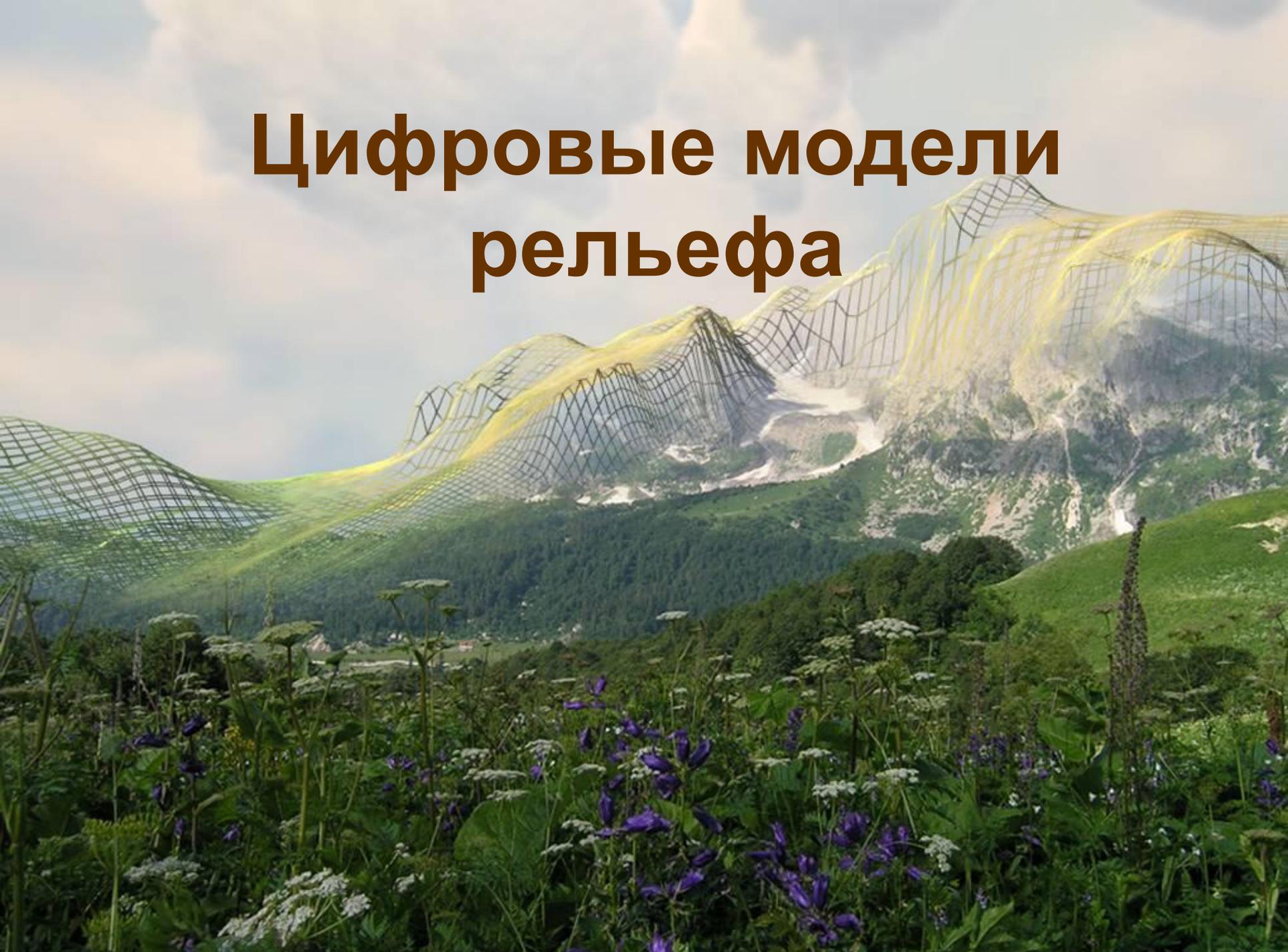


# Цифровые модели рельефа



Рельеф – **система**, характеризующаяся совокупностью **структурных элементов** с определенным характером отношений между ними.

**Структурные элементы рельефа** - характерные точки, структурные линии, элементарные поверхности.

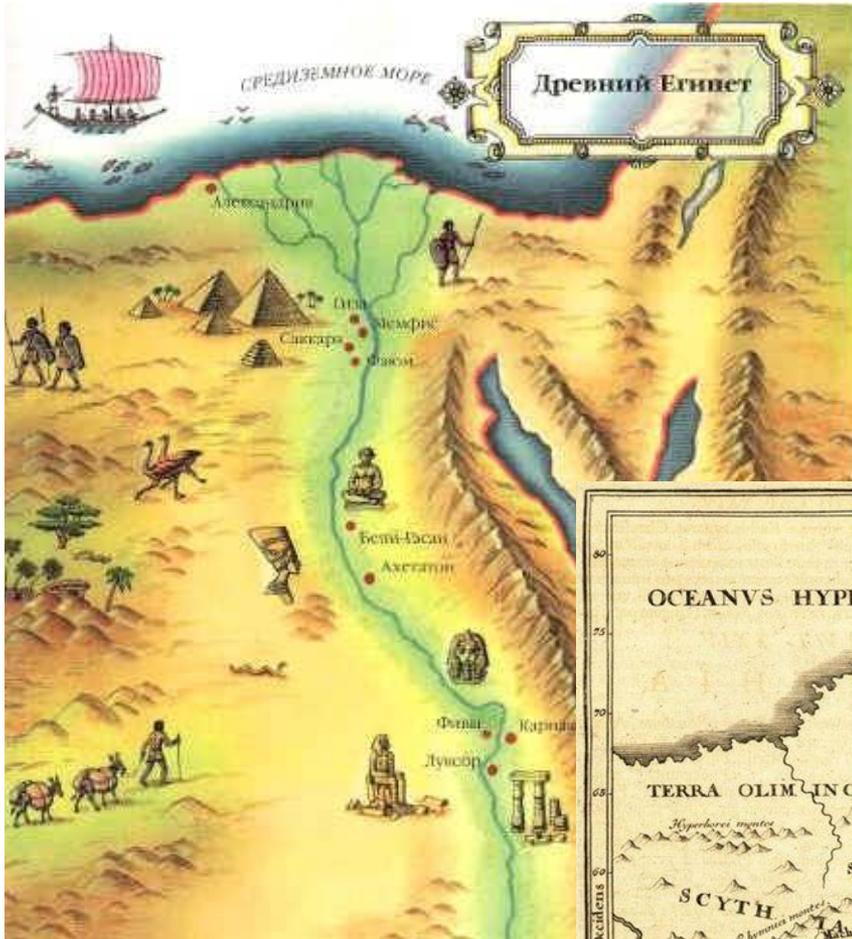
Модель рельефа должна с определенной точностью отражать эти элементы, отношения и свойства.

# Перспективное изображение

*схематический перспективный  
рисунок в виде отдельных  
возвышенностей, хребтов, гор.*

*Физиографическое изображение  
рельефа – направлено на  
отображение физиономических черт  
рельефа (его морфологии)*

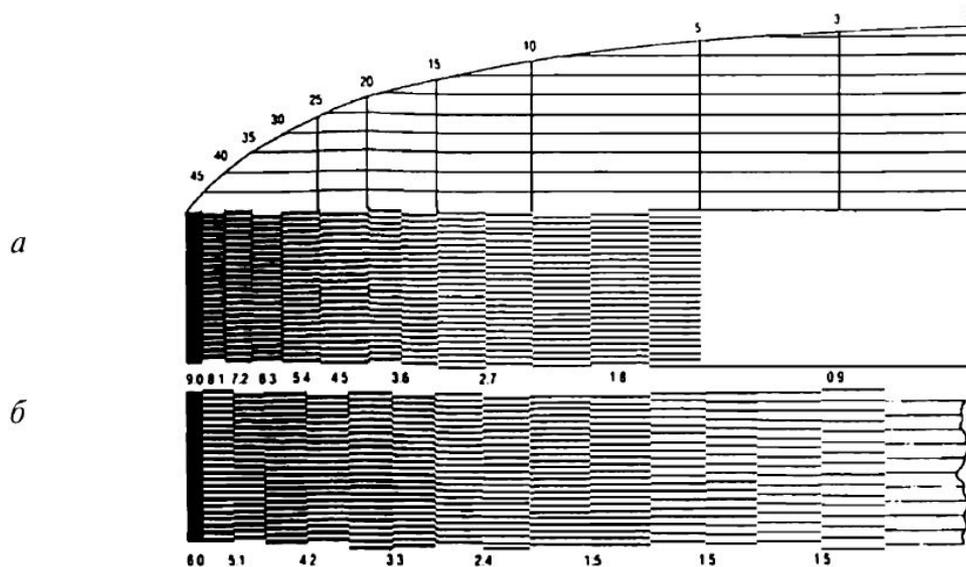




# Способ штрихов

*чем круче склон, тем толще и плотнее штриховка, что отвечает изменению освещенности, при которой крутые склоны как бы покрыты глубокой тенью, а пологие - максимально освещены.*

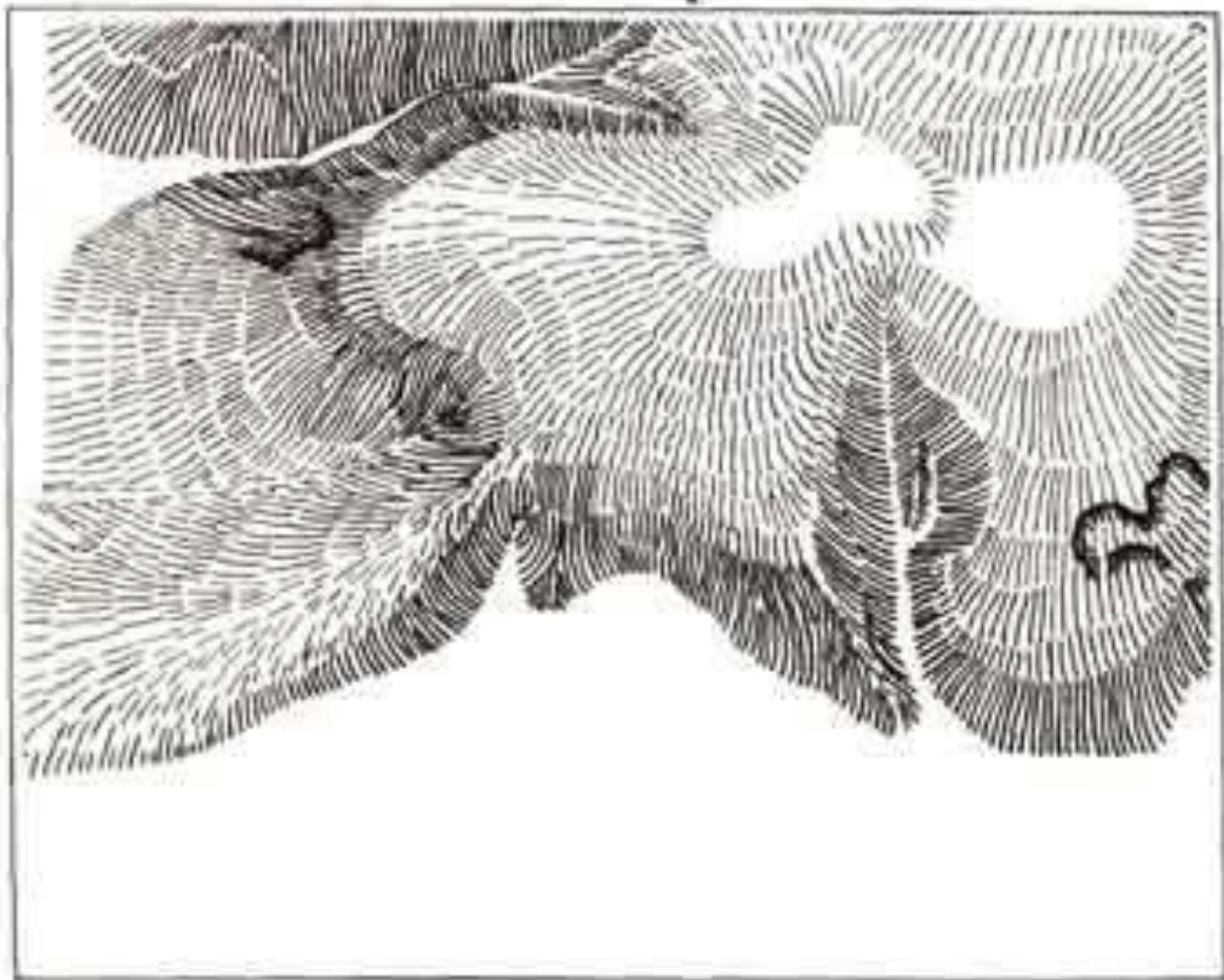
$$T/C = \alpha / (45^\circ - \alpha),$$



*В России -  
шкала А.П.  
Болотова и  
шкала Главного  
штаба*

**Рис. 6.3.** Шкалы штрихов крутизны:

*а — шкала И. Лемана; б — шкала Главного штаба.*



# Горизонтали

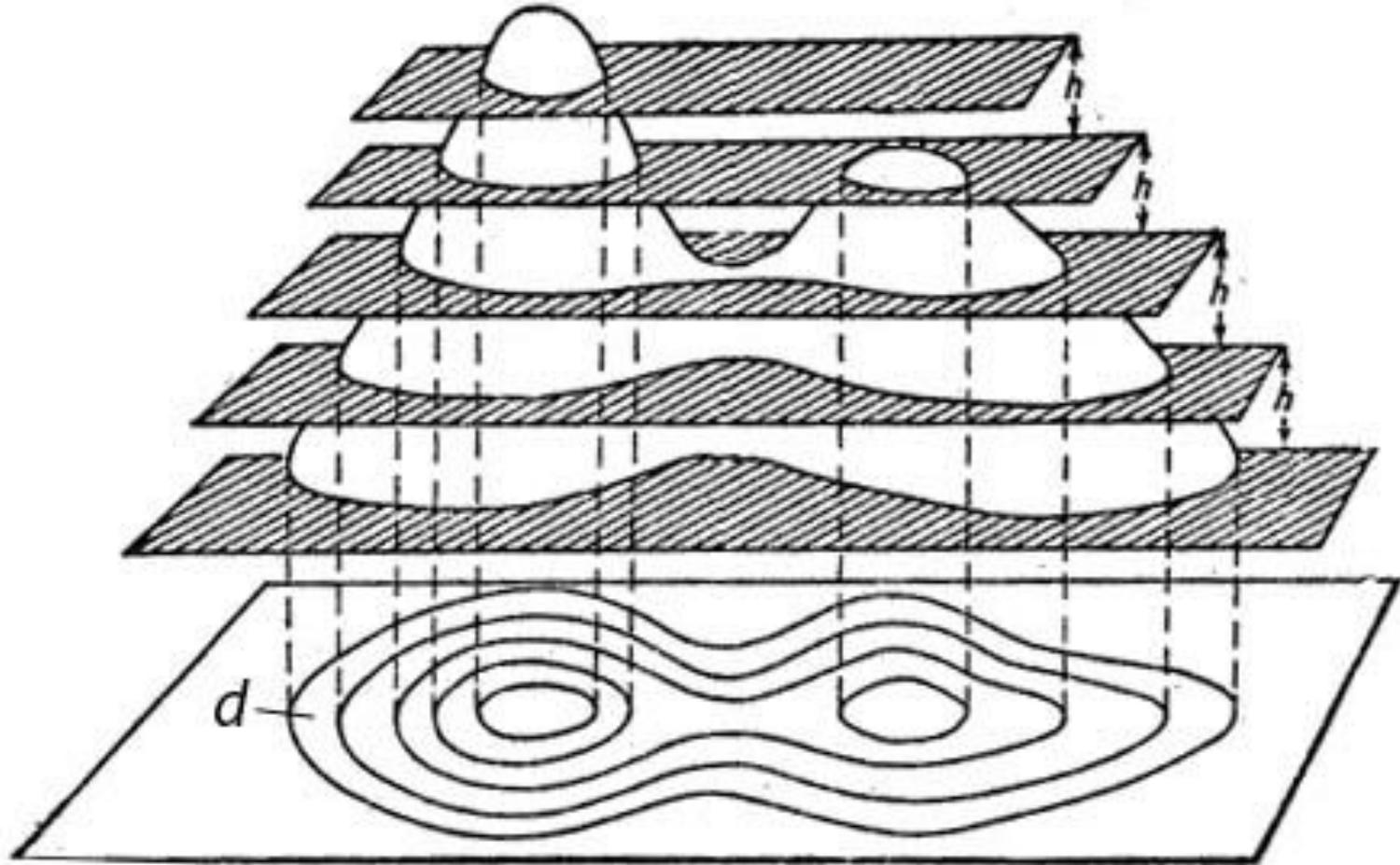
**Горизонтали (изогипсы)** — линии равных высот.

Они представляют собой проекции на плоскость следов сечения рельефа уровнями поверхностями, проведенными через заданный интервал, который называется **высотой сечения рельефа**.

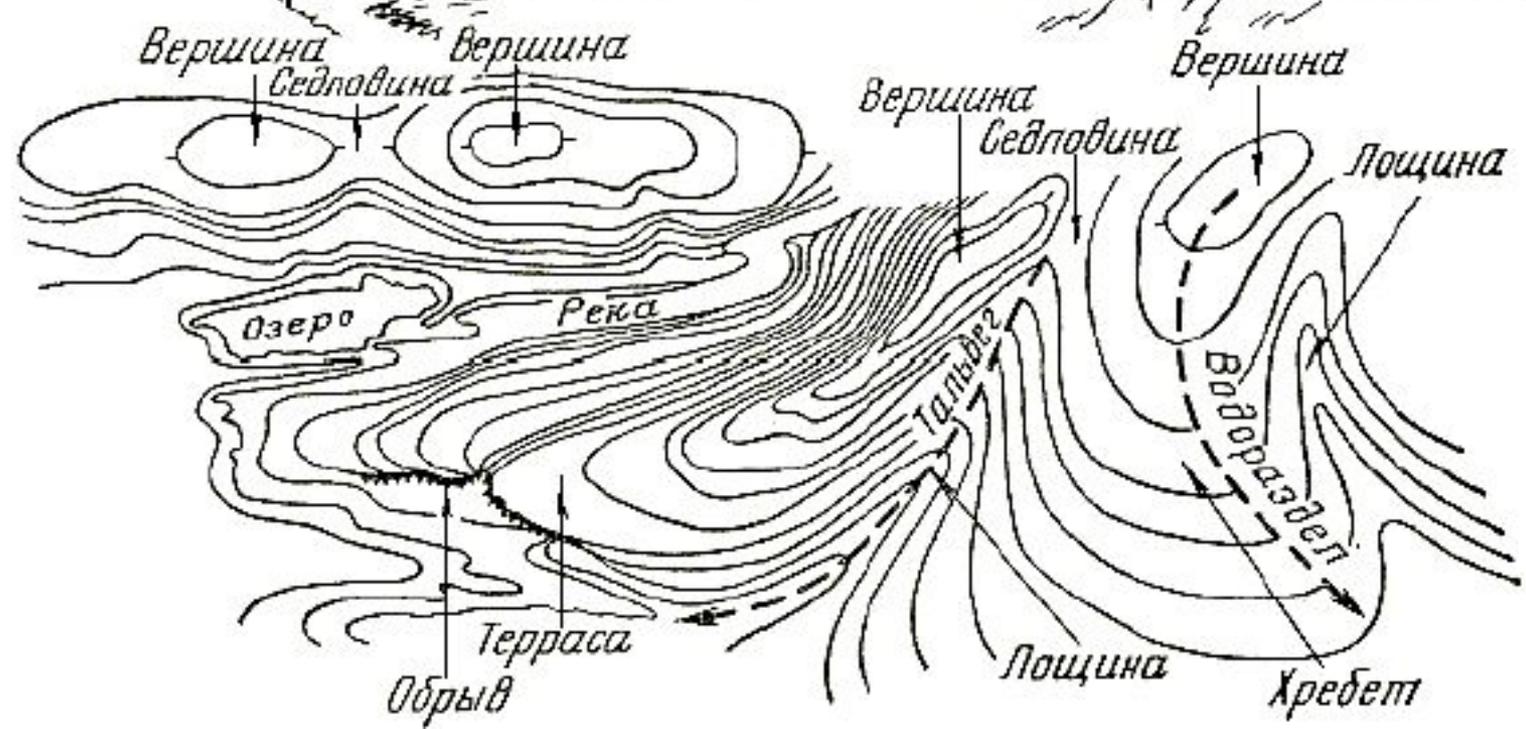
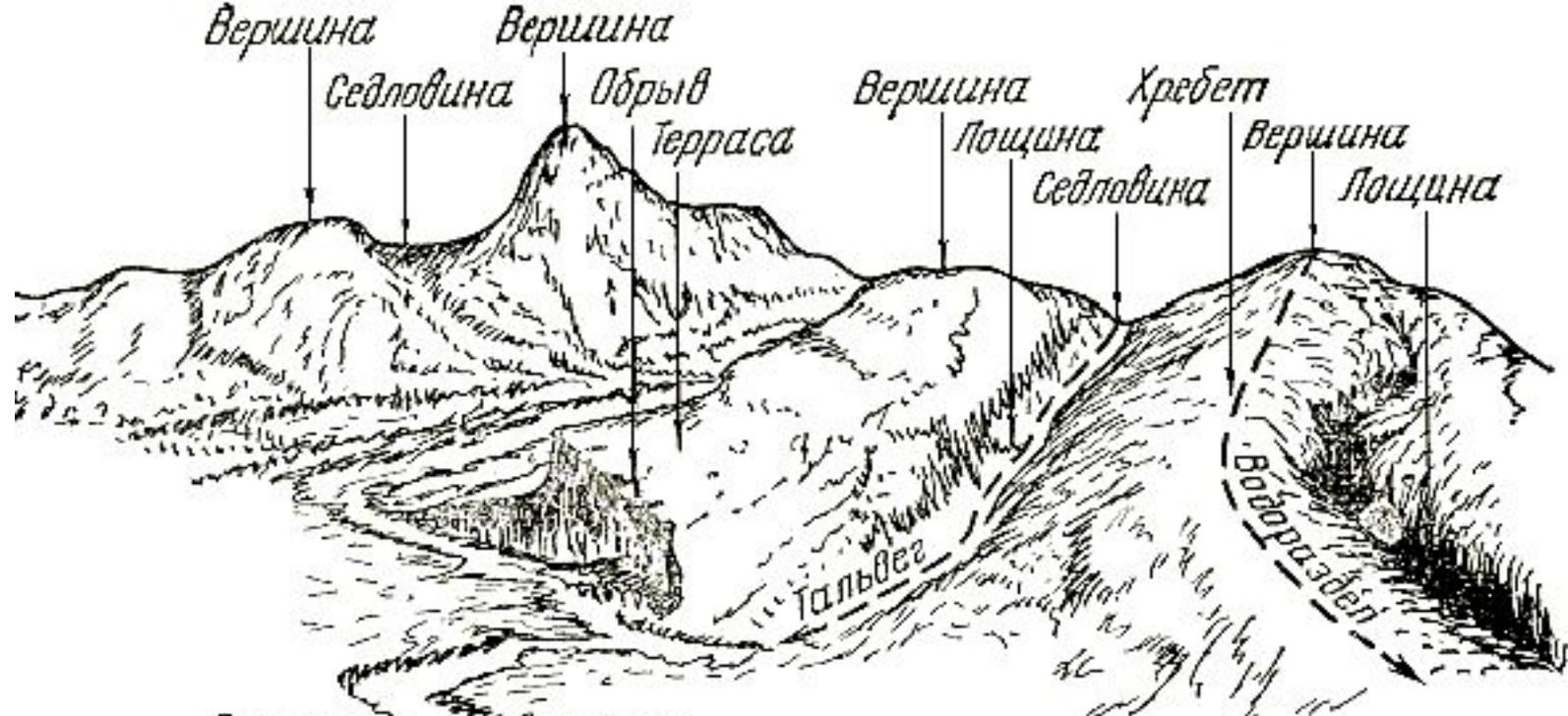
**Полугоризонтали** – изогипсы, проведенные на половине высоты сечения.

**Вспомогательные горизонтали** – изогипсы, проведенные с произвольно выбранной высотой сечения

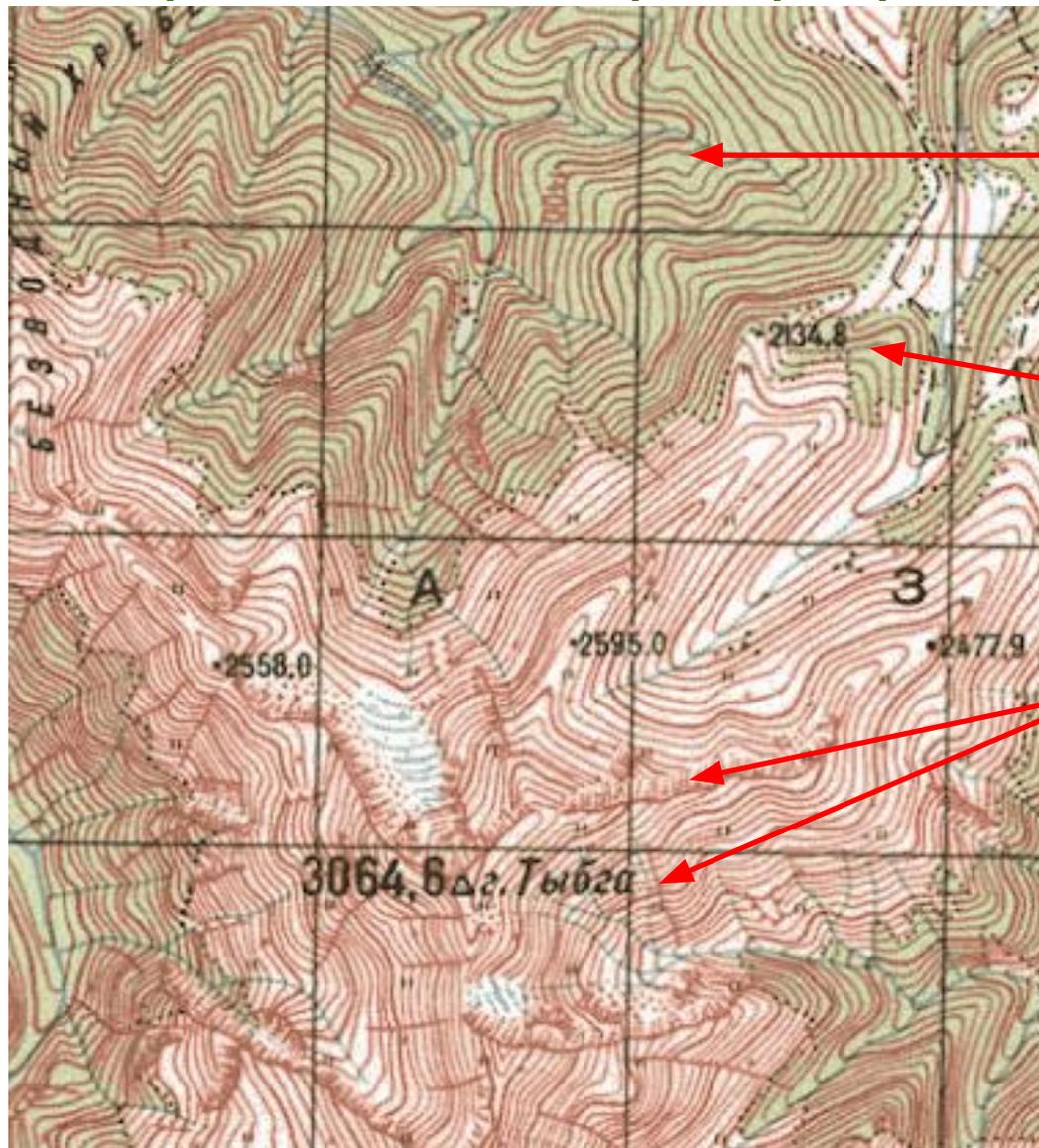
# Изображение рельефа горизонталями



- $h$  – сечение рельефа,
- $d$  – заложение



# Изображение рельефа на картах различными средствами картографической выразительности



**Изолинии  
рельефа  
(горизонтали)**

**Отметки высот  
и урезы воды**

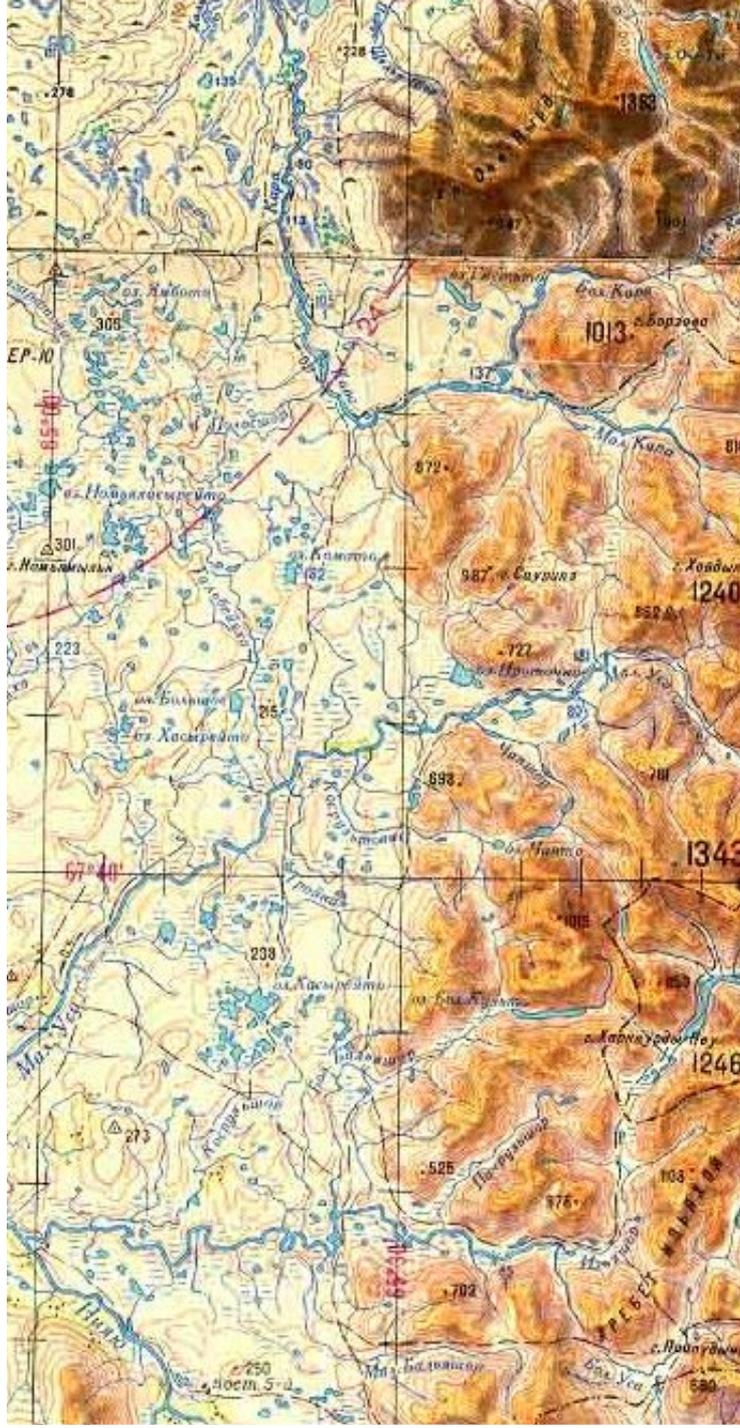
**Формы рельефа**

**Внемасштабные  
условные знаки**

# Гипсометрические шкалы

*Принципы построения:*

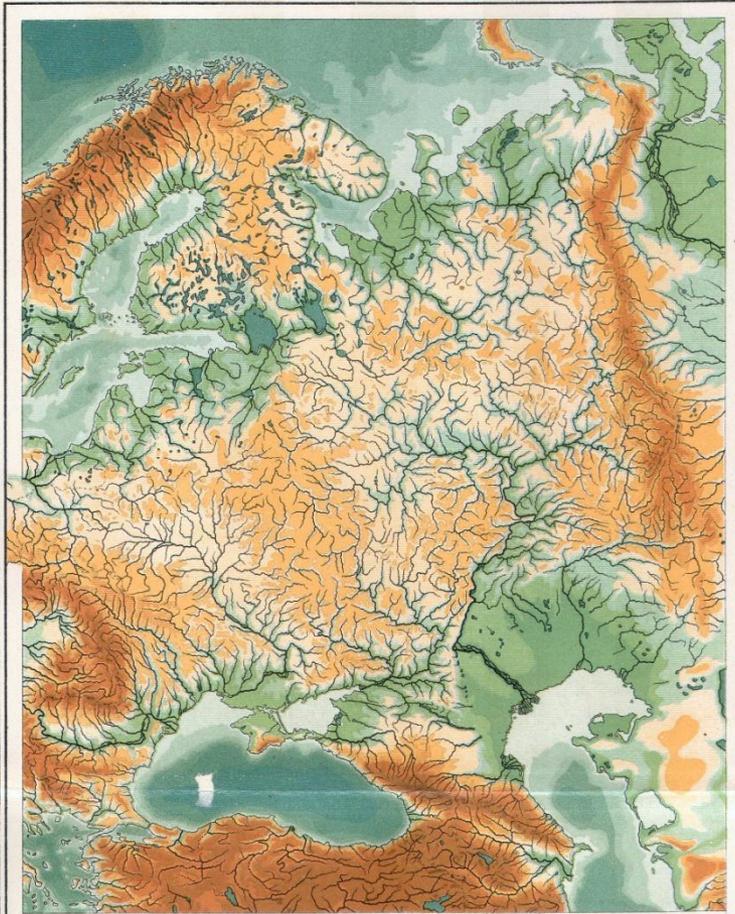
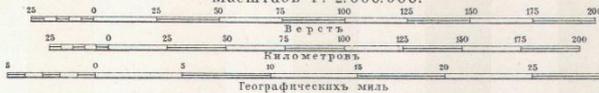
1. «Чем выше, тем темнее» - от бледно-зеленого до темно-коричневого;
2. «Чем выше, тем светлее» - от серого до белого;
3. «Возрастающая теплота и насыщенность тона».



# КАРТА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ.

Первоначально составленная Проф. Э.Ю. ПЕТРИ, оконченная и выходящая вторым изданием  
под редакцією Ю. М. ШОКАЛЬСКАГО.  
1909 г.

Масштаб 1:2.000.000.



## ГИСОМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

СОСТАВЛЕНА ПО ДАННЫМ ТИЛЛО, СЕДЕРХОЛЬМА И ШОКАЛЬСКАГО.

Масштаб 1:2.000.000

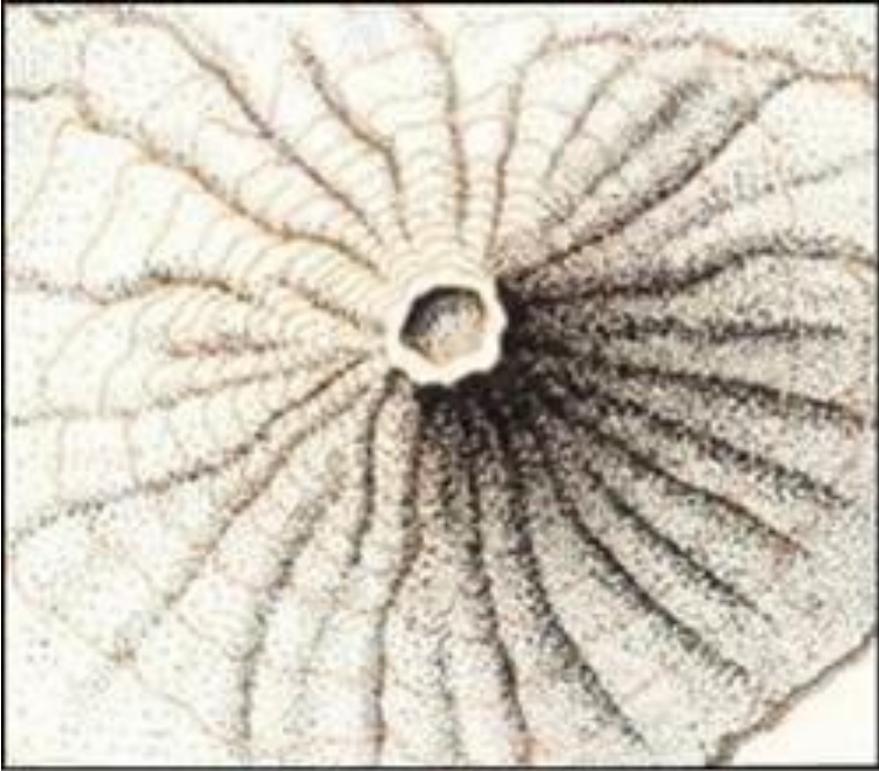


# Отмы́вка релье́фа

*Создание полутонового изображения при заданном освещении местности*

*Варианты отмы́вки:*

- Отмы́вка при боковом освещении (С-З);
- Отмы́вка при отвесном (зенитном) освещении;
- Отмы́вка при комбинированном освещении.



a



b



# РОССИЯ

и сопредельные государства

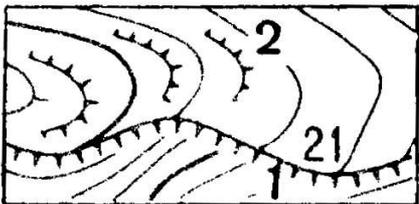




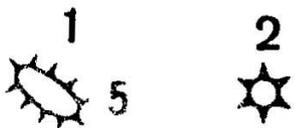
## Изображение некоторых элементов рельефа условными знаками на картах и пояснения к ним



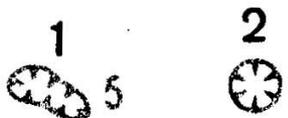
Овраги и промоины: 1) шириной в масштабе карты более 1 мм; 2) шириной 1 мм и менее (в числителе — ширина между бровками, в знаменателе — глубина в метрах)



1) Обрывы (21 — высота в метрах); 2) укрепленные уступы полей на террасированных участках склонов



Курганы: 1) выражающиеся в масштабе карты (5 — высота в метрах); 2) не выражающиеся в масштабе карты



Ямы: 1) выражающиеся в масштабе карты (5 — глубина в метрах); 2) не выражающиеся в масштабе карты

# Блок-диаграммы рельефа

Трехмерные плоские рисунки, передающие пластику земной поверхности.

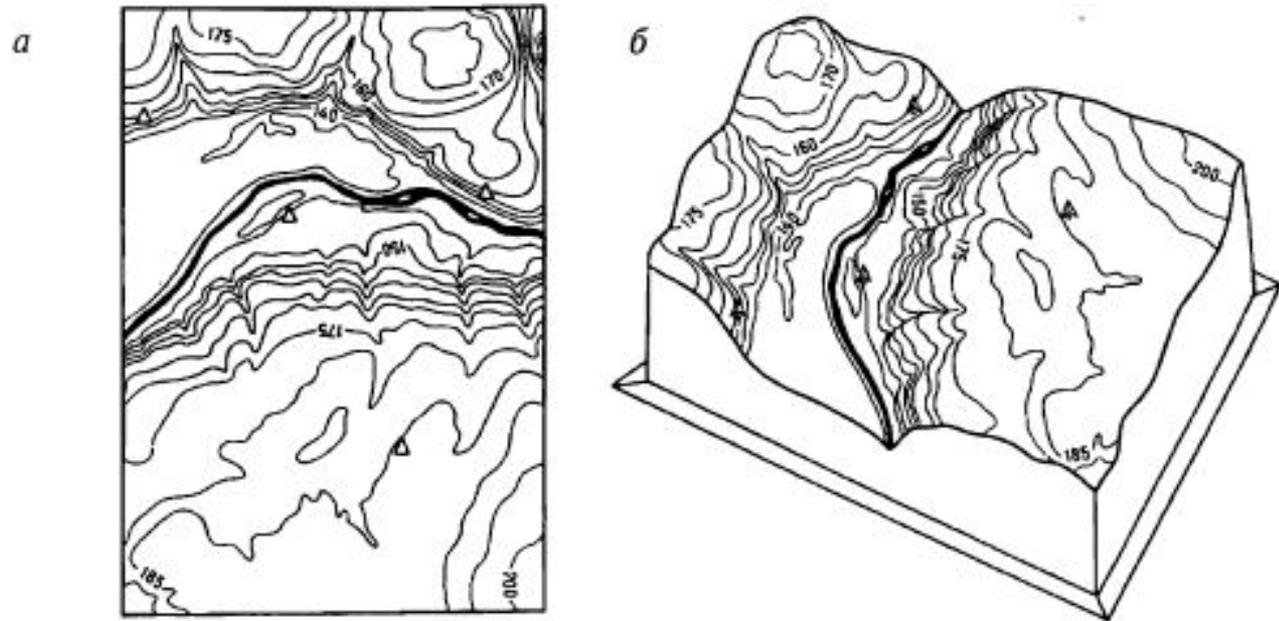


Рис. 6.11. Фрагмент карты рельефа местности (а) и блок-диаграмма того же участка в горизонталях (б), составленная на автоматическом графопостроителе.

## Традиционная «бумажная» карта

VS

## Географические информационные системы (ГИС)

- Координаты (ДОЛГОТА, ШИРОТА) (система высот представлена ограниченным количеством отдельных значений);
  - Дискретные значения величин;
  - Низкая скорость создания;
  - Жесткая привязка к масштабу и системе координат.
- Координаты (ДОЛГОТА, ШИРОТА, ВЫСОТА);
  - Неограниченное количество значений, полученное методом интерполяции;
  - Высокая скорость создания;
  - Возможность варьировать масштаб и систему координат, а также изменять объектный состав карты.

# Первые ЦМР

- Первая половина 60-х гг. XX в.
- Одна из первых ЦМР была создана на кафедре картографии Военно-инженерной академии.

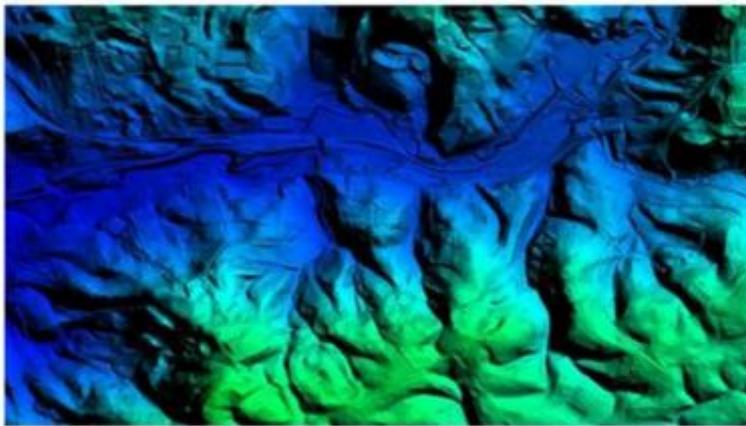
# Под *цифровой моделью рельефа* (ЦМР) принято понимать

- средство цифрового представления **трехмерных пространственных объектов** в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок и иных значений аппликат в узлах **регулярной** или **нерегулярной** **сети**

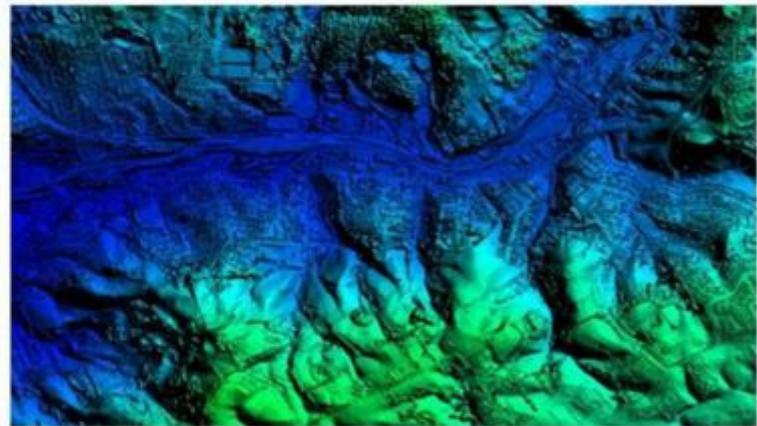
*/Кошкарев А.В., 2004/*

# Под *цифровой моделью местности* (ЦММ) принято понимать

Цифровая картографическая модель,  
содержащая данные об объектах  
местности и их характеристики.



Фрагмент ЦМР



Фрагмент ЦММ



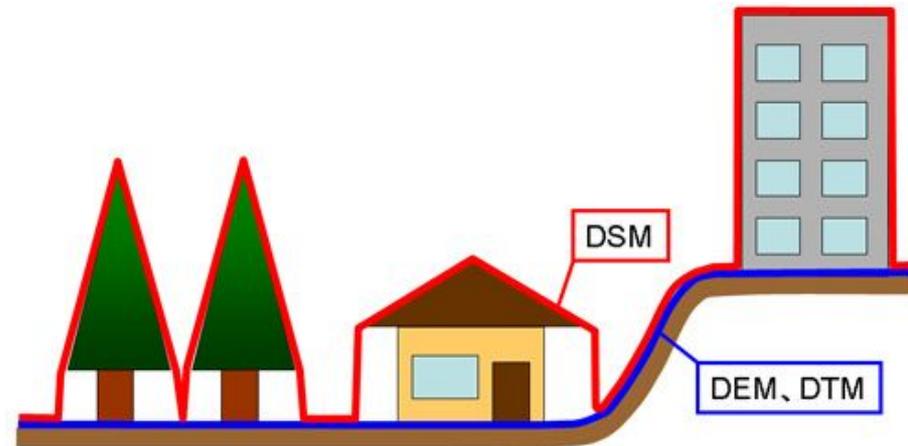
ЦМР является составной частью ЦММ

# В англоязычной литературе

**ЦМР** (Digital Elevation Model) и  
(Digital Terrain Model)

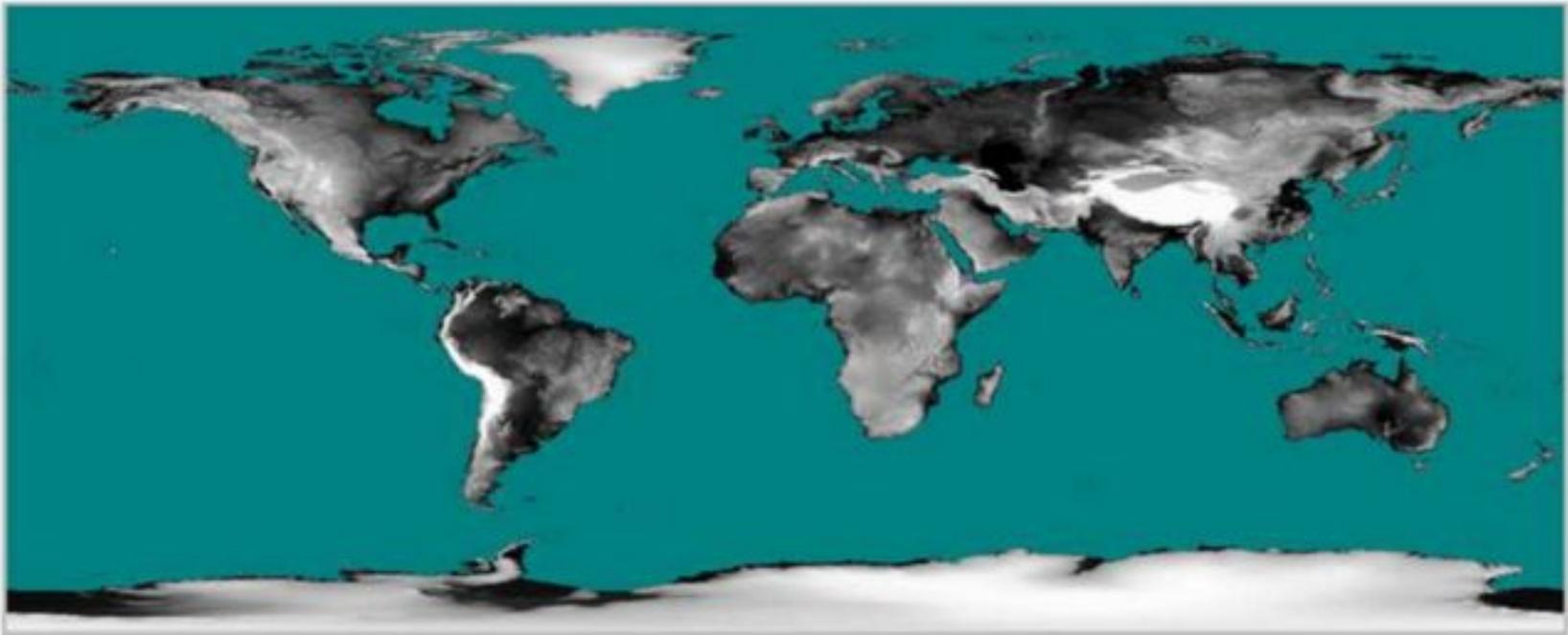


**ЦММ** (Digital Surface Model) -  
поверхность, которая проходит  
над всеми объектами местности,  
(деревьями, зданиями и т.д.)



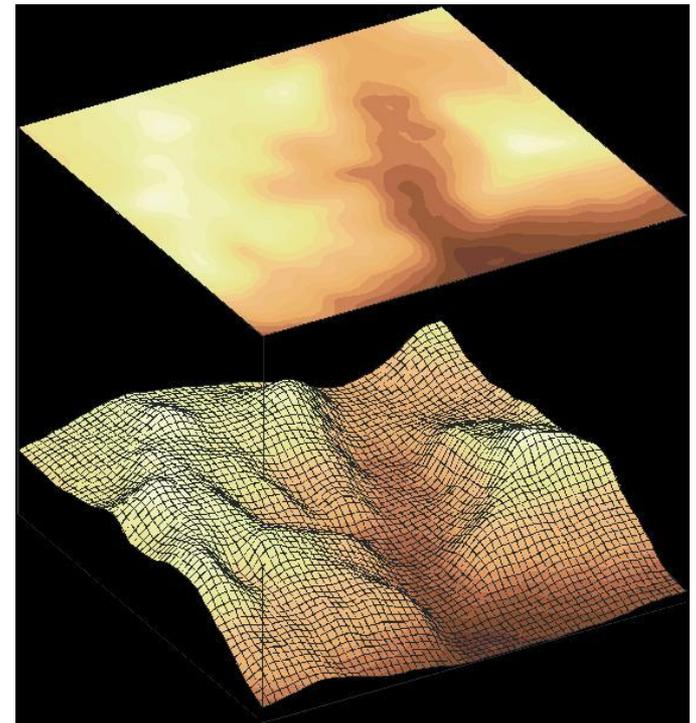
# Виды ЦМР

Глобальная цифровая модель рельефа — ЦМР, описывающая всю или почти всю поверхность земного шара.



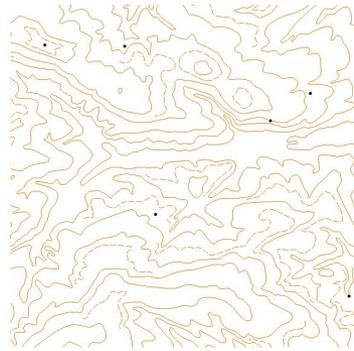
# Цифровое моделирование рельефа включает:

- создание модели рельефа
- использование модели рельефа

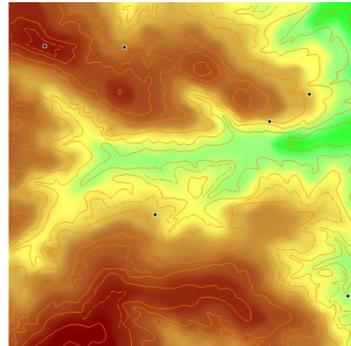


# Создание ЦМР

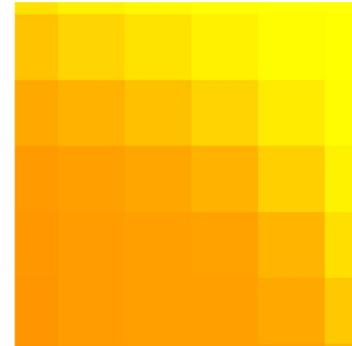
Исходные данные



Интерполяция



Цифровая модель рельефа



Увеличенный фрагмент ЦМР

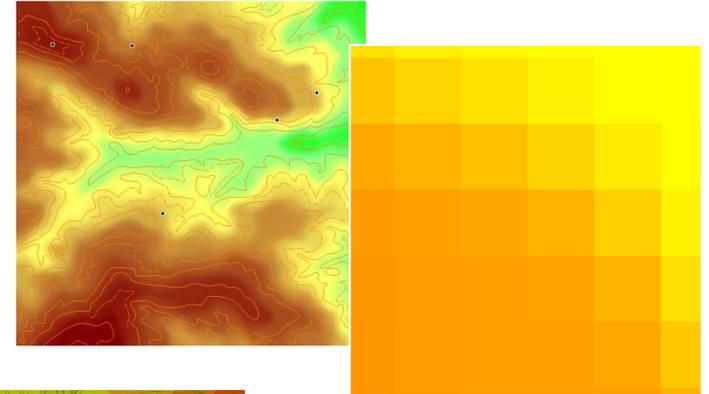
Создание  
производных моделей

# Способы цифрового представления (описания) рельефа

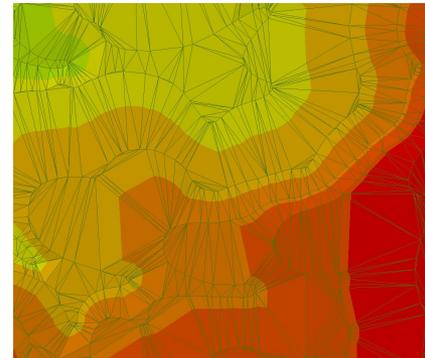
- представление **горизонталями** в виде векторных линий



- в виде **регулярной** матрицы высот земной поверхности



- в виде **нерегулярной** TIN-модели



Как правило, данные о рельефе местности хранятся в 2-х видах: в виде свободной модели (TIN) или регулярной сетки (GRID).

**TIN (*Triangulated Irregular Network*)** —

**нерегулярная триангуляционная сеть**, представляет собой треугольную сеть неправильной формы.

**GRID (*Global Resource Information Database*)** —

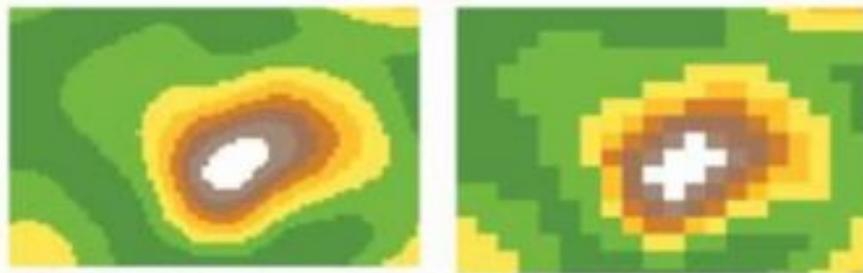
**растровая регулярная сеть высот**, представляет собой разбиение пространства на неделимые элементы (пикселы), образуя матрицу высот — регулярную сеть высотных отметок.

# GRID

Сеть регулярно распределенных прямоугольных ячеек с прописанным значением высот. При этом каждой ячейке соответствует одинаковый по размерам, но разный по характеристикам (цвет, интенсивность) участок поверхности. Расстояния между соседними узлами по X и Y называются шагом. Чем мельче шаг, тем точнее модель.

**Формат** — растровое изображение.

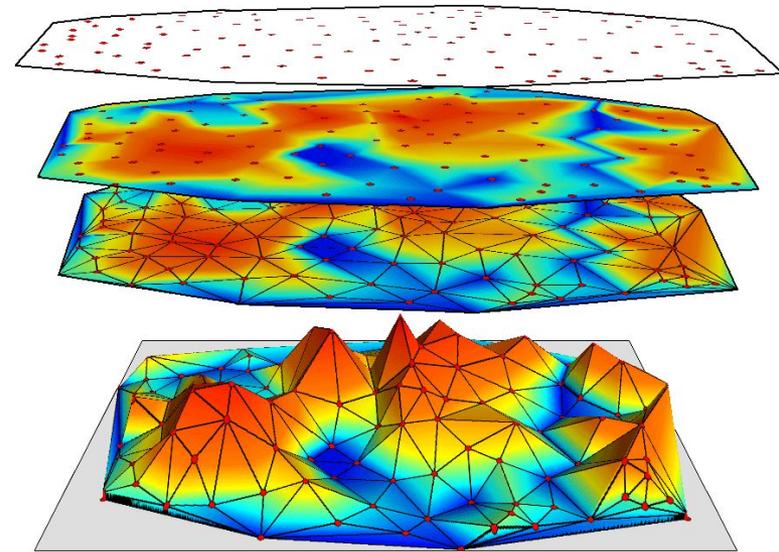
**Применение** — отображение географических объектов или явлений, характеристики которых плавно изменяются в пространстве.



*GRID с высоким (слева) и с низким разрешением (справа)*

# «Нерегулярная треугольная сеть» (TIN - Triangulated Irregular Network)

- сеть треугольников  
с высотными  
отметками в ее узлах



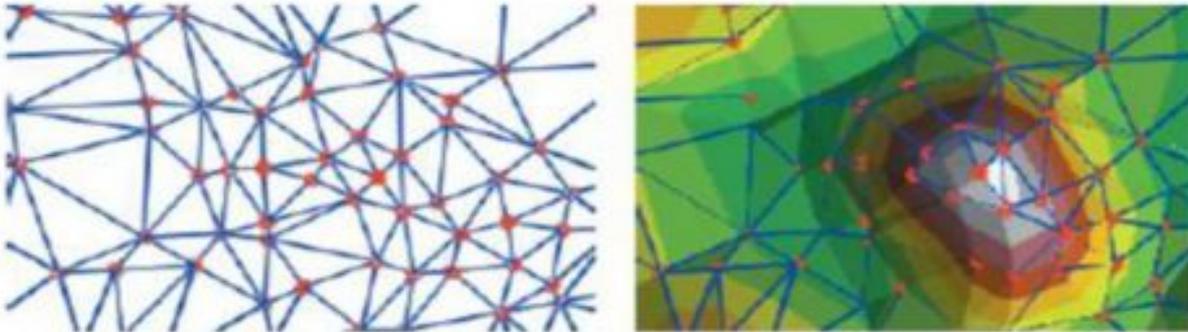
Позволяет представить  
моделируемую поверхность  
как многогранную

# TIN

Система связанных, не перекрывающихся треугольников, представляющая рельеф набором высотных отметок в узлах сети и заменяющая его, тем самым, многогранной поверхностью.

**Формат** — векторный набор данных.

**Применение** — высокоточное моделирование небольших областей с резким перепадом высот.



*Узлы и ребра TIN (слева), узлы, ребра и грани TIN (справа)*

## TIN

VS

## GRID

- **Высокая стоимость получения, сложность обработки;**
- **Маленький объем файла;**
- **Эффективное отображение резких перепадов рельефа;**
- **Простота и скорость компьютерной обработки;**
- **Большой объем файла;**
- **Сглаживание моделируемого участка, отсутствие резких выступов;**

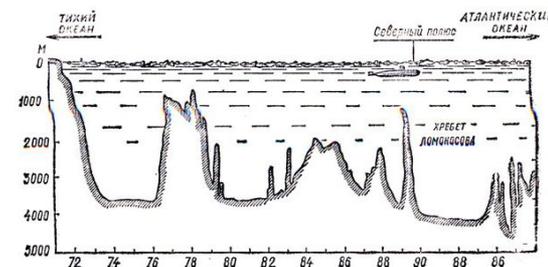
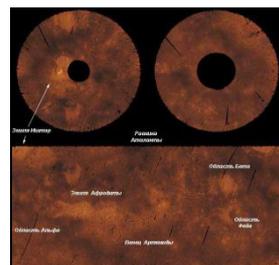
**Информационное  
обеспечение цифрового  
моделирования рельефа.**

**Точность ЦМР**

# ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЛЯ ЦМР

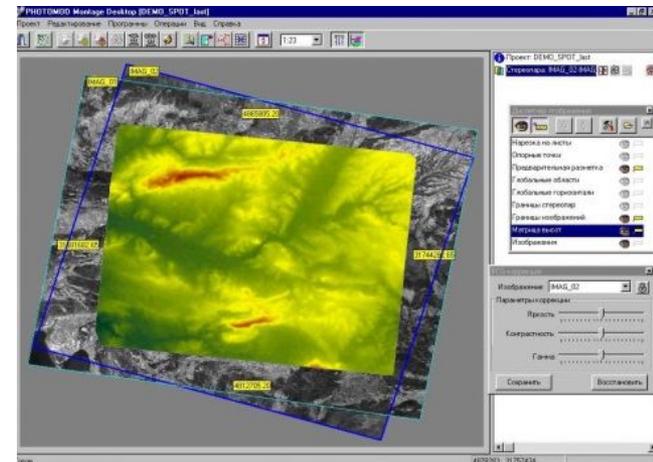
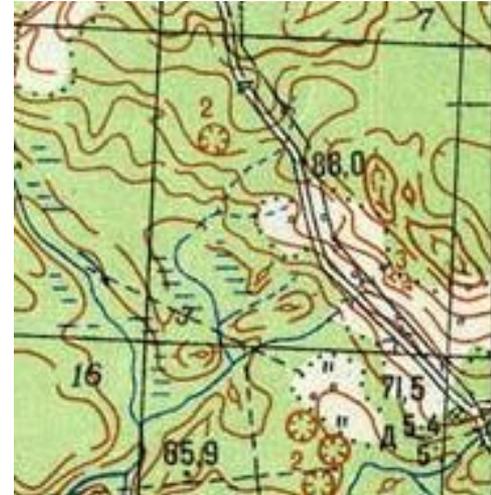
**Первичные измерительные сведения предоставляют:**

- геодезические работы и топографическая съемка местности,
- стереофотограмметрическая обработка фототеодолитных, аэро- и космических снимков,
- промерные работы и эхолотирование подводного рельефа;
- радиолокационная съемка рельефа (ледниковое ложе, небесные тела и др.)
- лазерная локация



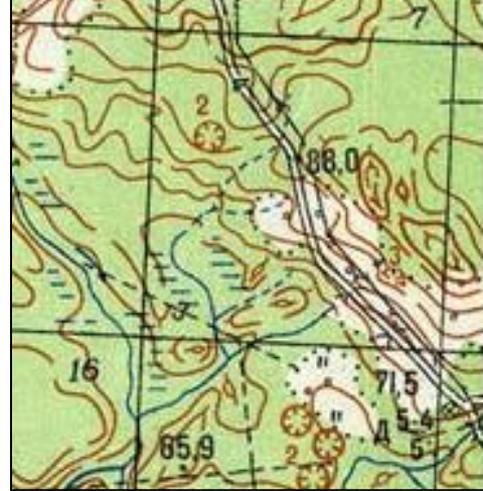
# Основные источники

- крупномасштабные топокарты
- данные дистанционного зондирования
- материалы полевых съемок



# Карта

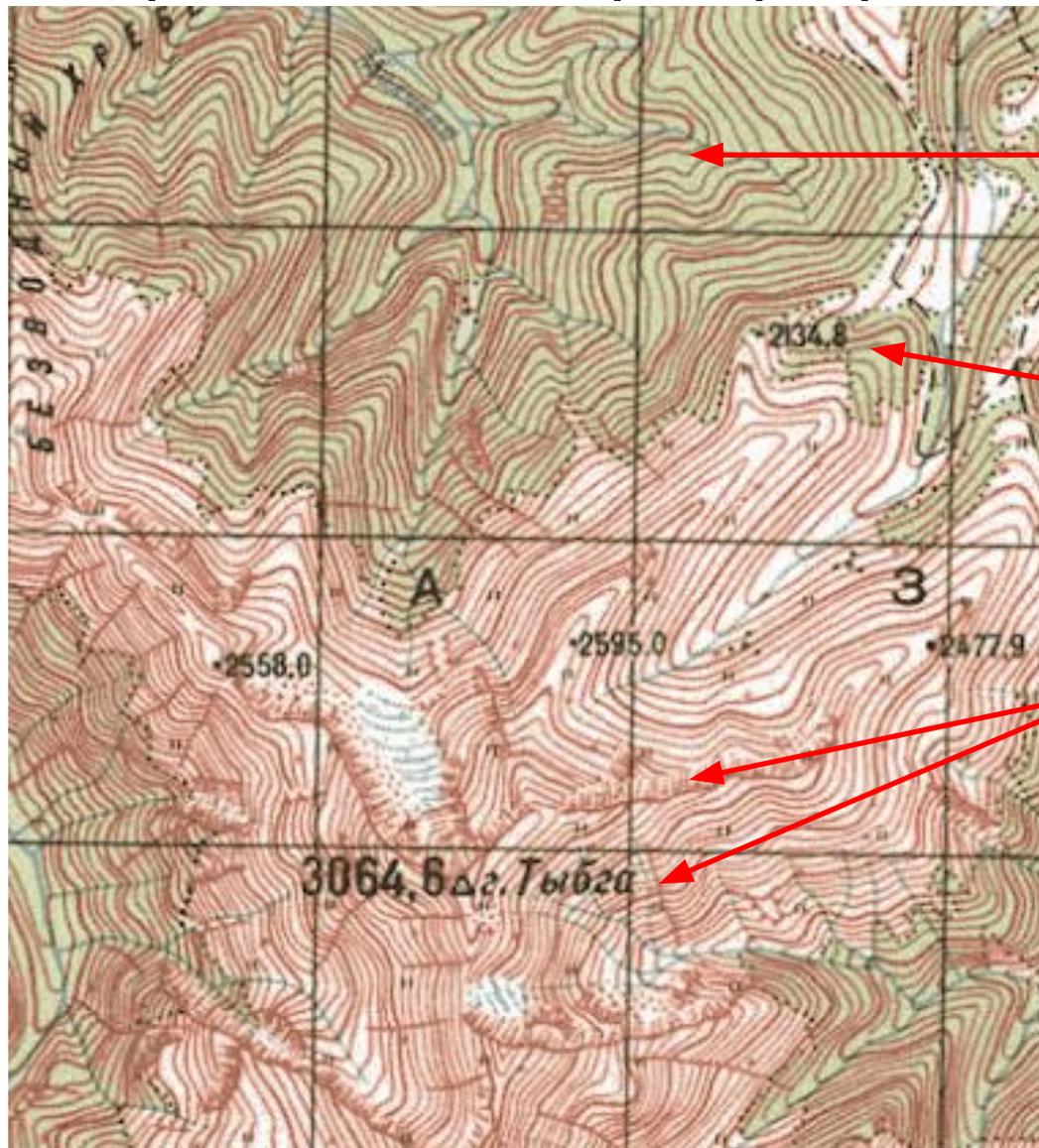
- ОСНОВНОЙ
- ОТНОСИТЕЛЬНО НЕДОРОГОЙ ИСТОЧНИК



При наличии цифровой основы используются следующие **слои**:

- ❖ ИЗОЛИНИИ
- ❖ ОТМЕТКИ ВЫСОТ И УРЕЗЫ ВОДЫ
- ❖ другие данные о рельефе и прочих объектах (гидрография, искусств.сооружения)

# Изображение рельефа на картах различными средствами картографической выразительности



Изолинии рельефа  
(горизонтали)

Отметки высот  
и урезы воды

Формы рельефа

Внемасштабные  
условные знаки

# МОДЕЛЬ СТРОИТСЯ ПО **ВХОДНЫМ ДАННЫМ**:

- ***точки*** – замеры высот на поверхности
- ***структурные линии*** – описывают различия в поведении поверхности по обе стороны от них
- ***изолинии*** – линии, полученные в результате сечения местности горизонтальной плоскостью с определенным шагом по высоте
- ***полигоны*** - определяют области, вне которых отсутствует достоверная информация по поверхности. Использование таких регионов часто предупреждает генерацию ошибочных данных по рельефу вне региона.

## Типичные ошибки:

1. Разрывы линий на границах планшетов  
(скачкообразное изменение высот на границах планшетов)



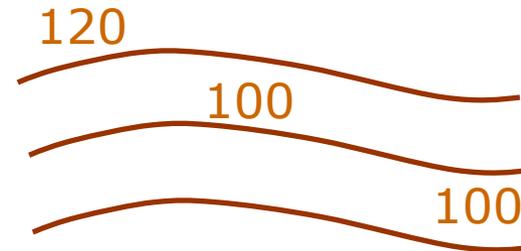
2. Самопересечение линий



3. Примыкание или пересечение  
изолиний разных уровней



4. Попадание отметки одной высоты  
на изолинию другой высоты



5. Наличие висячих вершин изолиний  
(конечные точки должны лежать  
либо на границе планшета,  
либо на некоторой трехмерной линии)



# Данные дистанционного зондирования

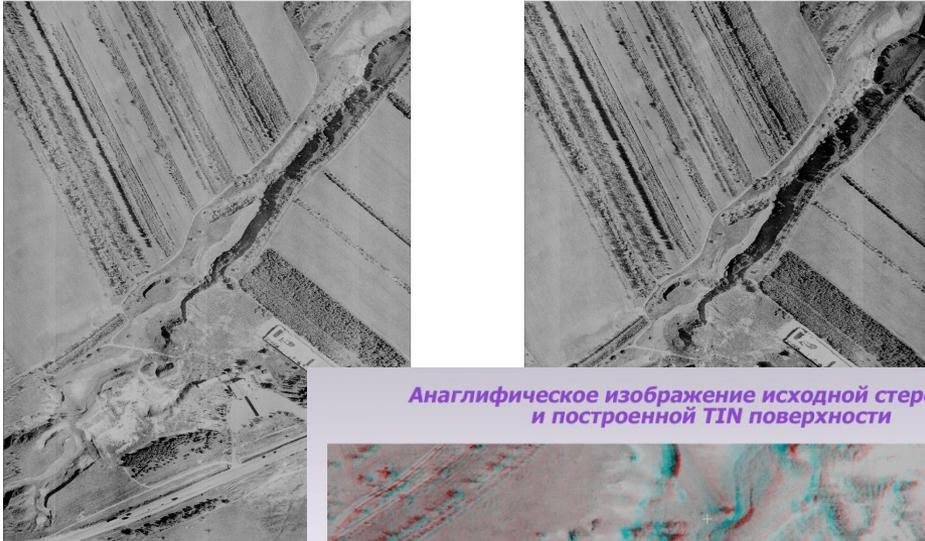
- Точность достаточно высокая
- Много методик обработки
- В РФ используются в меньшей степени.

## Причины:

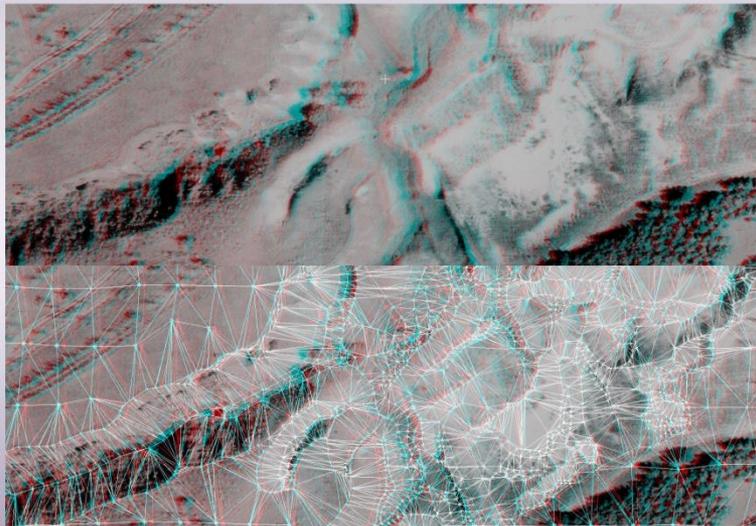
- недостаточное развитие национальных и региональных баз данных
- высокая цена на программное обеспечение мирового уровня
- дороговизна относительно устаревших и недоступность новейших снимков  
и т.д.

# Фотограмметрический способ создания ЦМР и ЦММ

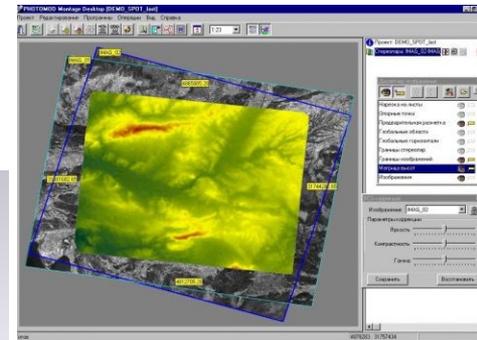
Стереопара на фрагмент территории  
Волгоградской области



*Анаглифическое изображение исходной стереопары  
и построенной TIN поверхности*



Специализированное  
аппаратное и программное  
обеспечение



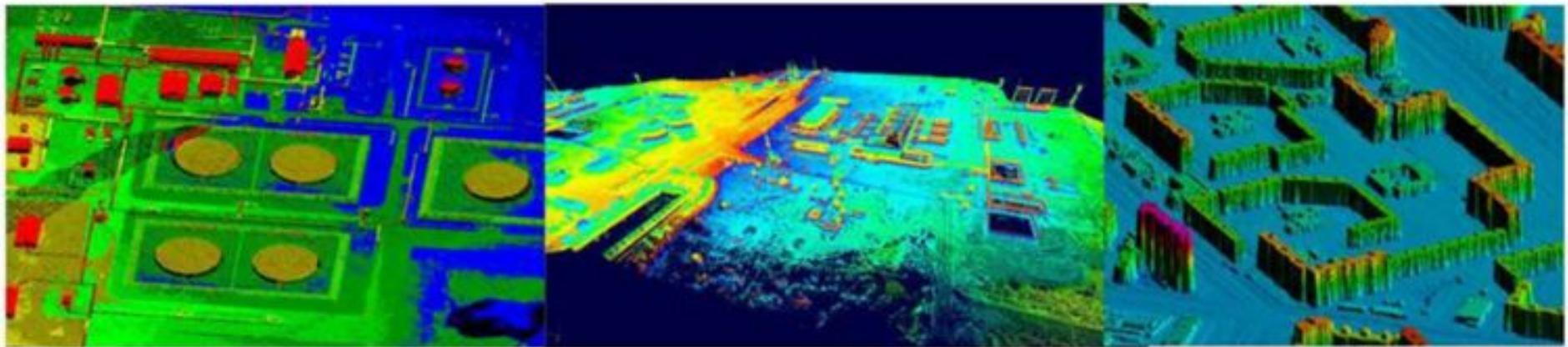
# Недостаток ДДЗ

В условиях плотной городской **застройки** или высокой **залесенности** полученная ЦМР будет отражать геометрию зданий и сооружений или полога леса и требовать вмешательства **оператора** в автоматизированный процесс ее построения.

## Иные методы создания ЦМР ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

1

Применяется для высокоточного картографирования линейных и площадных объектов в масштабах 1:500–1:5000 с воздушных носителей (самолет, вертолет, автожир). Точность — 5–8 см, детальность отрисовки — 20–50 см, производительность — до 800 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки до 1000–1500 м). Недостаток — низкая подробность при съемке вертикальных плоскостей (например, стен).



3

## ПОЛЕВОЙ МЕТОД

В настоящее время является самым точным методом создания ЦМР. Используемые приборы представлены на рисунках.

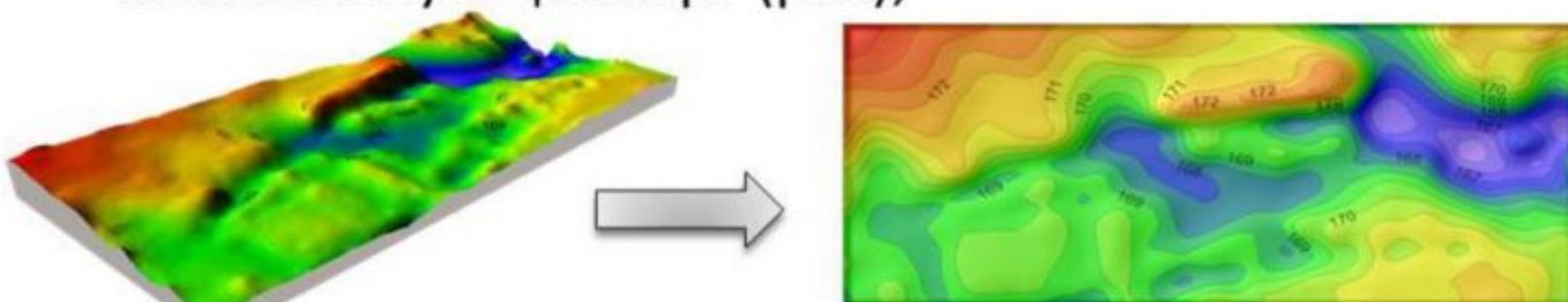


# Популярные приложения ЦМР

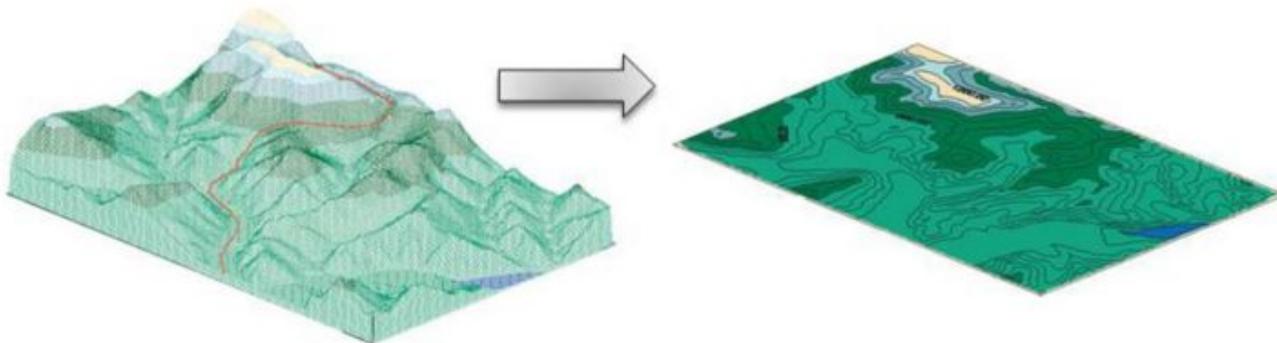
- инженерно-изыскательские работы  
(проектирование трубопроводов, авто- и железнодорожных магистралей, выбор места для строительства зданий)
- охрана природы  
(моделирование поверхностного стока и механизма миграции загрязнений),
- телекоммуникационные задачи  
(оптимизация сетей радиовещания и средств мобильной связи)

## Возможности ЦМР

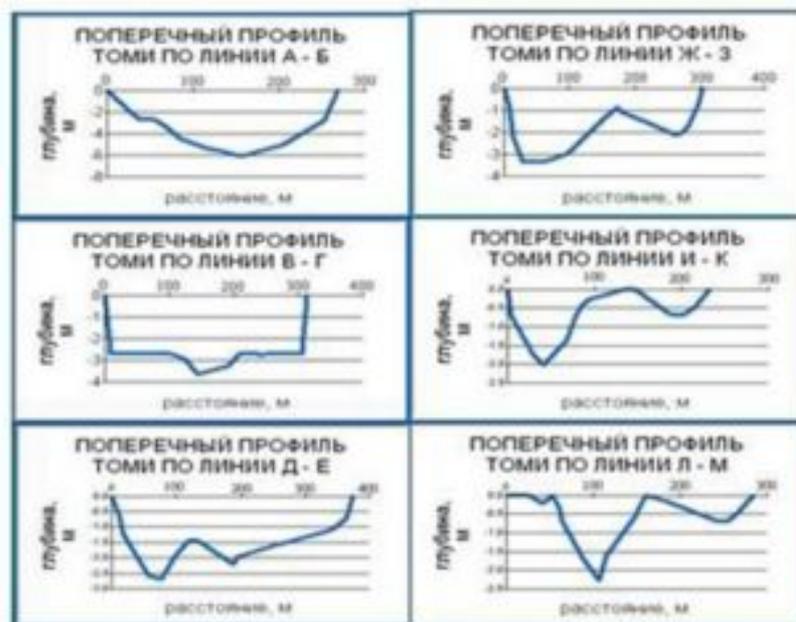
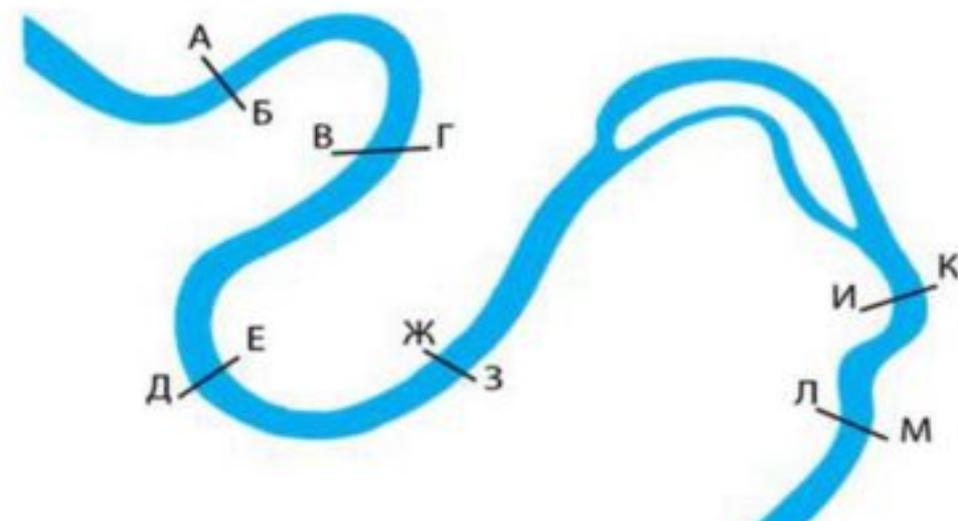
- Быстрое получение информации высоте, угле наклона, экспозиции склона в любой точке модели;
- Анализ крутизны и экспозиций склонов, построение соответствующих карт (рис);



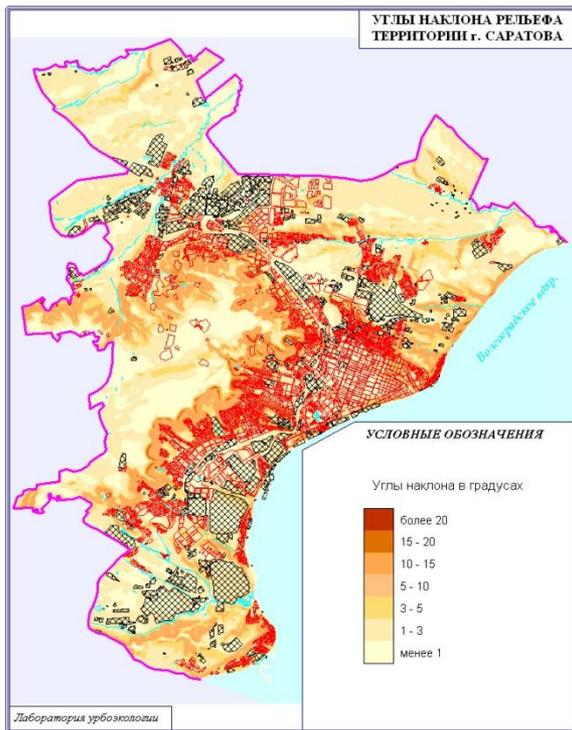
- Генерация горизонталей (рис);



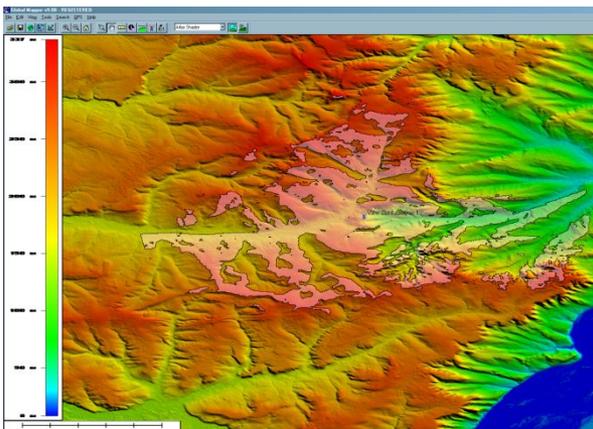
- Построение профилей поперечного сечения рельефа по направлению прямой или ломаной линии (рис);



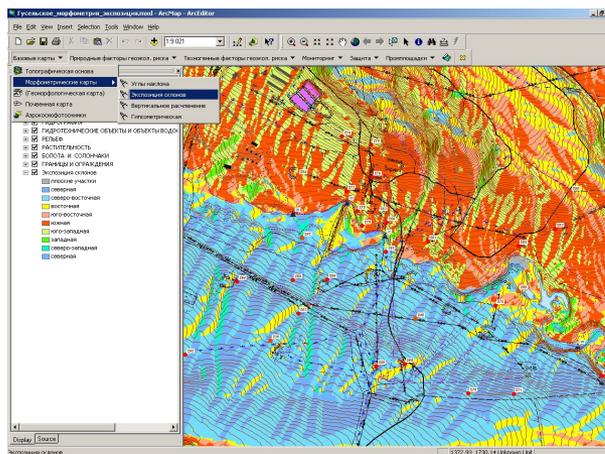
# Расчет морфометрических показателей



Анализ видимости



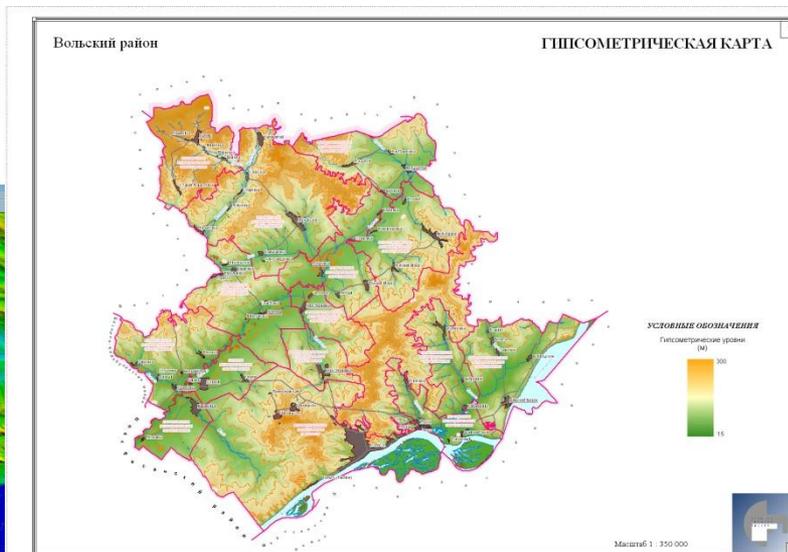
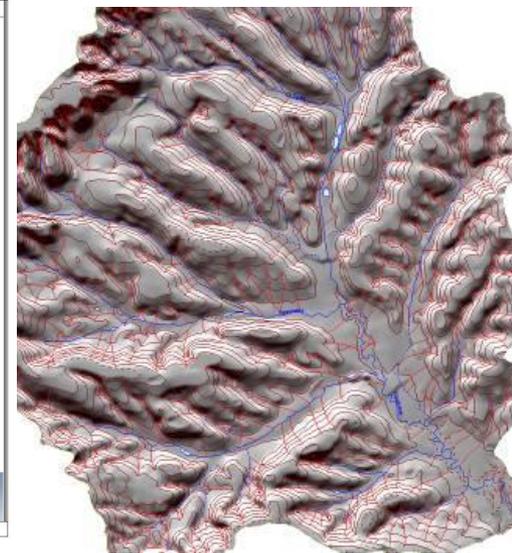
Экспозиция склонов



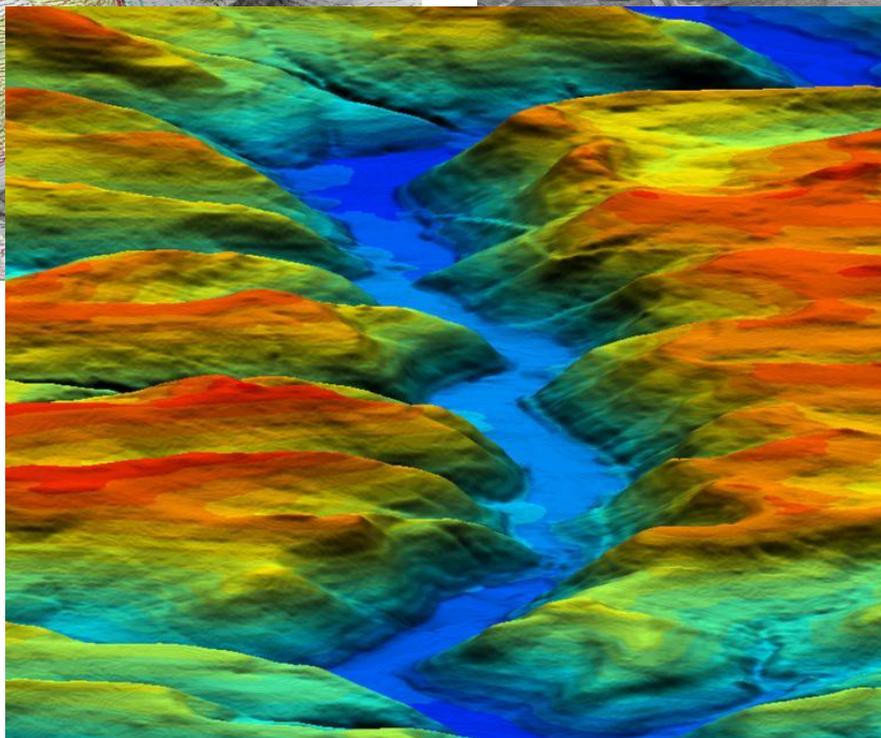
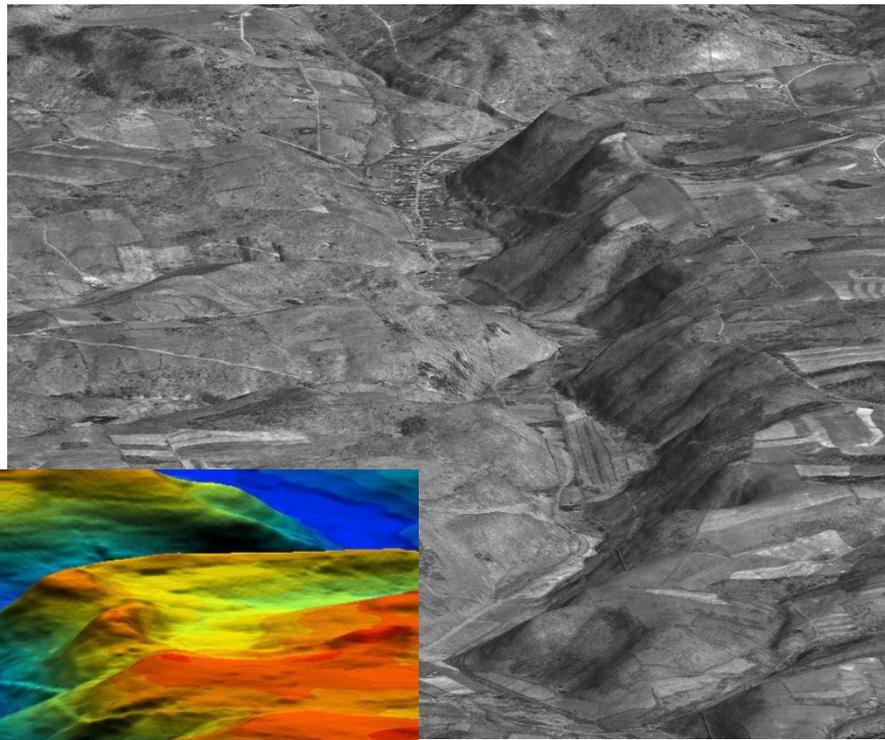
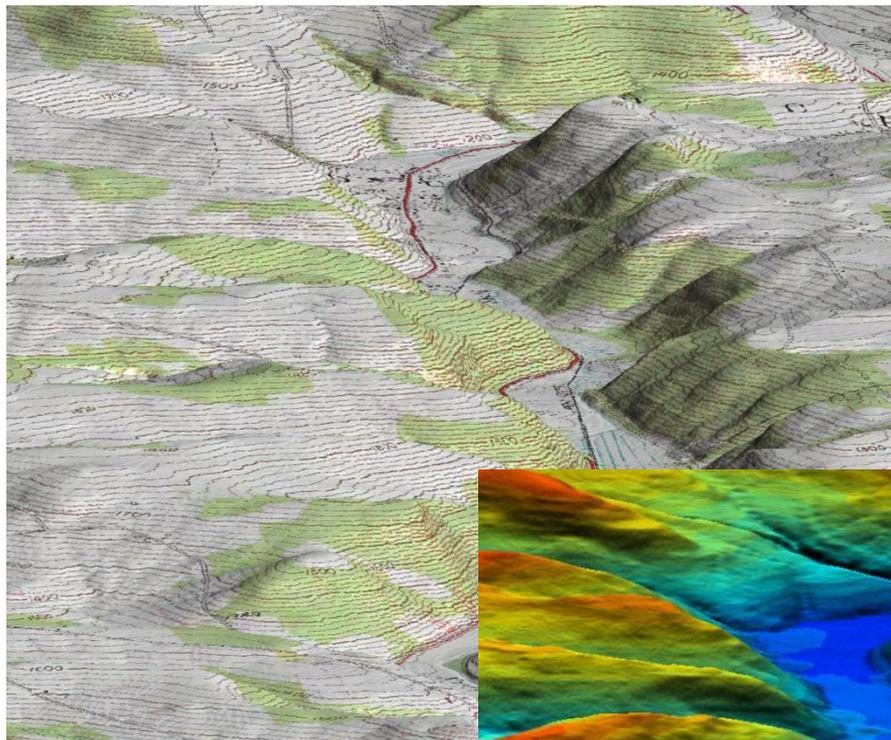
Кривизна поверхности



Светотеневая  
отмывка рельефа



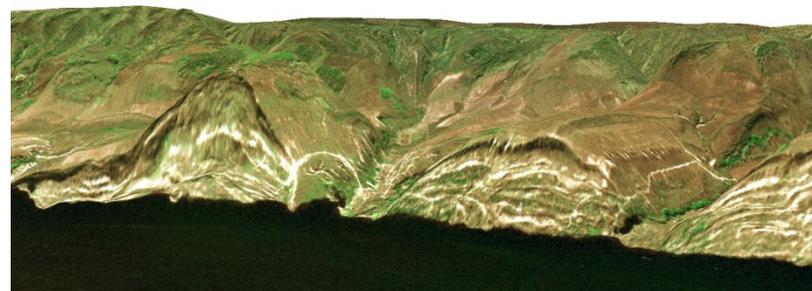
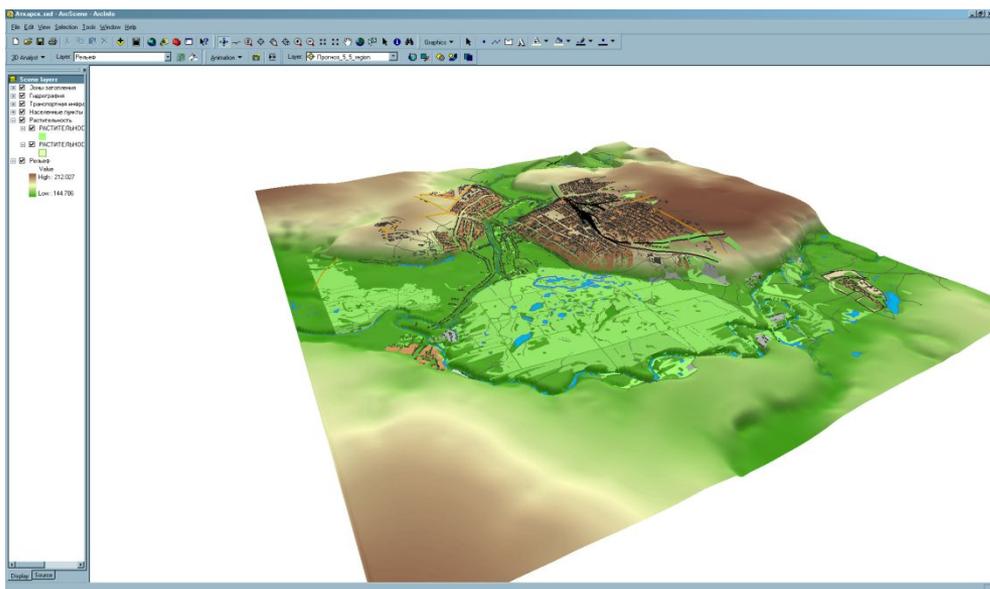
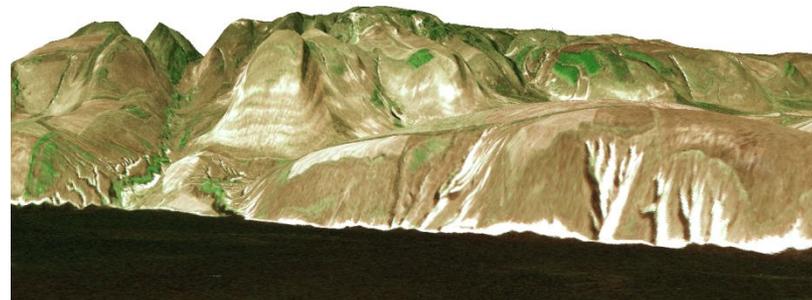
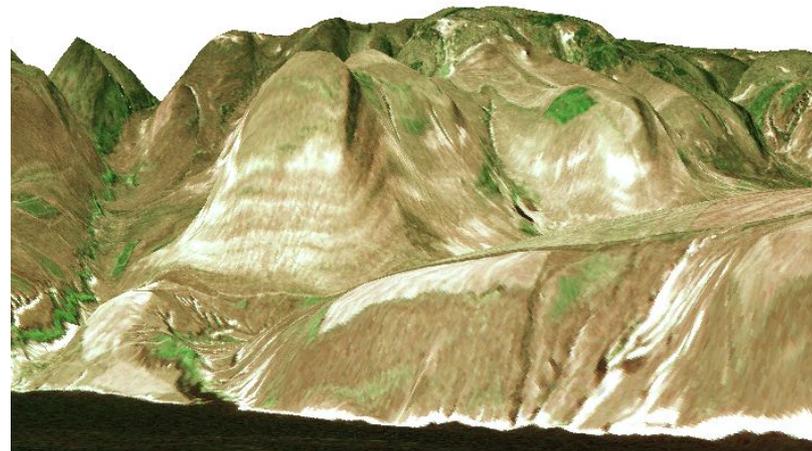
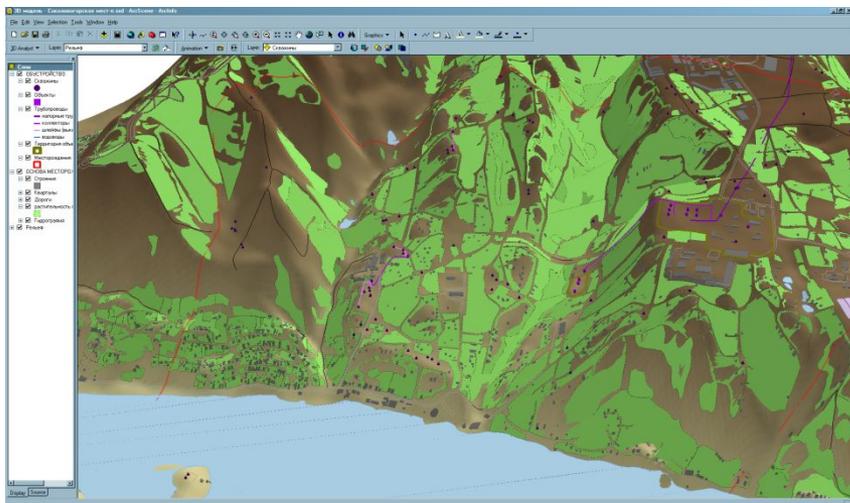
# Трёхмерные модели ландшафтов



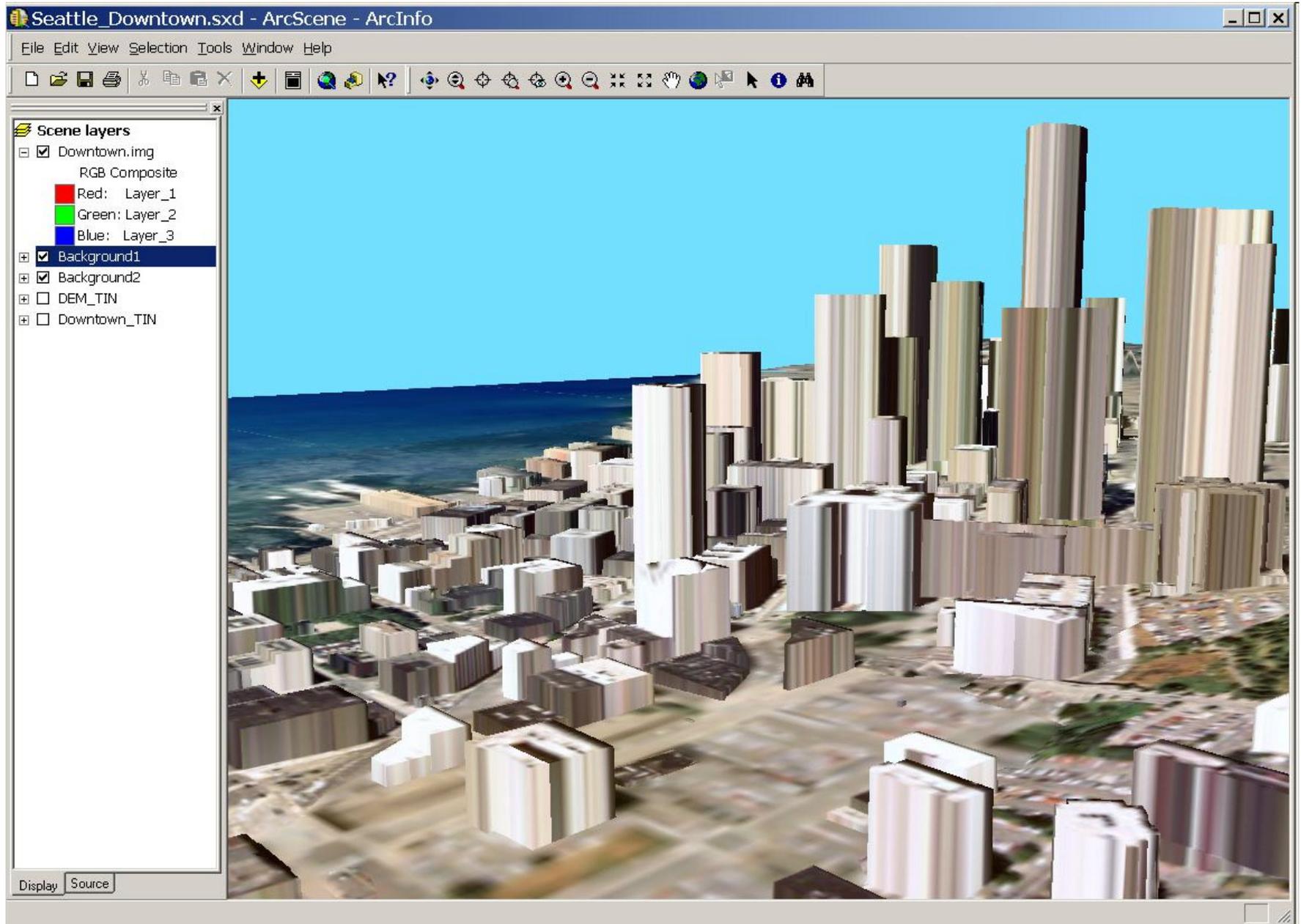




# Трёхмерная визуализация рельефа



# 3D моделирование городских территорий

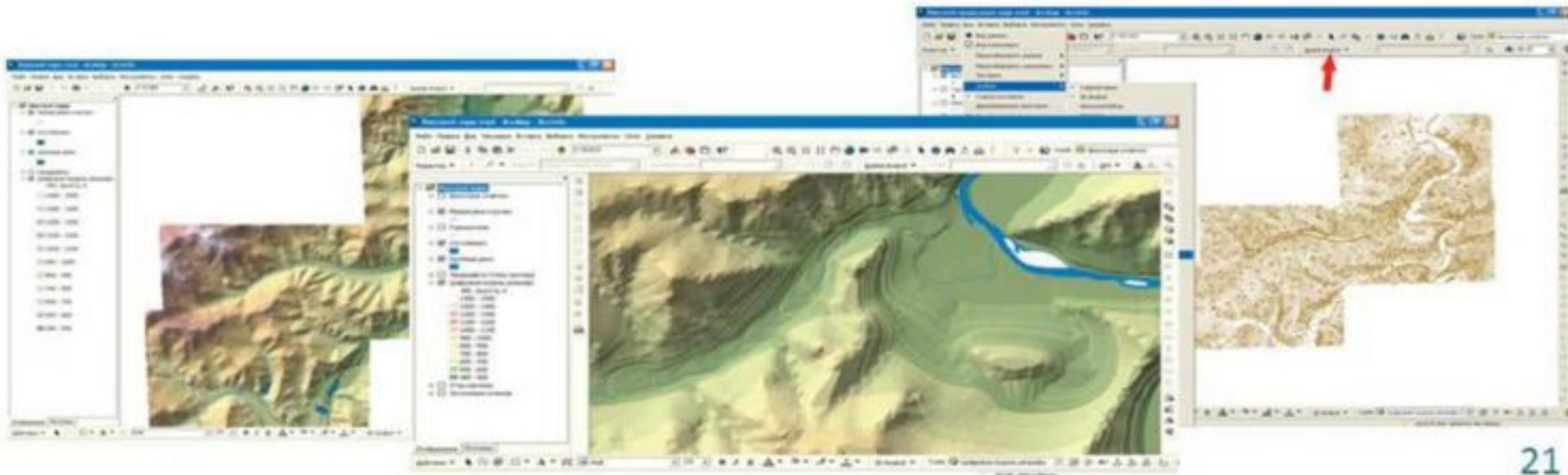




# Программные комплексы для создания и обработки ЦМР

1

**ArcGIS** — семейство геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Применяются для земельных кадастров, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования и других областях.



# Программные комплексы

## для создания и обработки ЦМР

2

LEICA GEOSYSTEMS — часть полнофункционального программного комплекса ERDAS Imagine и предназначена для создания виртуальных моделей местности на основе цифровых моделей рельефа и изображений данных дистанционного зондирования.

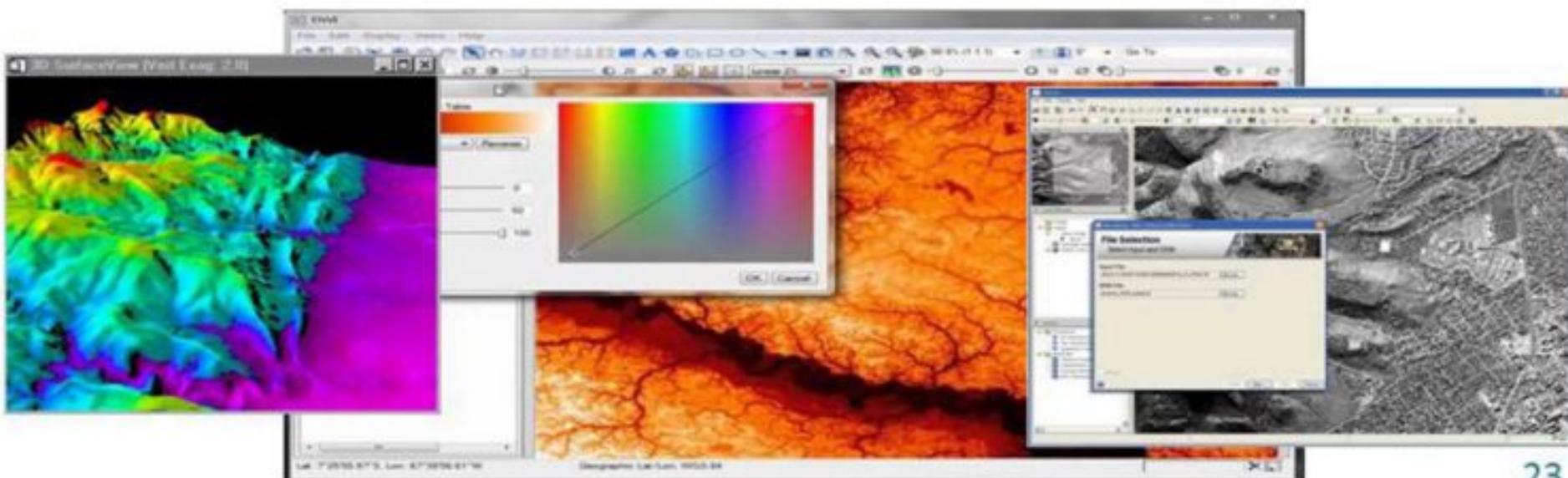


# Программные комплексы

## для создания и обработки ЦМР

3

ENVI — программный продукт для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включающий набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных.



# 5

## Программные комплексы для создания и обработки ЦМР

PHOTOMOD — первая разработанная в России цифровая фотограмметрическая система. Применяется для фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования Земли.

