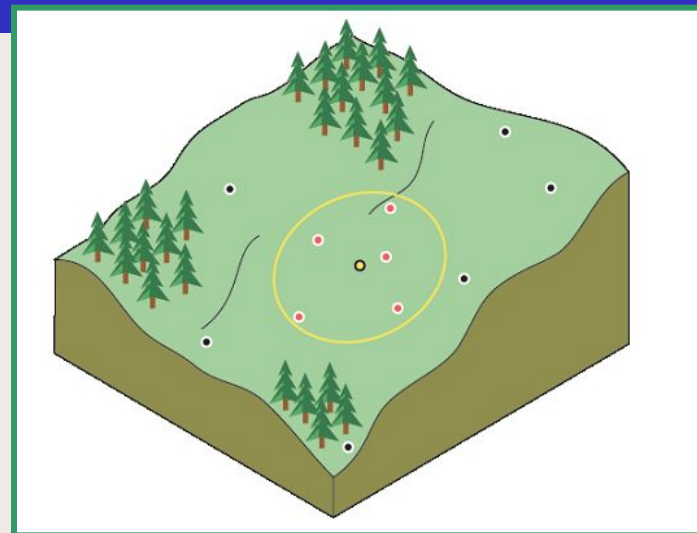
$$z = \sum_{j=1}^n w_j z_j / \sum_{j=1}^n w_j$$

где

z - рассчитываемое *средневзвешенное* значение обрабатываемой ячейки,

z_j - значения опорных точек, попавших в заданную окрестность,

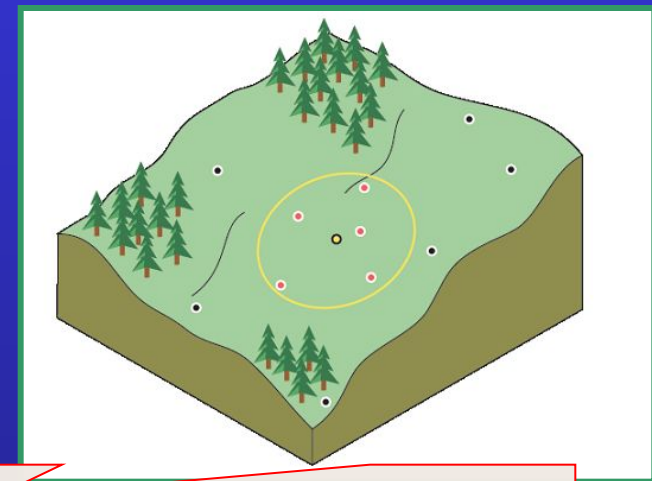
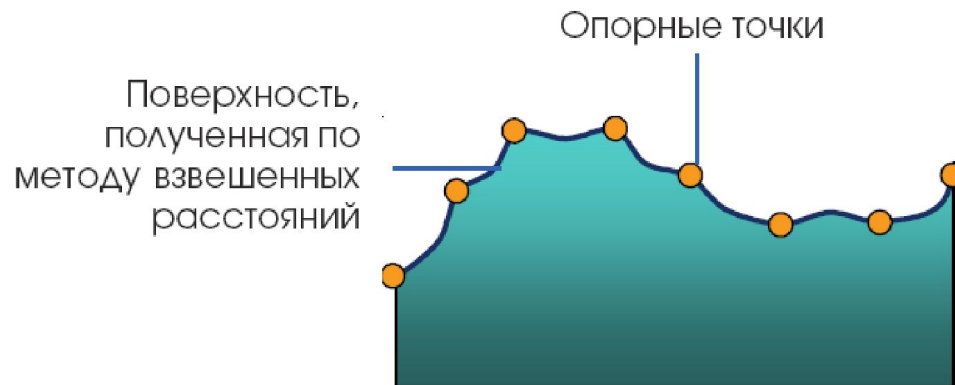
w_j (вес j -ой точки) – некоторая *обратная функция расстояния* (например, $w_j = 1/r_j^2$).



Метод обратных взвешенных расстояний

Чем *больше* степень обратной функции расстояния ($w=1/r^n$), тем большее влияние имеют ближайšie точки и меньшее - удаленные. В результате поверхность становится *более детальной* и *менее сглаженной*.

- Метод ОВР с *достаточной точностью* интерполирует поверхность, если точки опробования распределены относительно равномерно и поверхность однородна.



ОВР- жесткий
локальный
интерполятор

Метод **ОВР** никогда не даст значений, которые будут выше максим. или ниже минимальных значений опорных точек!

Метод обратных взвешенных расстояний

Для расчета значений каждой ячейки может использоваться:

- либо **фиксированный** радиус поиска опорных точек с **переменным** количеством опорных точек
- либо **переменный** радиус с **фиксированным** количеством опорных точек (ищутся ближайшие точки до тех пор, пока не будет найдено заданное их число).

- При **фиксированном** радиусе *возможно* задание **минимального количества опорных точек**, необходимых для расчета.

Если в пределах установленного радиуса точек меньше заданного минимума, тогда радиус расширяется настолько, чтобы вмещать их мин. количество.

- При **переменном** радиусе *возможно* задание **максимального расстояния поиска**.

Если в пределах макс. радиуса не существует заданного количества точек, тогда используется только найденное их число).

Методы интерполяции поверхностей: ОВР

Фиксированный
радиус

Переменный радиус с
фиксированным числом точек

Интерполировать поверхность

Метод

Поле значений Z

Ближайшее соседство Фиксированный радиус

Число соседей

Степень

Барьеры

Интерполировать поверхность

Метод

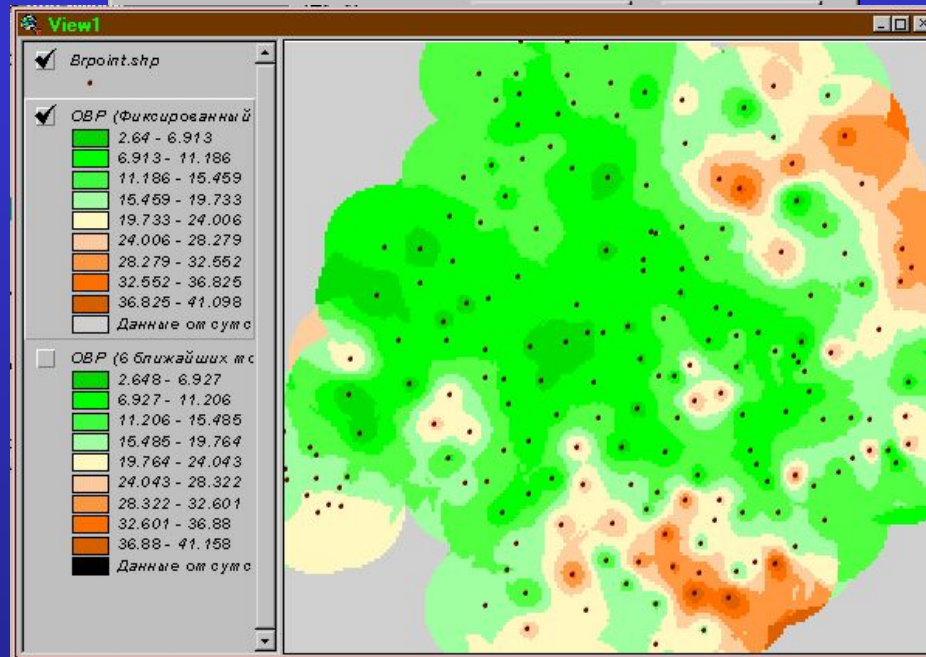
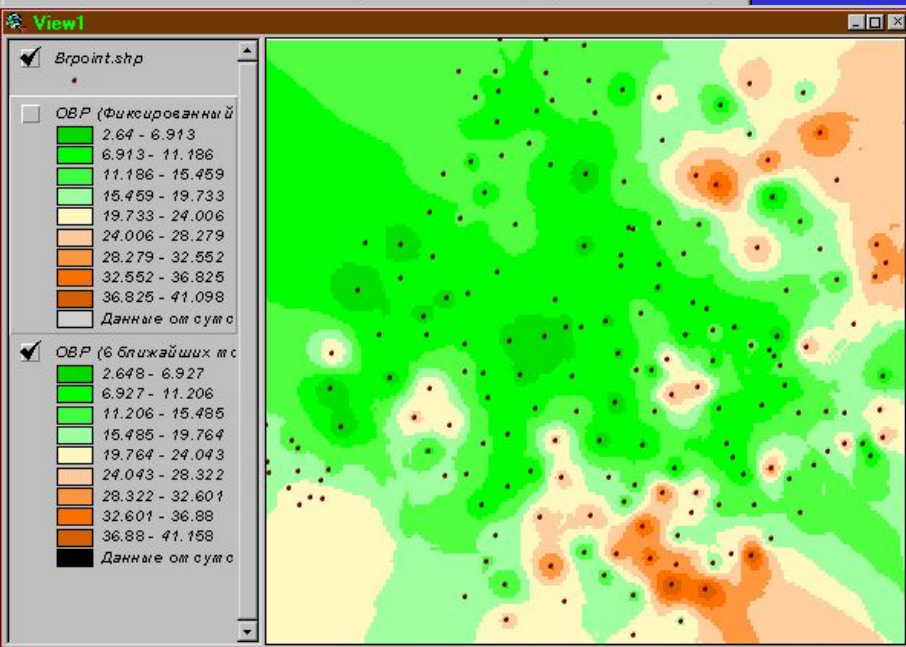
Поле значений Z

Ближайшее соседство Фиксированный радиус

радиус м

Степень

Барьеры



✓ **Тренд-интерполяция** – создает поверхность, подбирая математическую функцию (полином заданного порядка) *ко всем входным точкам **методом наименьших квадратов***.

При этом результирующая поверхность $f(x,y)$ *минимизирует отклонения от входных опорных точек* (чем меньше среднеквадратическая ошибка между рассчитанными и входными значениями, тем точнее интерполированная поверхность представляет входные точки).

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum [z_i - f(x_i, y_i)]^2 \rightarrow \min$$

Полученная поверхность *редко когда проходит через заданные опорные точки*.

✓ Используется, когда больше интересуют *общие тенденции* поверхности, а не точное моделирование мелких локальных неровностей, при этом моделируемый атрибут в пределах изучаемой территории должен меняться медленно.

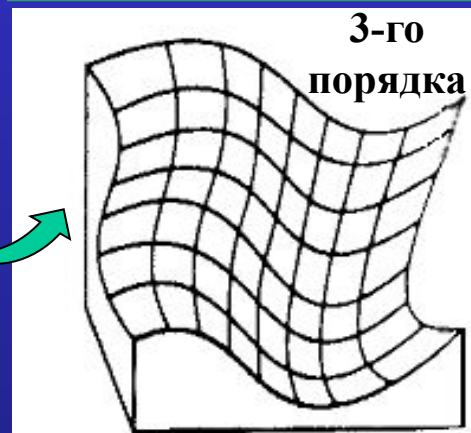
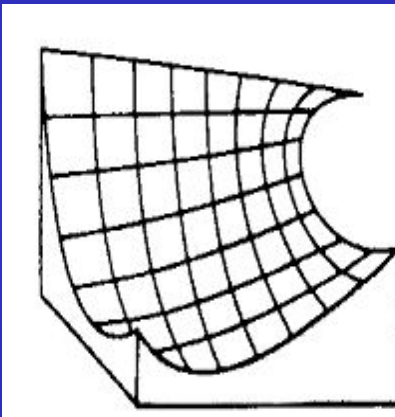
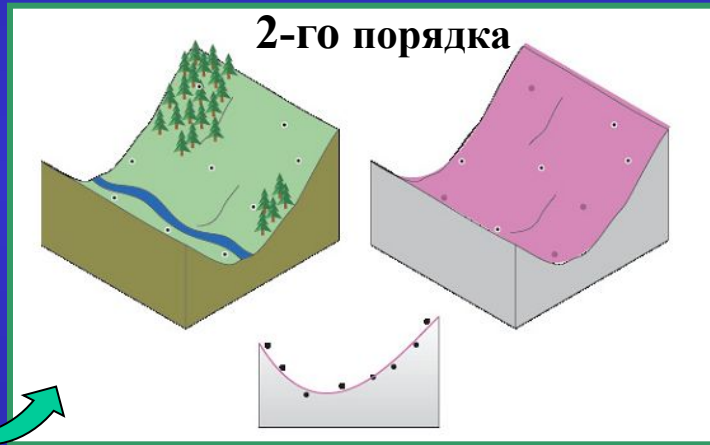
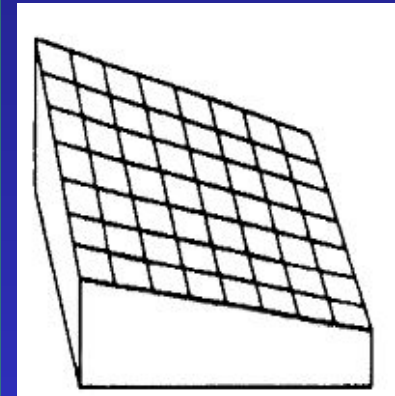
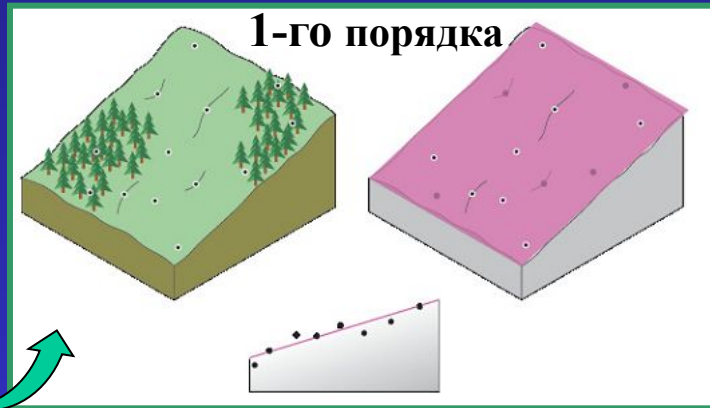
Тренд-интерполяция (или метод глобального полинома)

Степень используемого полинома определяет **величину волнистости поверхности**:

□ полином 1-го порядка - это плоскость, расположенная под некоторым углом (поверхность имеет **тенденцию** в одном направлении);

□ полином 2-го порядка строит поверхность с одним изгибом

□ полином 3-го порядка создает поверхность с двумя

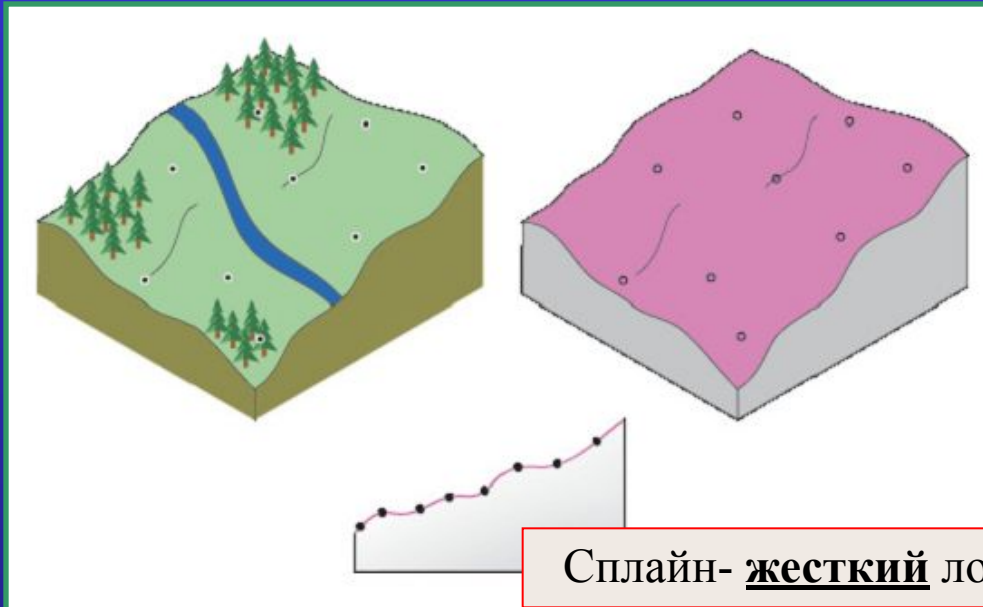


Метод тренда - нежесткий глобальный интерполятор!

✓ **Сплайн-интерполяция** - создает поверхность с *минимальной кривизной*, **точно** проходящую через заданные опорные точки.

(Аналогия с куском тонкой растягиваемой резины, проходящей через заданные точки с минимизацией общей кривизны поверхности).

Сплайн-метод позволяет строить поверхности, учитывающие глобальный тренд наряду с локальными вариациями.



Минимальная кривизна поверхности означает, что *сумма квадратов величин второй производной*, взятых в каждой точке поверхности, должна быть *минимальной*.

Сплайн- **жесткий** локальный интерполятор!

Сплайн-интерполяция

Сплайн - это *кусочно-заданная функция*, совпадающая с функциями более простой природы на каждом элементе разбиения своей *области определения*.

При **сплайн-интерполяции**:

- все пространство делится на *равные участки* для *локальной аппроксимации*;
- для каждого участка подбирается математическая функция

(алгебраический полином $\sum_I c_I x^{i_1} y^{i_2}$), точно проходящая через уточненное количество ближайших опорных точек;

- максимальная степень из использованных полиномов называется **степенью сплайна**.

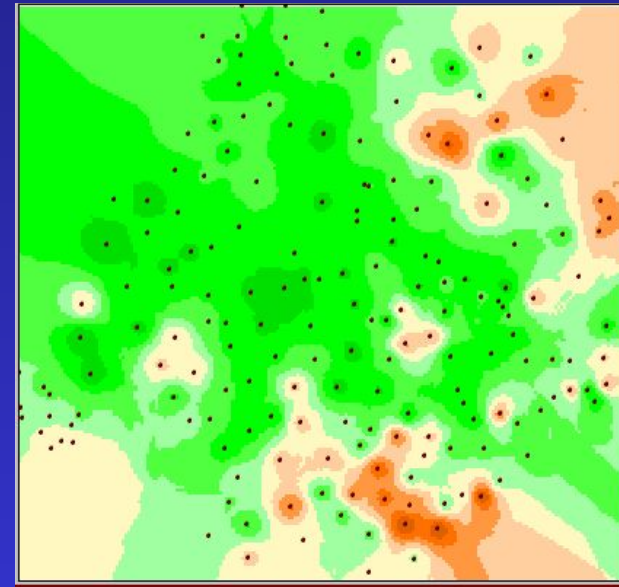
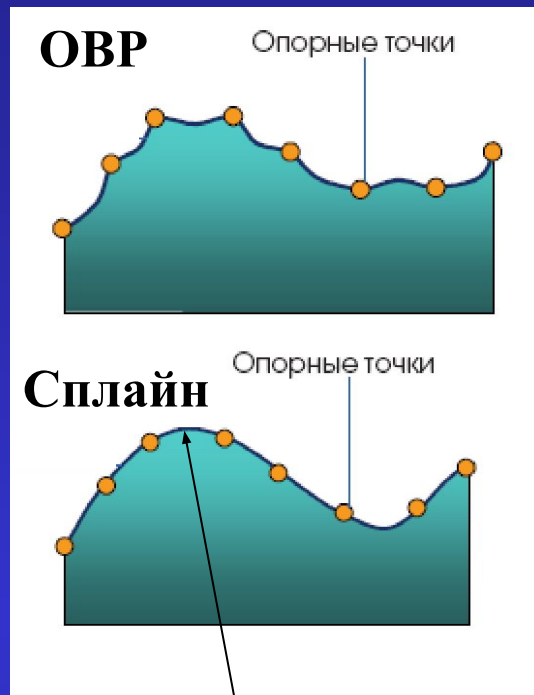
Метод обеспечивает **гладкость** поверхности - ее непрерывность, дифференцируемость и непрерывность первой производной.

□ Лучше всего подходит для **плавно изменяющихся поверхностей** (рельеф, концентрация загрязнений).

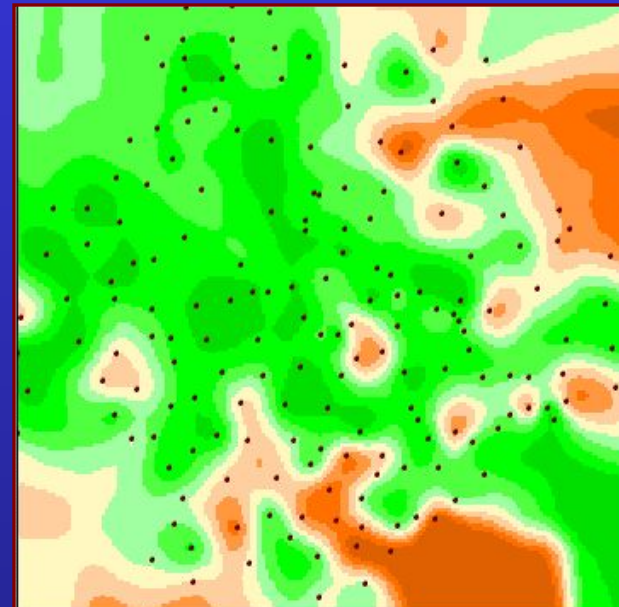
□ **Не годится** для поверхностей с **резкими изменениями**.

Методы интерполяции поверхностей: Сплайн

ОВР



Сплайн



В отличие от ОВР, сплайн-интерполяция может давать значения выше максимальных и ниже минимальных измеренных значений.

✓ **Кригинг** - ключевой метод *геостатистики* для анализа пространственно-распределенных данных.

Основывается на гипотезе *пространственной однородности* («стационарность 2-го порядка»):

- пространственная изменчивость, представленная значениями Z в исходных опорных точках, *статистически однородна по всей поверхности*;
 - вариации в значениях исходных опорных точек зависят от *расстояния между ними*, но не зависят от их местоположения.
- ✓ Наборы точек, включающие *аномальные* впадины, высоты или другие какие-либо резкие изменения, *не предназначены* для кригинг-метода.

Кригинг обрабатывает поверхность, считая пространственные изменения значений $Z(s)$ в точках s в **общем случае** суммой *трех компонент*:

$$Z(s) = m(s) + e(s) + \delta, \text{ где}$$

- $m(s)$ - **структурная (неслучайная) компонента**, которая представляет поверхность как общий **тренд** в определенном направлении и может быть описана какой-либо математической функцией.

Например, пологий склон (наклонная плоскость) может быть представлен полиномом 1-го порядка, долина U-образной формы - полиномом 2-го порядка.

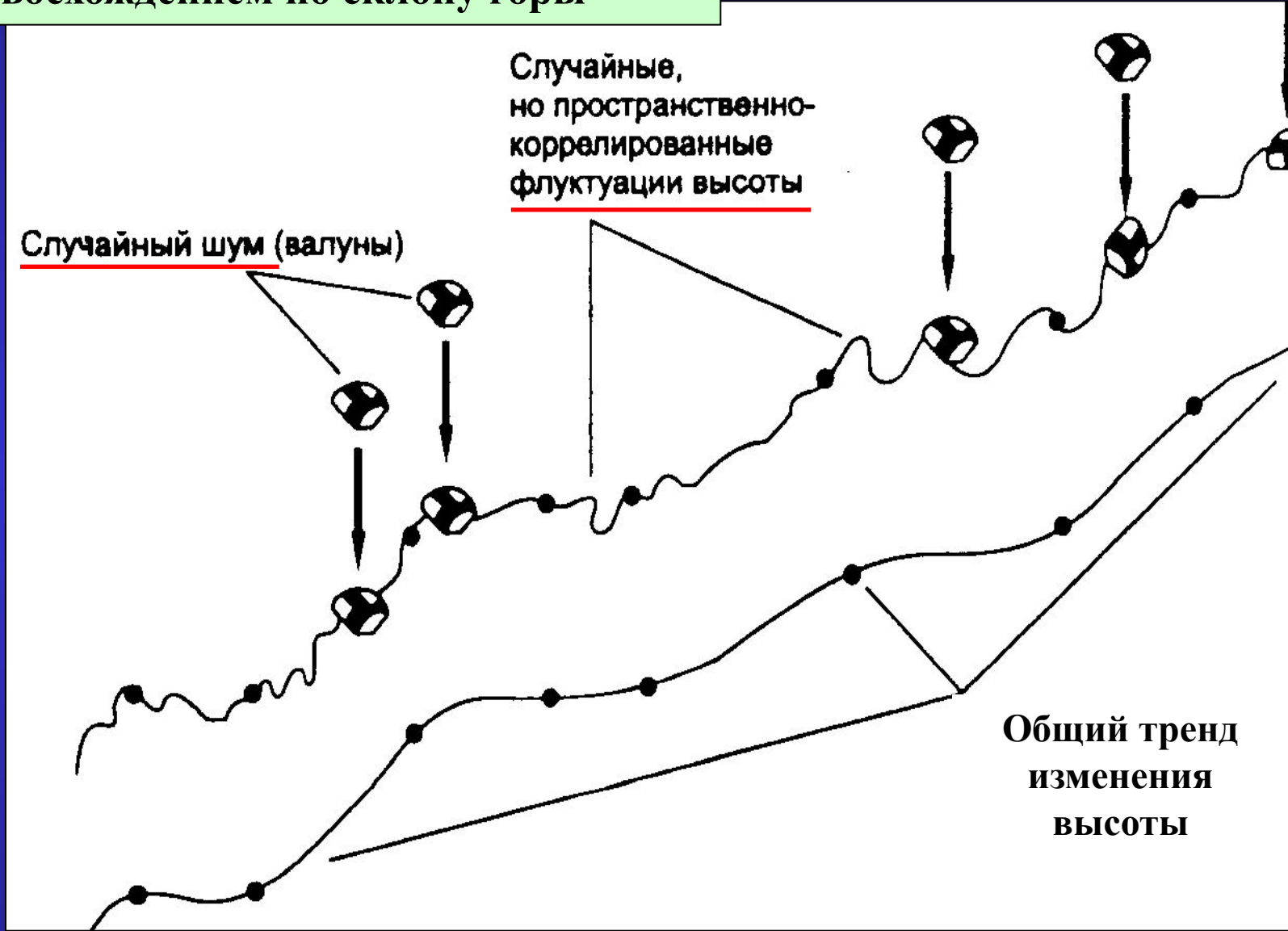
- В большинстве случаев использования метода Кригинга считается, что данные **не содержат** никакой *тенденции*.

- $e(s)$ - **случайная, но пространственно-коррелированная компонента** - некоторые отклонения от общей тенденции (тренда), которые являются случайными, но связанными друг с другом пространственно. **Предположения**, которые делаются относительно данной компоненты:

- среднее всех $e(s) = 0$;
- вариации значений $e(s)$ и $e(s+h)$ в любых точках s и $(s+h)$ зависят от смещения h (расстояния между точками), но не зависят от местоположения точек);

- δ - **случайный шум**, не связанный с *общей тенденцией* и не имеющий *пространственной автокорреляции* (остаточная ошибка)₂₂

Элементы Кригинга, иллюстрируемые восхождением по склону горы

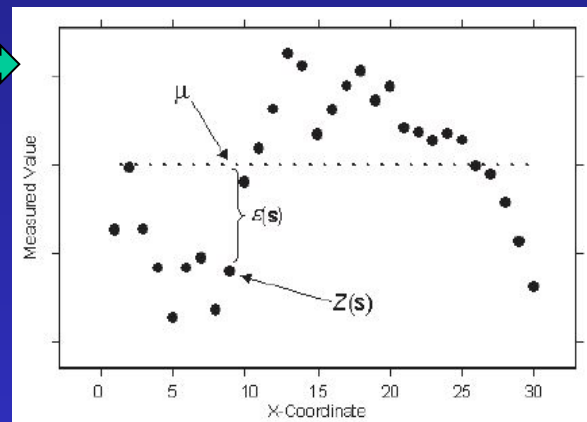


Основные виды Кригинга:

- **Ординарный:**

$$Z(s) = m + e(s),$$

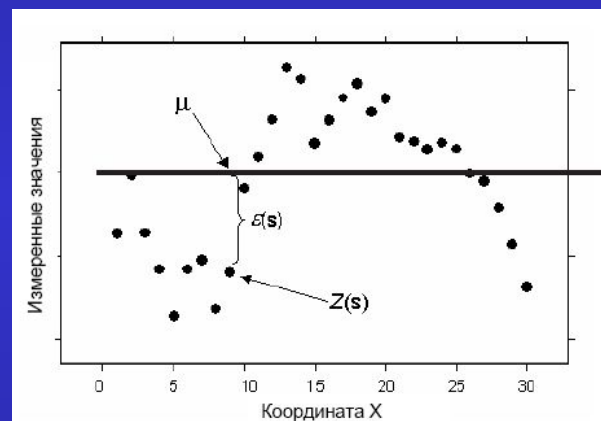
где m – неизвестная константа
(неизвестное постоянное
среднее всех значений $Z(s)$)



- **Простой**

$$Z(s) = m + e(s),$$

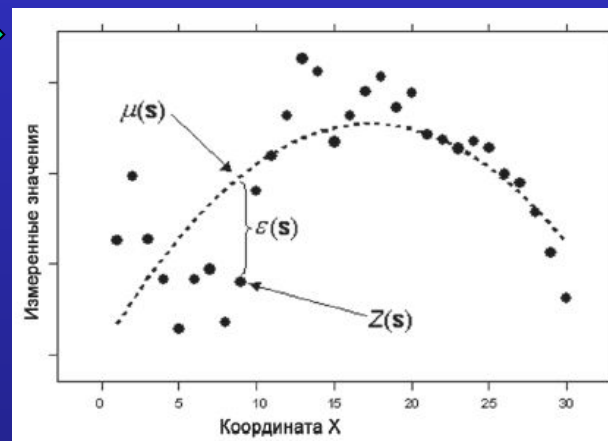
где m – известная константа
(известное среднее)



- **Универсальный:**

$$Z(s) = m(s) + e(s),$$

где $m(s)$ – некоторая
детерминистская функция
(данные имеют тренд!)



Методы интерполяции поверхностей: Кригинг

В методе Кригинга для определения *неизвестного значения в некоторой точке* значения исходных опорных точек, попавших в некую *окрестность* вокруг обрабатываемой точки, **взвешиваются** :

$$(*) \quad Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$$

где Z_0 – прогнозируемое значение в некоторой точке (s_0);

Z_i – известное значение i -ой опорной точки (s_i);

n – число опорных точек, попавших в окрестность искомой точки;

λ_i – **неизвестный** вес i -ой точки.

- Если поверхность имеет **тренд** (компоненту m), тогда из анализа значений в опорных точках **тренд вычитается** и моделируется (*) только **случайная компонента** $e(s)$; перед окончательным интерполированием поверхности тренд добавляется обратно.

- В методе Кригинга (в отличие от ОВР) **веса** опорных точек в окрестности искомой точки зависят не только от **расстояния** между опорной точкой и искомой, но и от **пространственной структуры данных в целом**.

Поэтому для установления весов λ_i в Кригинге сначала необходимо определить **пространственную структуру данных**, т.е. количественно установить **пространственную автокорреляцию данных**.

Кригинг включает *2 основные задачи*:

1. установить пространственную структуру данных - подобрать к данным модель пространственной изменчивости (вариограмму).

Вариограмма - это функция, которая связывает **различие** в значениях опорных точек и **расстояние**, на которое они отстоят друг от друга.

– Служит *средством для исследования* пространственной автокорреляции (связей) между точками.

2. построить поверхность, используя для расчета (*прогноза*) неизвестных значений подобранную вариограмму, расположение и известные значения опорных точек, находящихся в пределах заданного радиуса поиска вокруг точки с искомым значением.

Этапы интерполяции по методу Кригинга:

1. Расчет эмпирической семивариограммы

по набору исходных опорных точек ("semi"- половина):

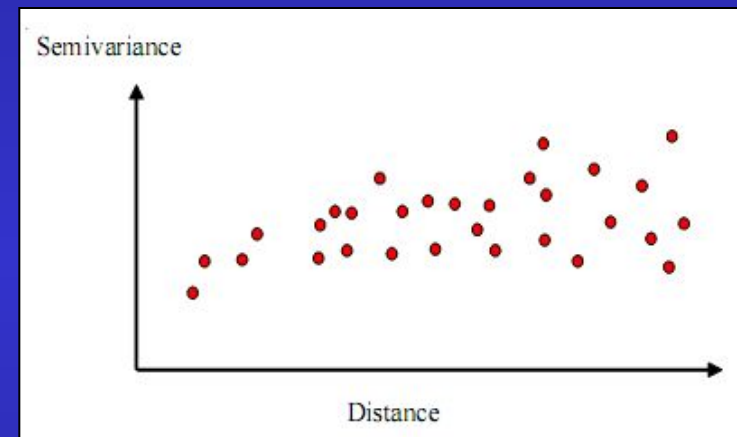
- *по оси X* откладывается расстояние h между парами точек,
- *по оси Y* - значение $\gamma(h)$, равное $1/2$ **среднеквадратической разности значений Z** между **всеми** парами исходных опорных точек, расположенных на расстоянии h друг от друга:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z_i - z_{i+h})^2$$

где

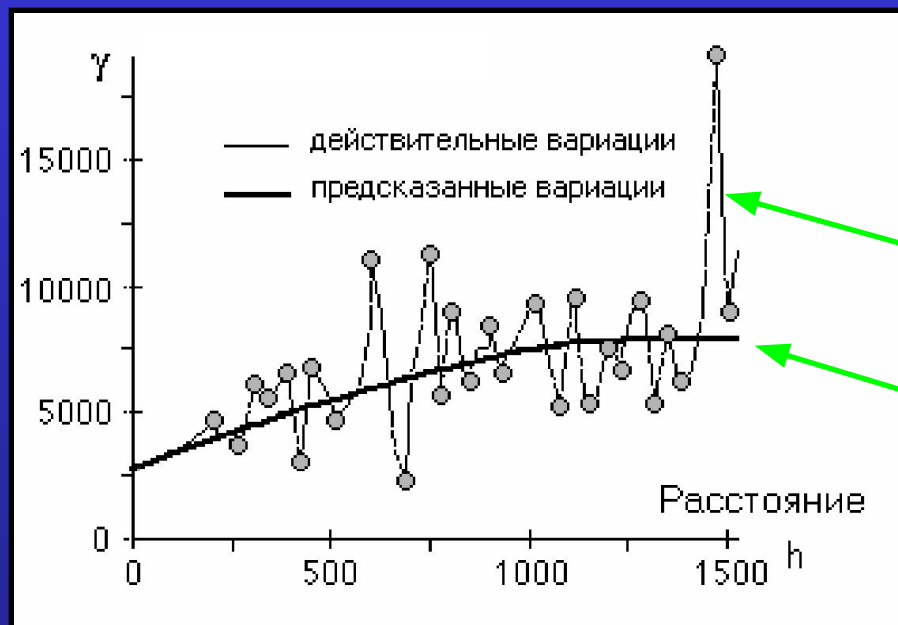
z_i, z_{i+h} – значения в опорных точках $i, (i+h)$, находящихся на расстоянии h друг от друга,
 n – число пар таких опорных точек.

График эмпирической семивариограммы



2. Подбор теоретической функции к полученной *эмпирической* семивариограмме (по методу наименьших квадратов).

(*Варианты* возможных функций для подбора модели **вариограммы**: круговая, сферическая, экспоненциальная, гауссова и линейная.)

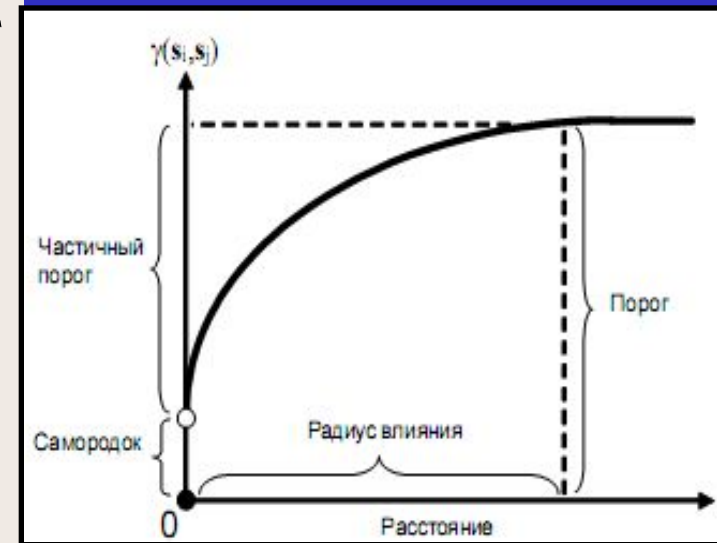


Графики семивариограмм:

эмпирическая
и
подобранная

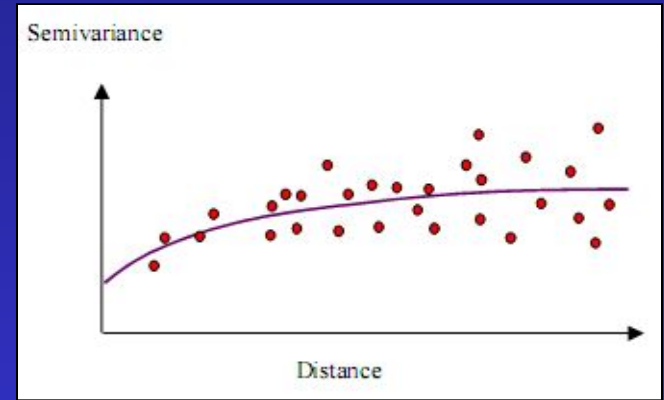
Характеристики вариограммы:

- **Радиус влияния (корреляции)** - расстояние, на котором модель начинает выравниваться. Точки, разделенные расстоянием меньше радиуса влияния, **пространственно автокоррелированы**, а точки на расстоянии больше радиуса влияния - **нет**.
- **Порог** - значение (на оси y), на котором вариограмма достигает радиуса влияния.
- **Частичный порог** – это порог минус эффект самородка.
- **Эффект самородка** - значение больше нуля, часто появляющееся в вариограмме при бесконечно малом расстоянии (*хотя теоретически при расстоянии, равном 0, значение вариограммы должно быть 0*). Может быть связан как с ошибками измерения, так и с вариациями на микроуровне.



Этапы Кригинга:

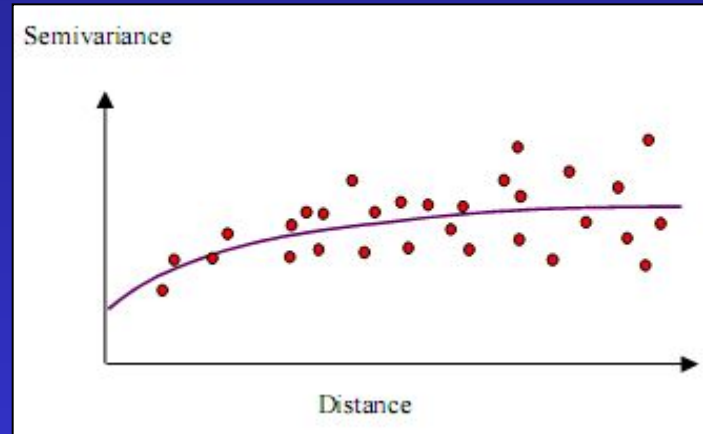
3. Нахождение весов λ_i на основе полученной модели вариограммы



4. Выполнение интерполяции - на основе рассчитанных весов кригинга λ_i и известных значений Z_i в опорных точках в пределах *заданного радиуса поиска* вычисляется значение в искомой точке

$$Z_0 : \quad Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$$

Пример: расчет весов λ_i для определения значений в искомой точке в случае ординарного Кригинга :



Теоретическая вариограмма

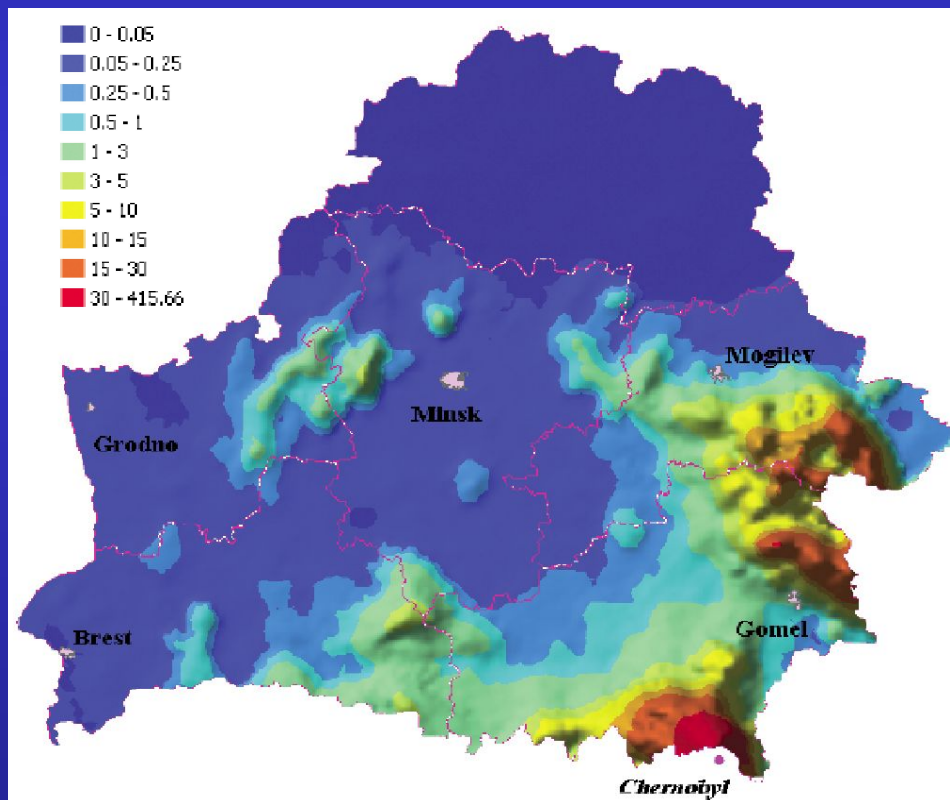
$$\begin{matrix}
 \mathbf{G} & * & \boldsymbol{\lambda} & = & \mathbf{g} \\
 \text{or} & & & & \\
 \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1N} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \dots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} & * & \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ m \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix} \\
 & & \downarrow & & \\
 & & \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{G}^{-1} * \mathbf{g} & &
 \end{matrix}$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

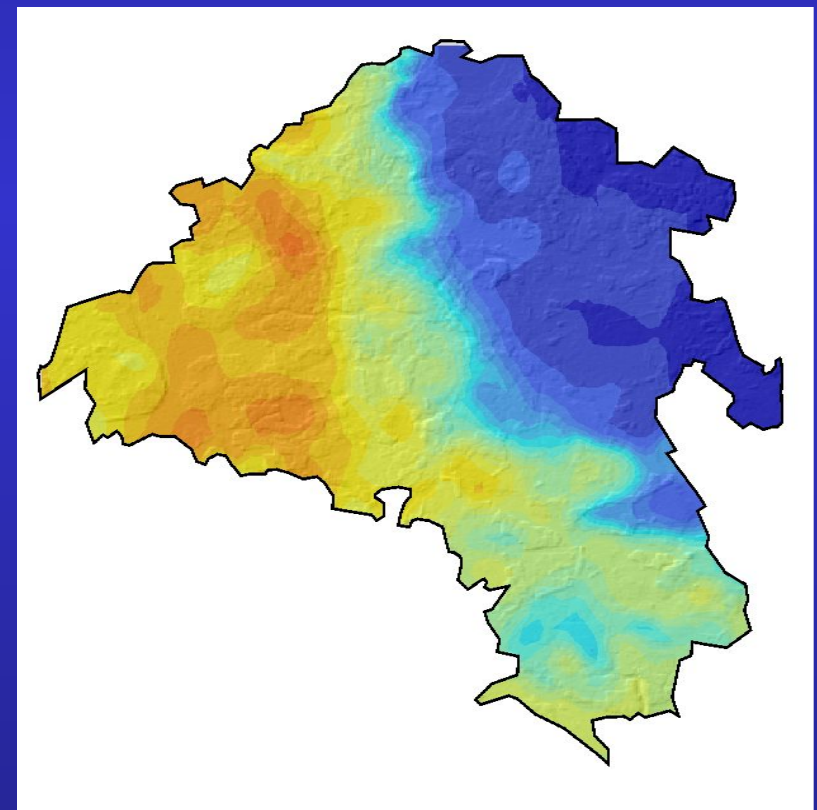
- **G (гамма-матрица)** - содержит значения вариограммы γ_{ij} , смоделированные для всех пар опорных точек (в пределах заданного радиуса поиска от искомой точки) на основе расстояний между ними;
- **g (вектор)** - содержит значения вариограммы, смоделированные для каждой пары, состоящей из опорной точки и искомой, на основе расстояний между ними.

**Карт уровней загрязнения почв
радиоактивным цезием после Чернобыльской аварии
(рассчитанные по методу Кригинга)**

Белоруссия



**Клинцовский район
(Брянская область)**



□ Анализ ЦМР включает:

получение производных данных:

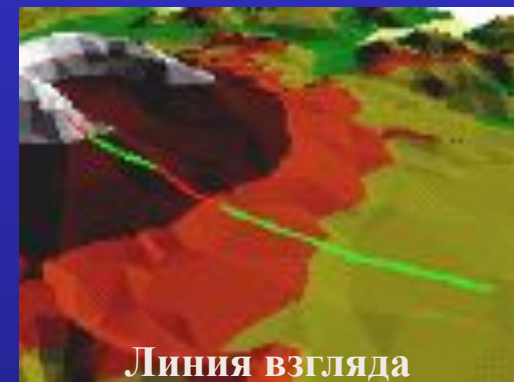
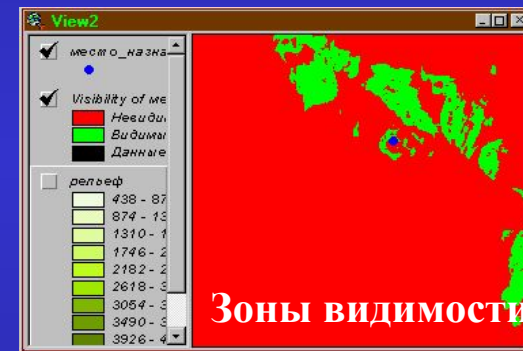
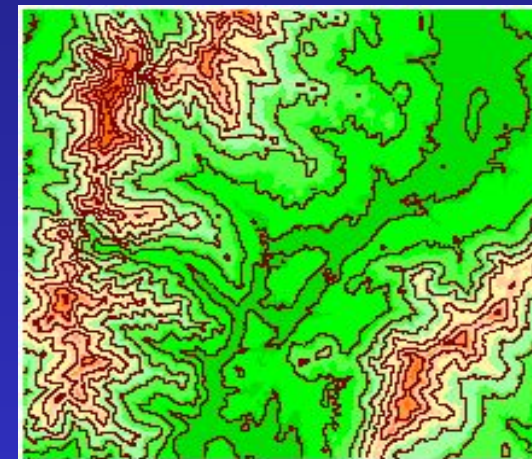
- уклон (угол наклона склона);
- экспозиция склонов (направление уклона);
- кривизна;
- отмывка рельефа

построение

- изолиний;
- зон видимости/невидимости;
- профиля поперечного сечения;
- трехмерных изображений

проведение

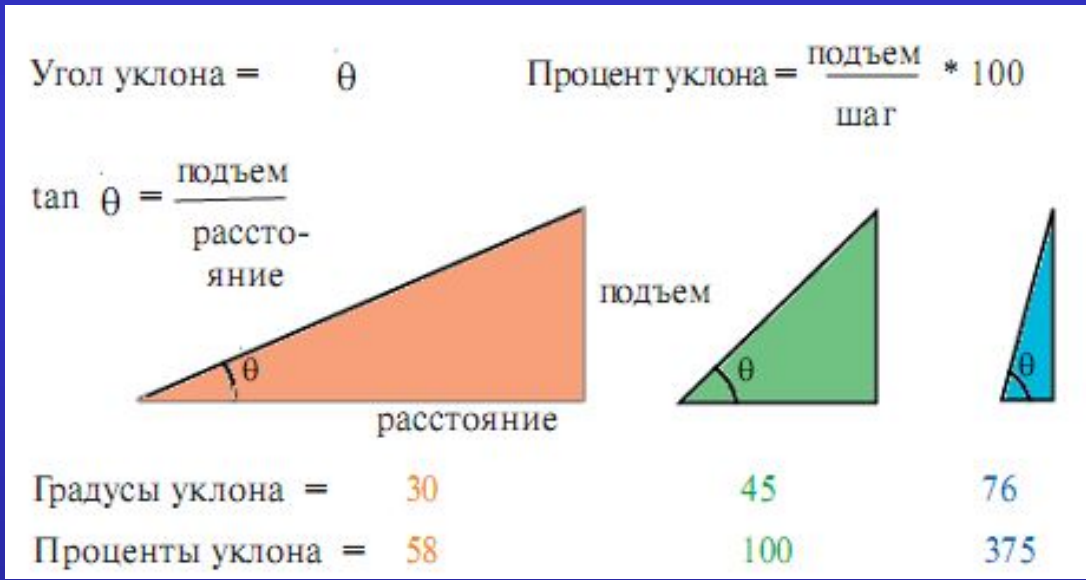
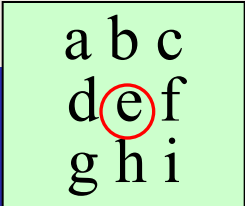
- гидрологического анализа (определение водосборных бассейнов, сетей поверхностного стока).



Функции анализа поверхности

- **Уклон** (угол наклона поверхности в некоторой точке) для каждой ячейки растра показывает максимальную скорость изменения значения от этой ячейки к ее 8 соседям. Измеряется
 - либо в **%** ($\Delta z/r * 100$, где Δz – высота подъема, r – протяженность подъема).
 - либо в **градусах** со значениями от 0 до 90 ($arctg(\Delta z/r)$),

Расчет уклона (и направления уклона) в произвольной ячейке растровой ЦМР вычисляется в ArcView с использованием значений ее 8 соседей - скользящего окна размером 3 x 3:



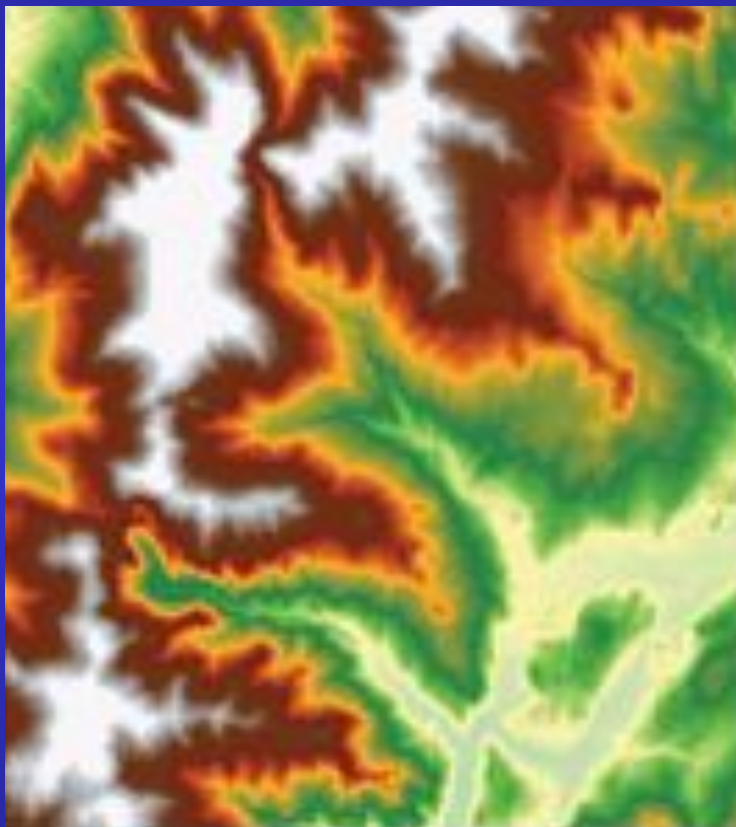
$$\Delta z/r = \text{SQRT}((dz/dx)^2 + (dz/dy)^2)$$

$$dz/dx = ((a + 2d + g) - (c + 2f + i)) / (8 * x_mesh_spacing)$$

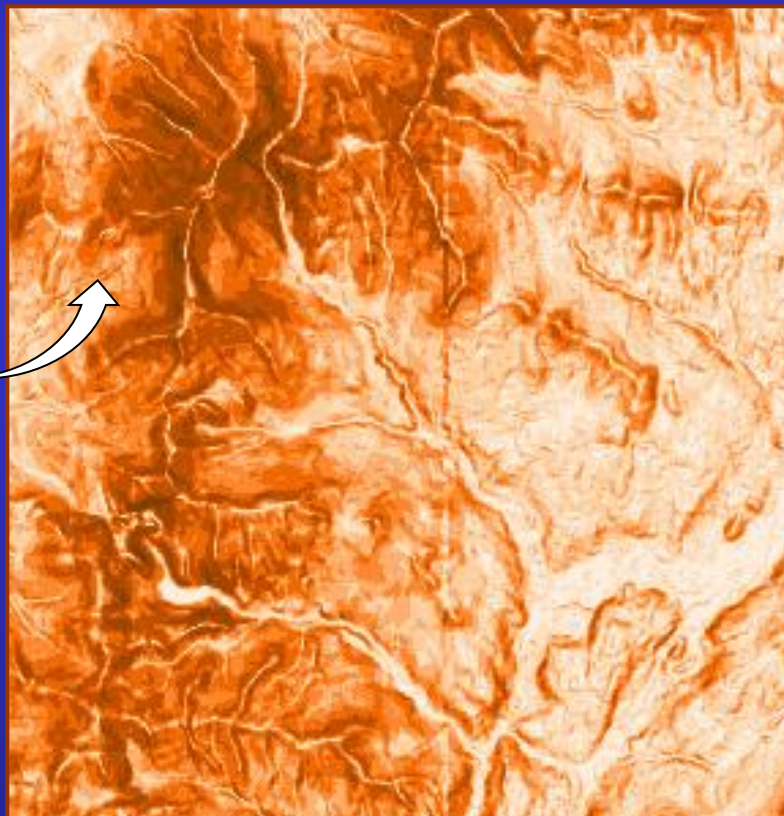
$$dz/dy = ((a + 2b + c) - (g + 2h + i)) / (8 * y_mesh_spacing)$$

Расчет уклонов рельефа в ArcView:

Грид с рельефом



Грид с уклонами

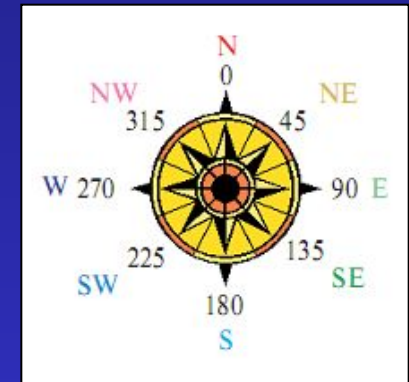


Функции анализа поверхности:

- **Экспозиция** (направление склона, *aspect*) для каждой ячейки растра определяется как направление наиболее крутого уклона от этой ячейки к ее соседям.

Характеризует пространственную ориентацию элементарного склона относительно сторон света.

При использовании ЦМР экспозиция равна азимуту проекции нормали склона на горизонтальную плоскость:

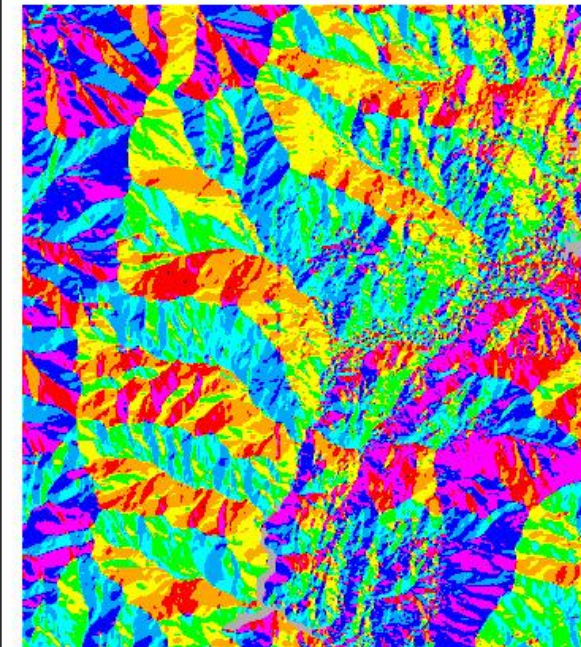
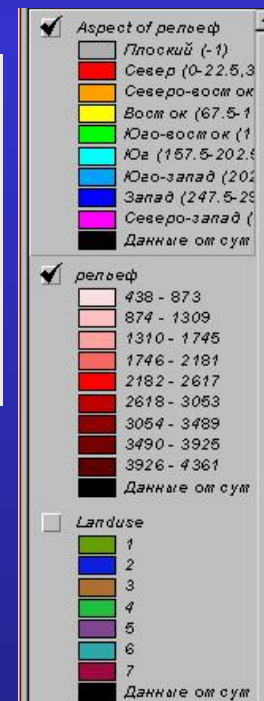


Грид с экспозицией

- измеряется в **градусах** от 0 до 360 по часовой стрелке от направления на север (0° - север, 90° - восток и т. д.);
- значение **(-1)** присваивается плоской поверхности.

Экспозиция произвольной ячейки для растровой ЦМР:

$$A = \arctg [- (dz/dx) / (dz/dy)]$$



Функции анализа поверхности:

□ **Кривизна поверхности** (*curvature*) определяет форму поверхности для каждой ячейки:

- **положительная** кривизна показывает, что поверхность в этой ячейке **выпуклая**;
- **отрицательная** соответствует **вогнутой** поверхности;
- **нулевое** значение указывает на **плоскую** поверхность.

Чтобы вычислить кривизну, для каждой ячейки и ее восьми ближайших соседей (матрицы размером 3x3) строится полином четвертой степени, а затем берется вторая производная (**уклон от уклона**):

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$
$$\text{Curvature} = -2(D + E) * 100$$

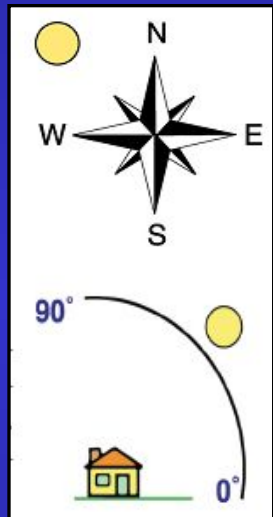
Применение:

- **Уклон** определяет **интенсивность** движения вниз по склону.
- **Экспозиция** - **направление** стока.
- **Кривизна** же влияет на **ускорение** или **замедление** потока. Поэтому кривизну можно использовать для анализа устойчивости почв, выявления процессов эрозии и отложения.

Функции анализа поверхности

□ **Отмывка** определяет гипотетическую **освещенность** поверхности в зависимости от **положения источника света** и **локального уклона** и имитирует ее тенями в виде полутонового растрового изображения.

Для задания **положения источника освещения** устанавливают его:



азимут (угол относительно направления на север, измеряется в градусах от 0 до 360 по часовой стрелке от севера)

и

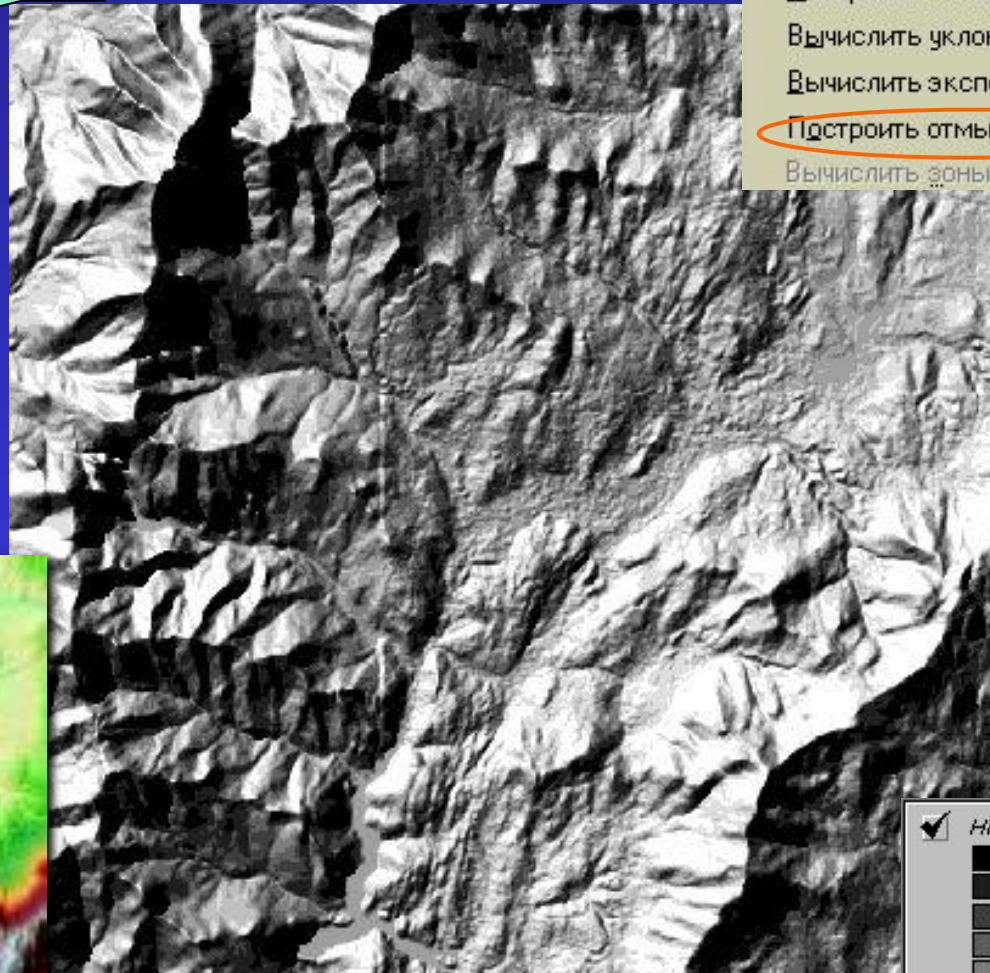
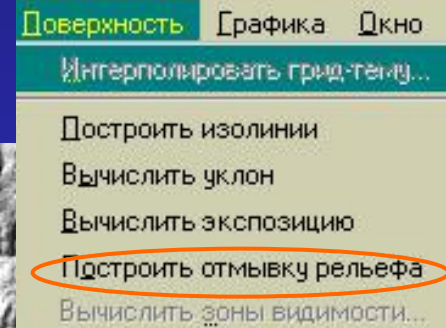
угол над горизонтом (в градусах от 0 до 90°).

Отмывку используют:

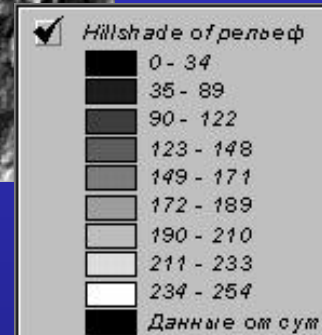
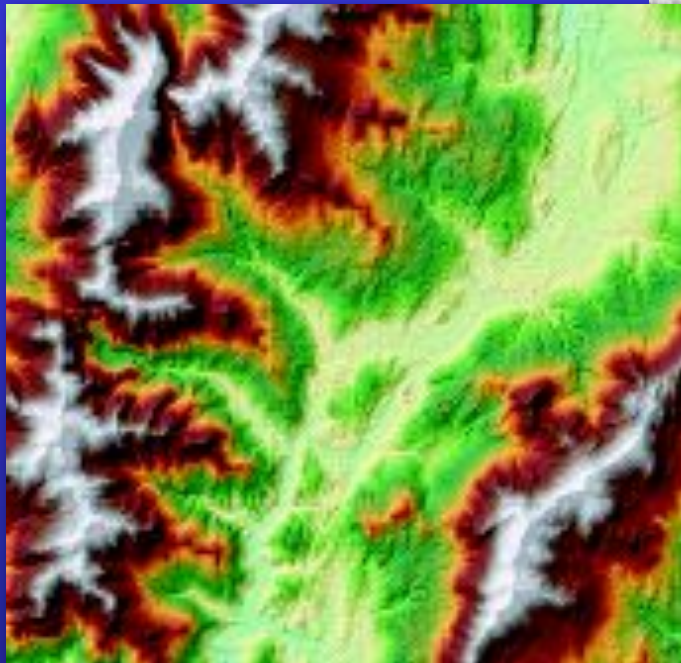
- для **анализа** (определение продолжительности и интенсивности освещения в заданном месте),
- для **графического отображения** (отмывка может улучшить изображение рельефа, изменяя яркость его цветов в зависимости от рассчитанной освещенности - придает изображению *глубину*).

Создание отмывки в ArcView:

Отмывка



Рельеф+отмывка



Функции анализа поверхности:

□ **Построение изолиний** из поверхности - это создание линий, все точки которых имеют **одинаковые значения** на данной поверхности, и сохранение их в виде **линейного векторного слоя**.

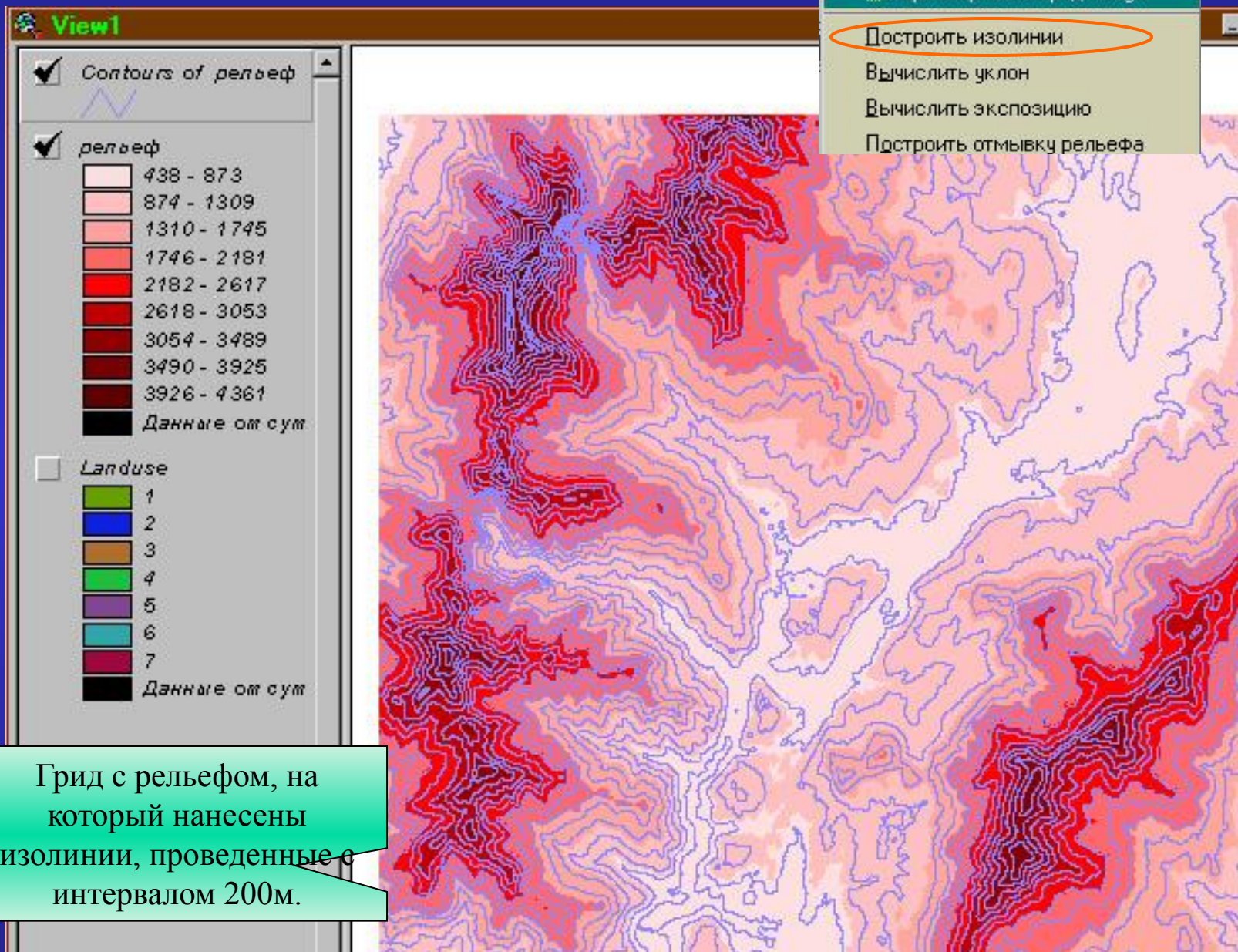
Изолинии строятся через заданный **интервал сечения** (высота сечения рельефа), при этом может быть указано **базовое число**, от которого начинается отсчет интервалов изолиний.

Функция **не соединяет центры ячеек**, она **интерполирует линию**, представляющую местоположения на поверхности с одним и тем же значением.

Изолинии позволяют:

- выявить места с **одинаковым значением** какого либо параметра,
- визуализировать **плоские** и **крутые** участки поверхности по расстоянию между изолиниями (**чем ближе** расположены **изолинии**, **тем круче** поверхность в данном месте).

Создание изолиний в ArcView



Грид с рельефом, на который нанесены изолинии, проведенные с интервалом 200м.

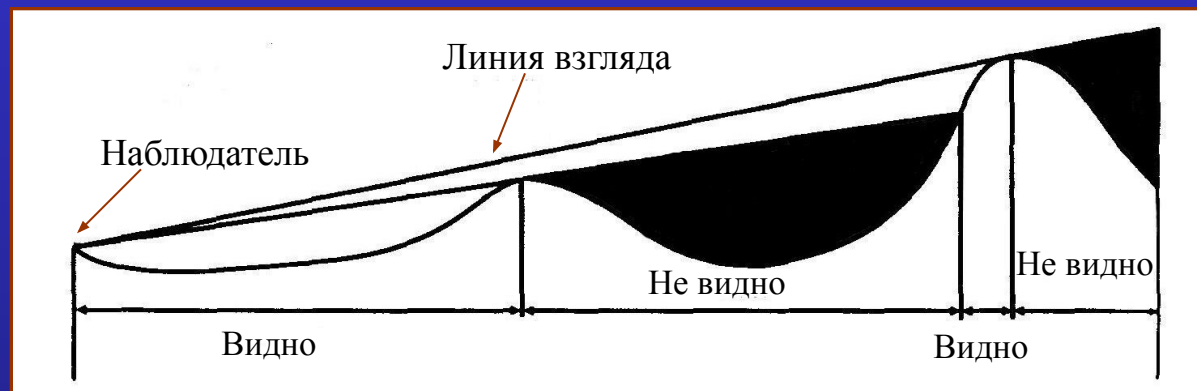
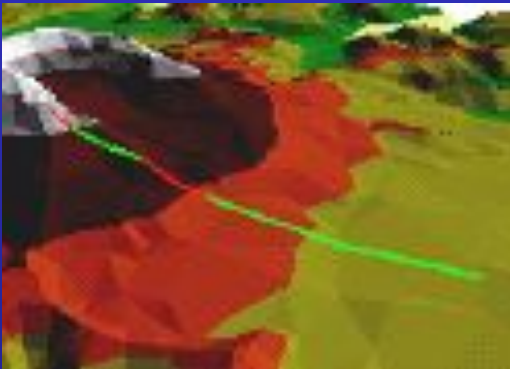
Функции анализа поверхности

□ **Анализ видимости** обеспечивает оценку поверхности с точки зрения видимости или невидимости отдельных ее частей с некоторой точки (или точек) обзора.

Два типа анализа видимости:

✓ **Операция расчета линии взгляда** служит для определения видимости вдоль указанной на поверхности линии с конкретной точки наблюдения.

Расчет линии взгляда
в TIN-модели



Функции анализа поверхности

✓ Определение зон видимости/невидимости.

- Выявляются **области** поверхности, которые *видны с одной* или *более точек наблюдения*.
- Результатом является растр, каждой ячейке которого присваивается атрибут, обозначающий **число точек наблюдения**, из которых может быть видно данное место.

Использование анализа видимости-невидимости:

- оценка влияния рельефа или рельефности городской застройки на величину зоны устойчивого радиоприема (радиовидимости) при проектировании радио- и телевещательных станций, систем мобильной радиосвязи.
- определить место расположения новой ретрансляционной вышки наряду с уже существующими;
- определить участки на местности, из которых будет видна предполагаемая свалка.

Определение зон видимости/невидимости в ArcView

Грид с зонами
ВИДИМОСТИ

