

# Картографические проекции & системы координат

Т. Сёмина, Н. Сазонтова по мотивам  
презентации Melita Kennedy

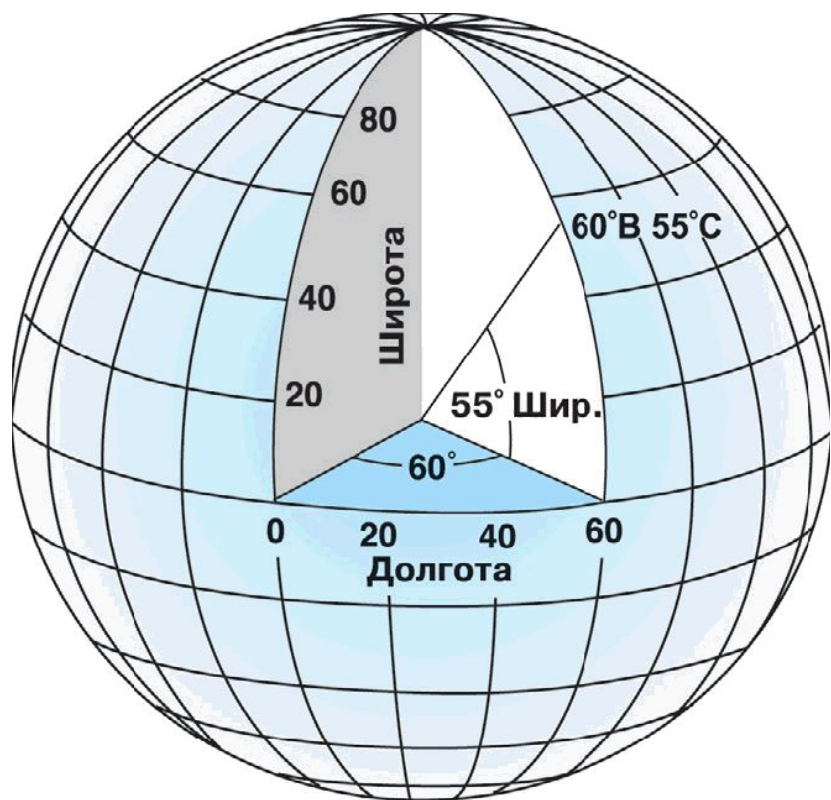
# Проекции и системы координат

- Земля – трехмерное пространство
- Карта – двумерная плоскость
- Географическая система координат расположена в трехмерном пространстве
- Картографические проекции переводят 3-D в 2-D
- Перевод 3-D в 2-D невозможен без искажений

# Географическая система координат

- Описывает местоположение на трехмерной поверхности
- Угловые измерения по широте/долготе
- Единицы измерения - градусы
- Это не картографическая проекция!

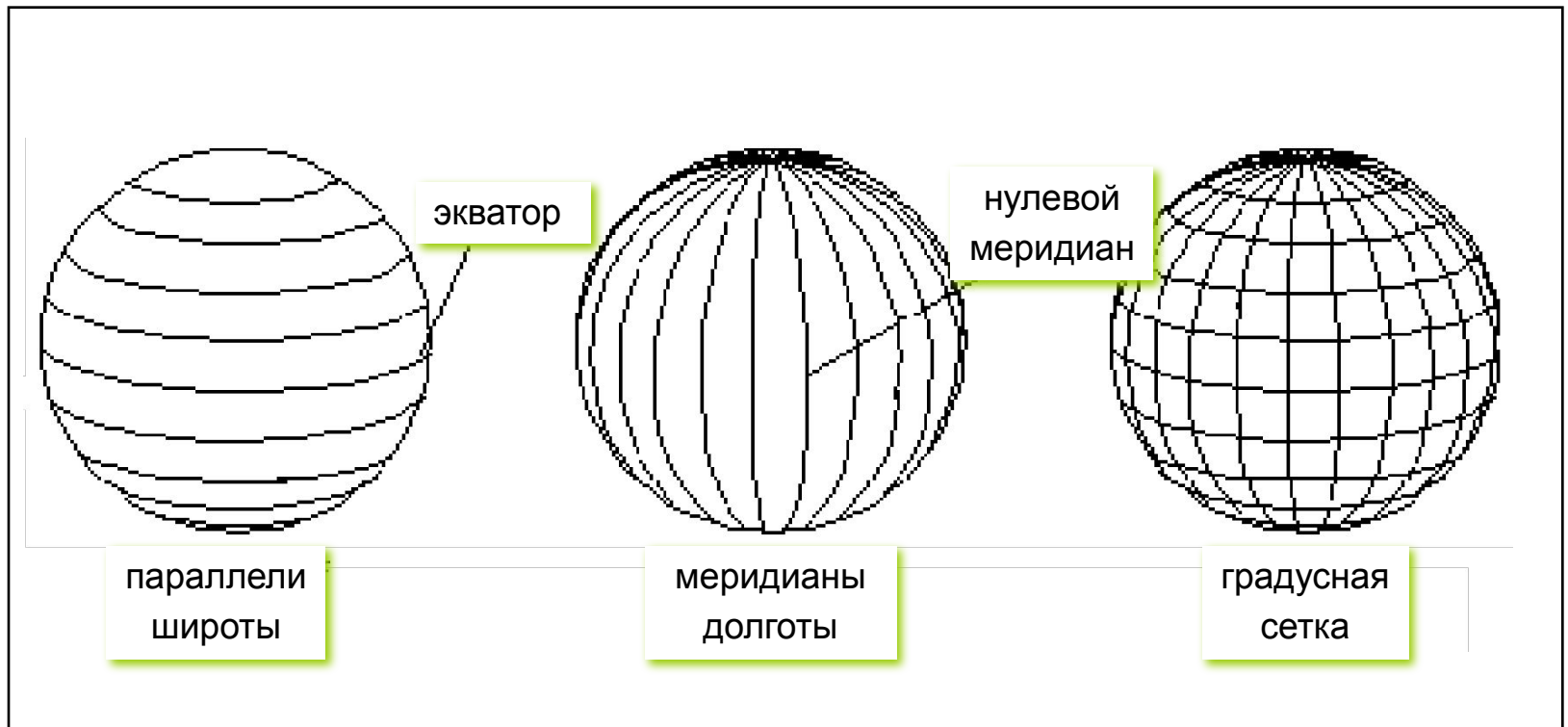
# Общегеографические системы координат



**Географическая  
(геодезическая) система  
координат**

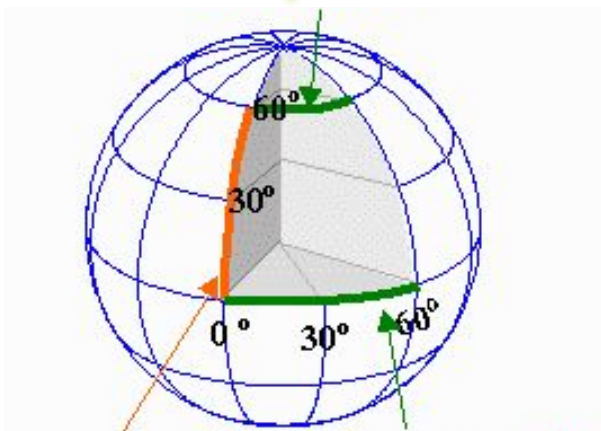
- **Географическая система координат (ГСК) использует трехмерную сферическую поверхность для определения местоположения объектов на поверхности Земли.**
- **ГСК включает угловые единицы измерения координат, нулевой меридиан и датум (основанный на сфероиде).**
- **Местоположение объекта определяется значениями широты и долготы. Единица измерения - градус.**

# Широта и долгота



# Широта и долгота

Расстояние в  $60^\circ$  по  
долготе на  $60^\circ$   
широте



Расстояние  
в  $60^\circ$  по  
широте

Расстояние  
в  $60^\circ$  по  
долготе на  
экваторе

- Нерегулярные измерения
- Меридианы сходятся у полюсов

$1^\circ$  по долготе на  
экваторе = 111 km

на  $60^\circ$  широте = 55.8 km

на  $90^\circ$  широте = 0 km

# Нулевой меридиан

- Начальный для линий долготы
- Обычно используется Гринвичский, Англия
- Могут быть и другие, например, Парижский

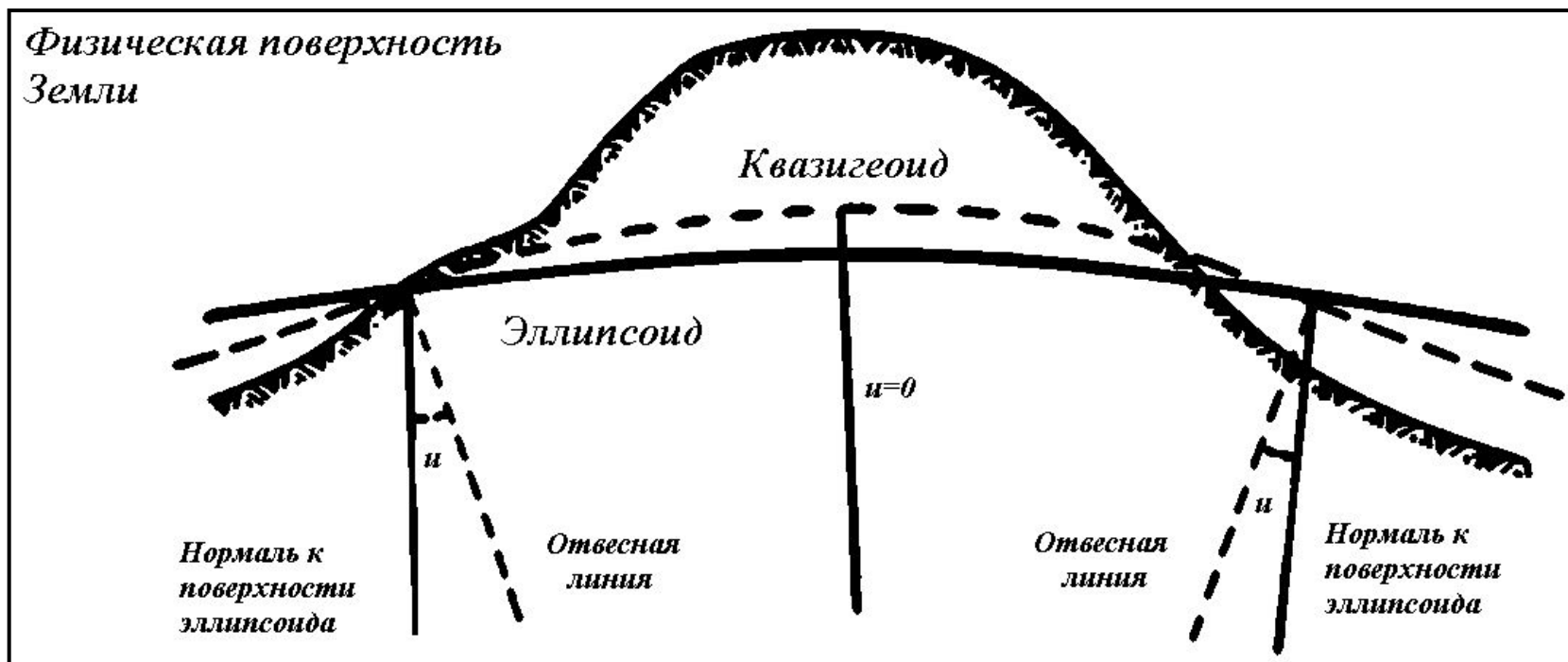
# Модели трехмерной геометрии Земли

- Шар (сфера)
- Эллипсоид
- Геоид (квазигеоид)



# Некоторые понятия теории фигуры Земли

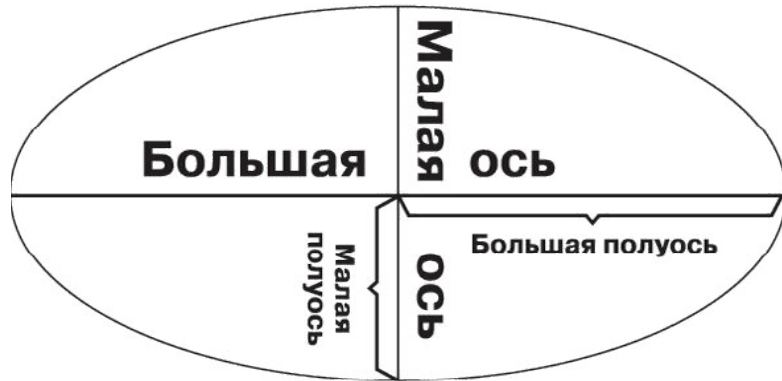
- Уровенная поверхность - непрерывная поверхность во всех точках нормальная направлению отвесных линий (направлению силы тяжести).
- Геоид - поверхность Мирового океана, находящаяся в состоянии покоя.
- Квазигеоид – упрощенная модель геоида.
- Эллипсоид вращения - математическая фигура, аппроксимирующая форму Земли.



Нерегулярная поверхность геоида аппроксимируется регулярным эллипсоидом

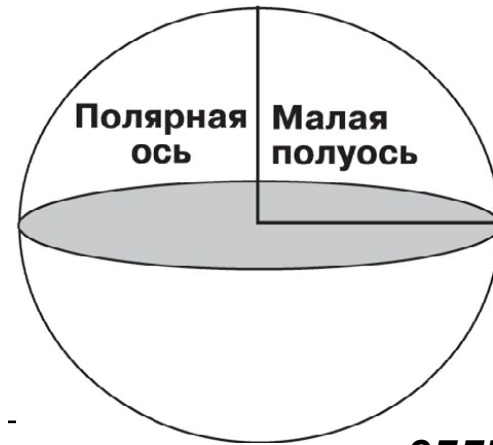
# Эллипсоид вращения

## Параметры эллипса

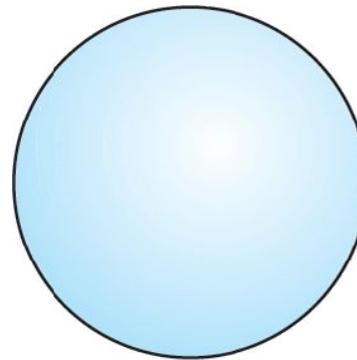


$$f = (a - b) / a$$

$f$  - коэффициент сжатия  
 $a$  - большая полуось  
 $b$  - малая полуось

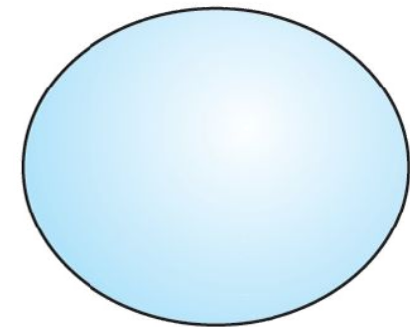


Двухосный эллипсоид вращения



Сфера

$$f=0$$



Сфероид (эллипсоид)

$$f_{\text{земли}} = 0.003353$$

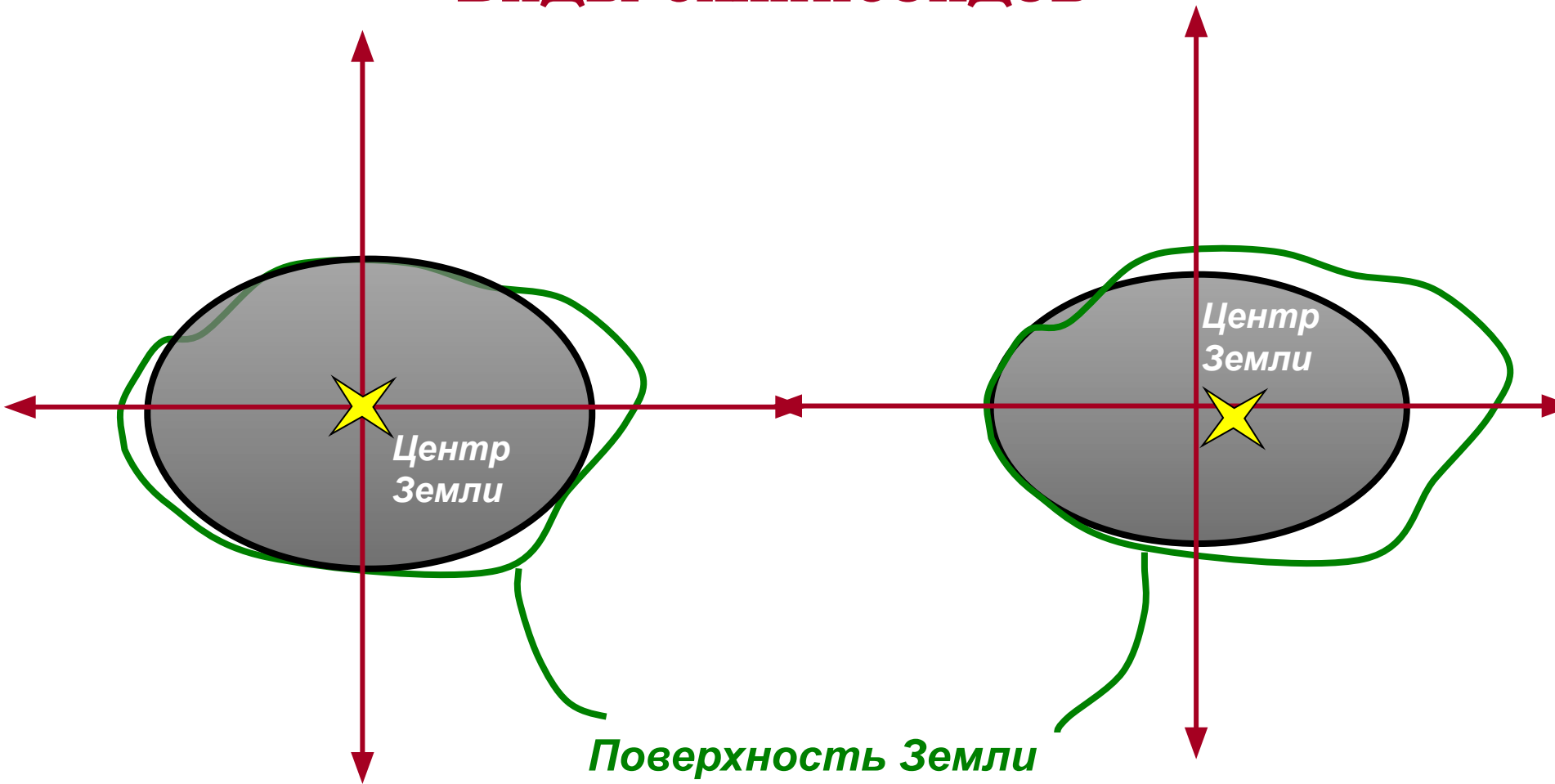
# Форма Земли

- Земля как сфера
  - Для упрощения
  - Для мелкомасштабных карт (менее чем 1:5,000,000, глобус)
- Земля как эллипсоид
  - Для средне- и крупномасштабных карт (> 1:1,000,000)

# **Системы геодезических координат (Датумы)**

- **Относительная система отсчетов для исходной точки (original point) на Земной поверхности**
- **Определяет направление и ориентацию линий широты и долготы**
- **Определяет эллипсоид и его позицию относительно центра Земли**

# Виды эллипсоидов



*Общеземной эллипсоид  
описывает фигуру  
Земли в целом*

*Референц-эллипсоид  
оптимален лишь для  
определенной части Земли*

# Примеры земного эллипсоида

| НАЗВАНИЕ         | ДАТА | Большая полуось | Малая Полуось     | ПРИМЕНЕНИЕ                                       |
|------------------|------|-----------------|-------------------|--|
| Айри (Airy)      | 1830 | 6377563.396     | 6356256.91        | Великобритания                                   |
| Бессель (Bessel) | 1841 | 6377397.155     | 6356078.9628<br>4 | Центральная Европа,<br>Чили, Индонезия           |
| Кларк (Clarke)   | 1866 | 6378206.4       | 6356583.8         | Североамериканский<br>континент,<br>Филиппины    |
| Хелмет (Helmet)  | 1907 | 6378200         | 6356818.17        | Египет   |
| Красовский       | 1940 | 6378245         | 6356863.0188      | СНГ, Россия,<br>некоторые страны<br>вост. Европы |
| Сфера            |      | 6370997         | 6370997           | Весь мир (мелкий<br>масштаб)                     |
| WGS84            | 1984 | 6378137         | 6356752.31        | Весь Мир (GPS<br>приемники)                      |

# Система геодезических координат

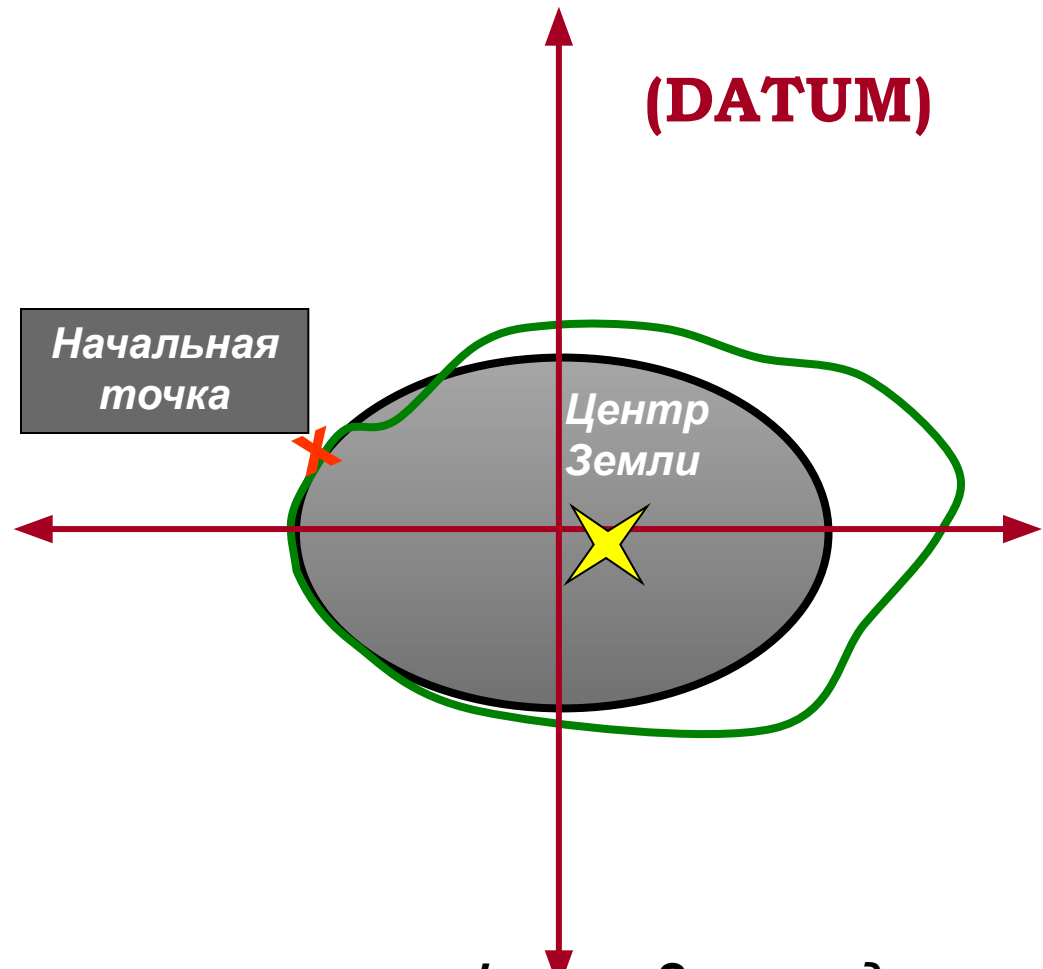
Контрольная точка в  
г. Редландс, штат Калифорния

**NAD83:**

**-117° 12' 57.75961" з.д.  
34° 01' 43.77884" с.ш.**

**NAD27:**

**-117° 12' 54.61539 з.д.  
34° 01' 43.72995" с.ш.**



- В то время как сфероид аппроксимирует форму Земли, датум определяет положение сфероида относительно центра Земли.
- Координаты “начальной точки” зафиксированы, и все остальные точки являются расчетными по отношению к этой точке.

# Датумы

- 2 типа координатных систем
  - геоцентрические (WGS84, NAD83)
  - топоцентрические (локальные, национальные) (СК-42, СК-95, ED50)



- Локальный датум
- Координатная система

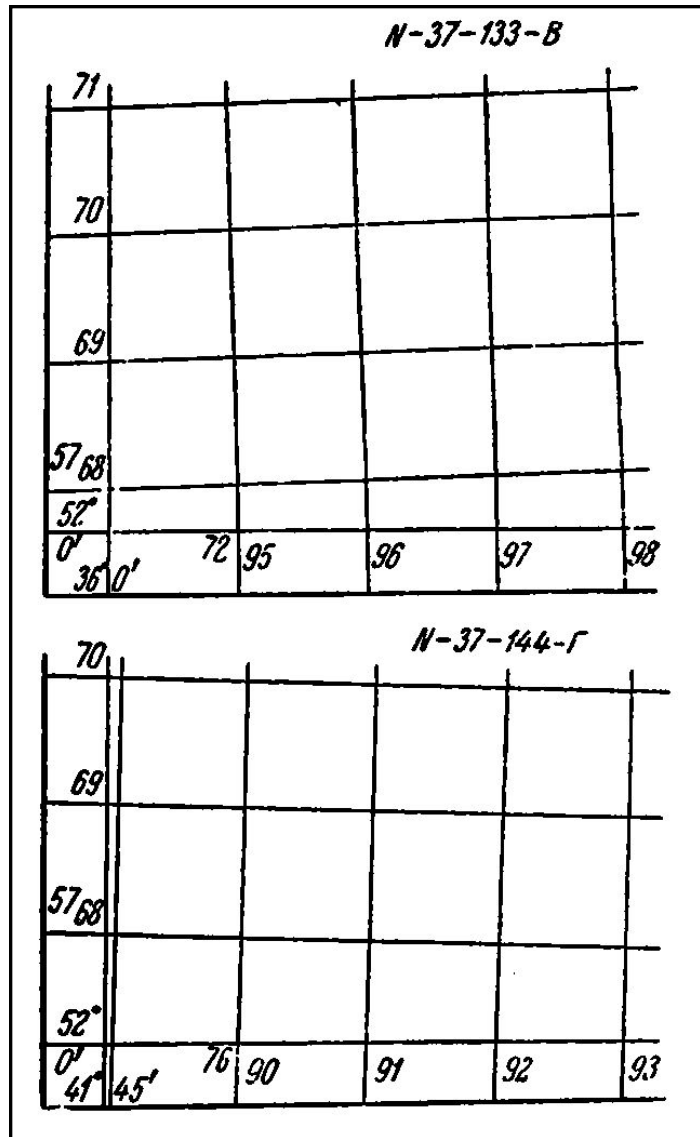
- Геоцентрический датум
- Координатная система

- Поверхность Земли
- Геоцентрическая система координат (WGS84)
- Топоцентрический датум (локальный) (СК-42)

# Датумы, используемые в России

- СК-42
  - Сфероид Красовского
  - Локальная система координат, Пулково 1942
  - Территория России
- СК-95
  - Сфероид GRS80
  - Геоцентрический Датум
  - GPS-совместимый

# Системы координат проекций



Системы координат проекций определяют правила проецирования координат на плоскую двумерную поверхность.

В отличие от географической системы координат спроецированная система координат имеет постоянные длины, углы и площади на плоской двумерной поверхности.

Спроецированная система координат является производной от географической системы координат

# Проектирование

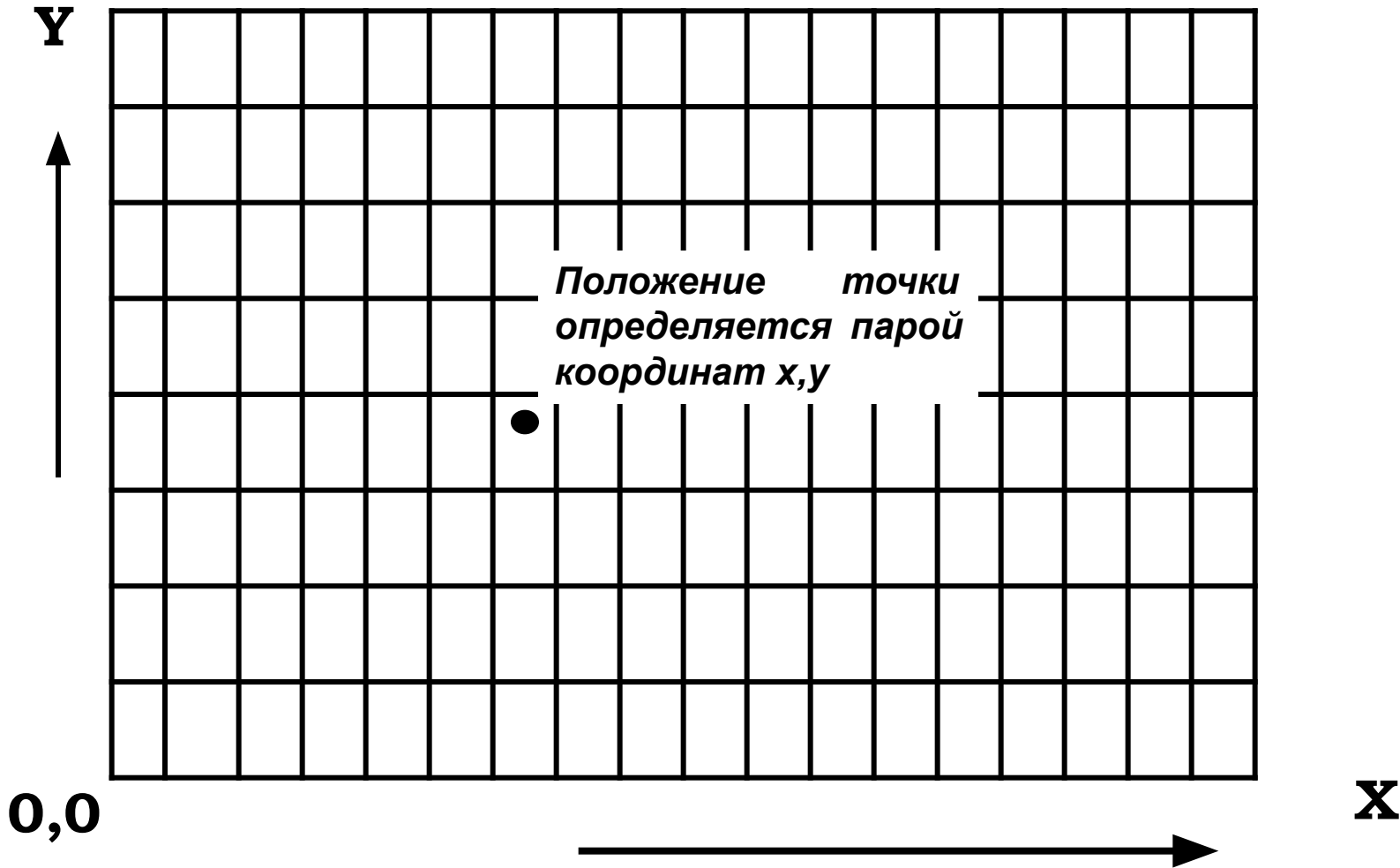
- Известны как проекции или проективные координатные системы
- Линейные единицы измерения
- Длины, углы, и площади постоянны

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ

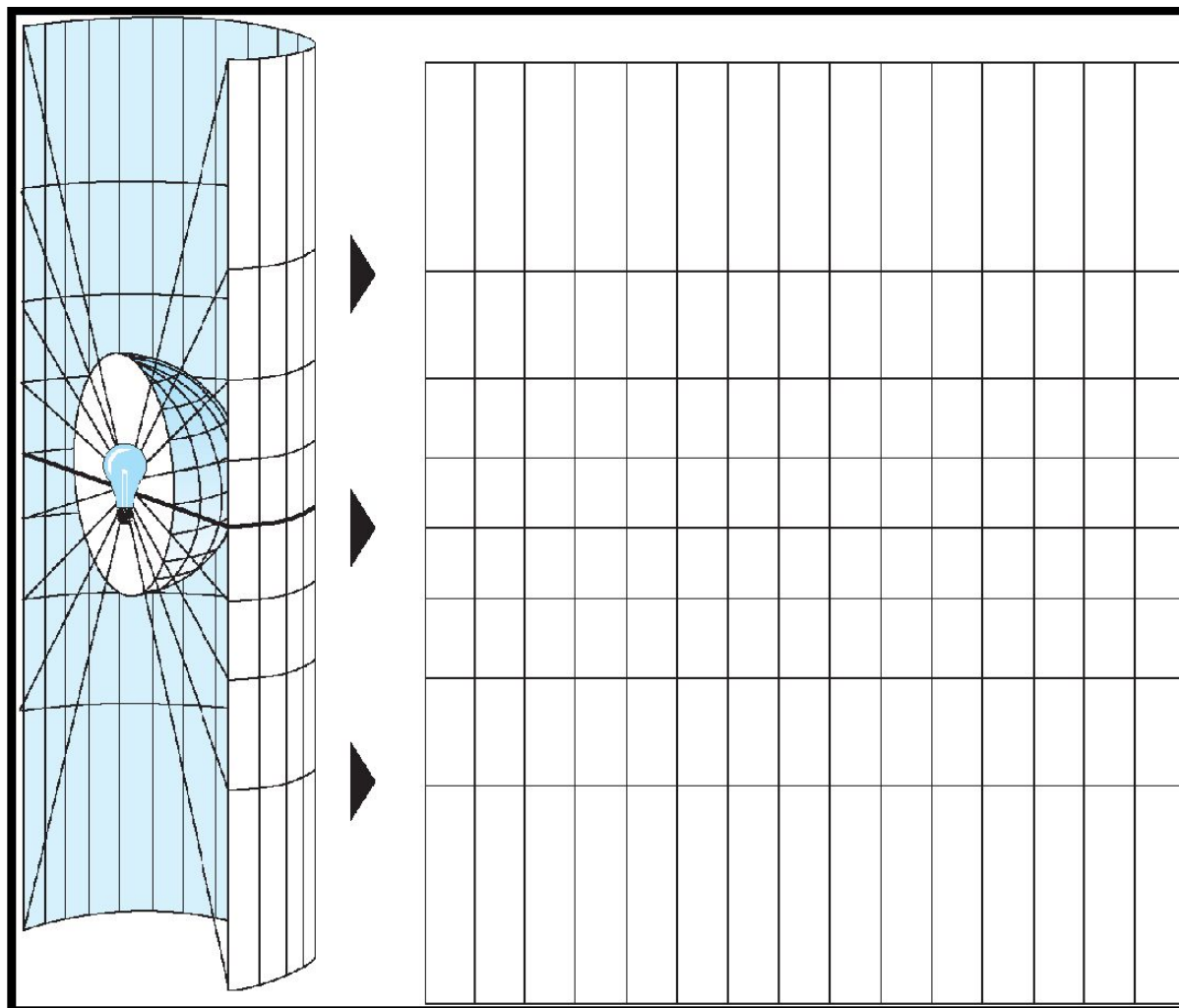
- Математическое преобразование трехмерной поверхности Земли в двумерную плоскость
- $(\lambda, \phi)$        $(x, y)$



# Прямоугольная или Декартова система координат

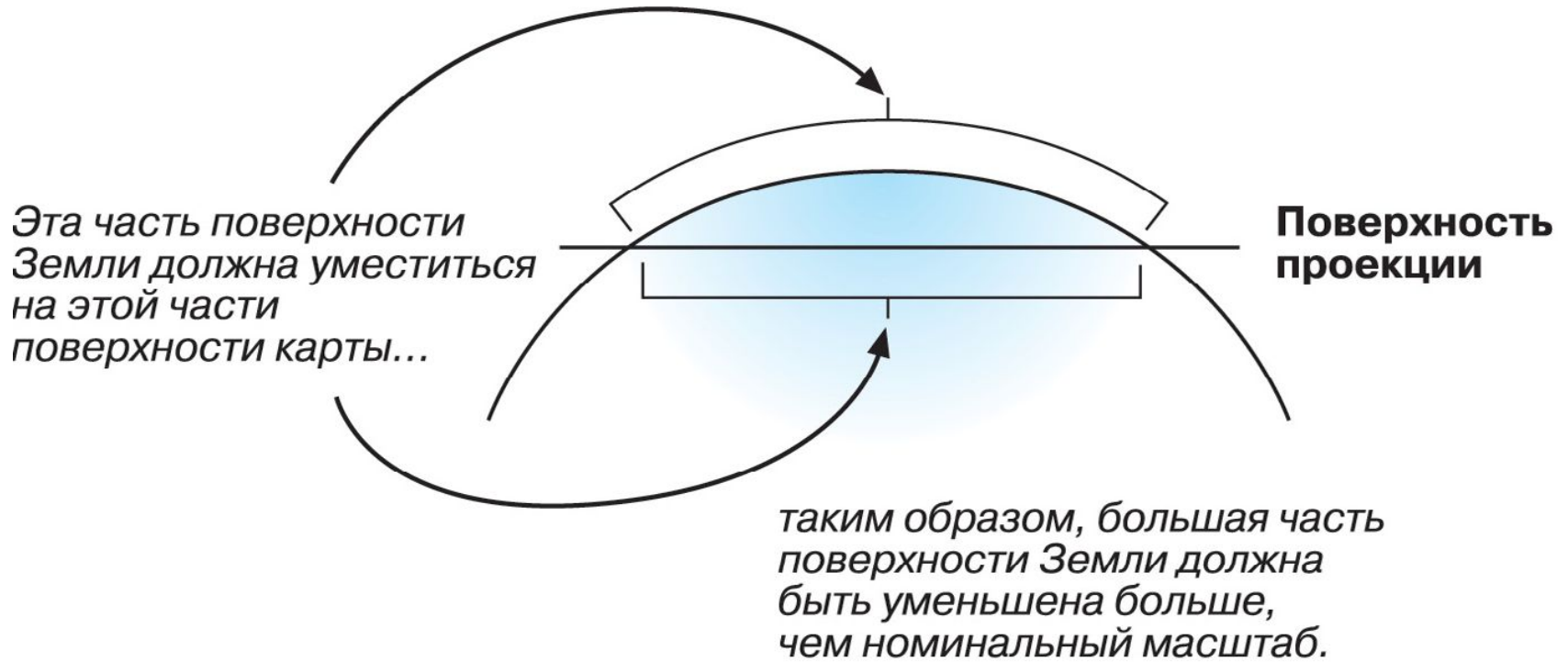


# Способ проектирования Земной поверхности на плоскость



*Картографическая сетка географической системы координат, спроецированной на цилиндрическую поверхность.*

# Проектирование понятие масштаба





# Понятие о масштабах

1. Масштаб длин
2. Масштаб площадей
3. Главный или общий масштаб

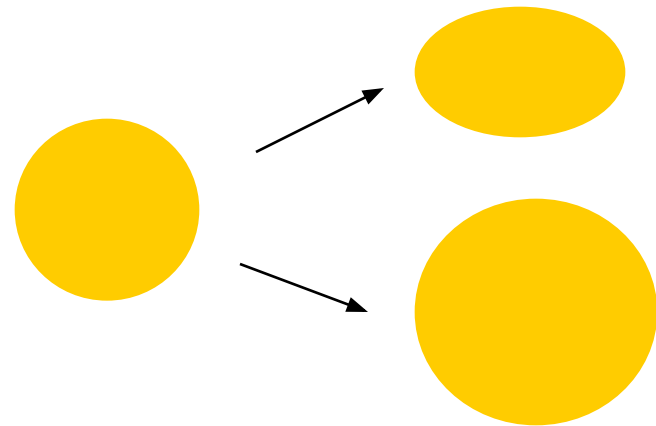
# Искажения

- Перенос сферы на план сопровождается растяжением или сокращением геометрических фигур

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ

- Искажения:

- Фигур
- Площадей



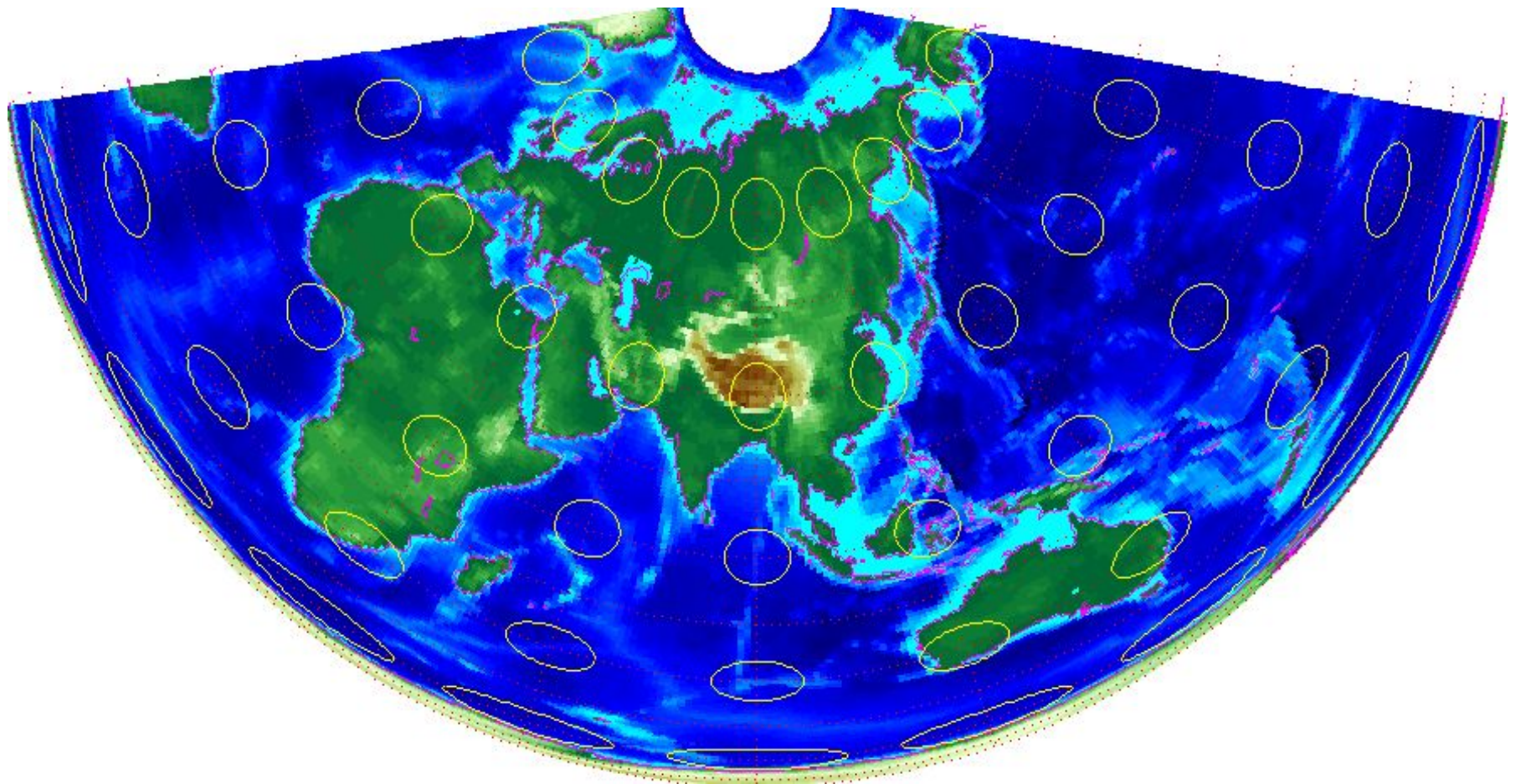
- Расстояний
- Углов



# Классификация проекций по виду искажений

- **Конформные (равноугольные)**
  - сохраняют форму, но искажают площади, что делает измерения площадей на карте некорректными
- **Равноплощадные (равновеликие)**
  - сохраняют площадь, но искажают углы, формы объектов
- **Равнопромежуточные**
  - сохраняют расстояния
- **Азимутальные**
  - сохраняют некоторые истинные направления

# Искажения длин, площадей и углов в проекциях





Альберта равновеликая коническая



Кассини-Зольднера



Равновеликая цилиндрическая



Равнопромежуточная азимутальная



Равнопромежуточная коническая



Равнопромежуточная цилиндрическая



Гномоническая



Аитова-Гаммера



Косая Хата-Меркатора



Ламберта равноугольная коническая



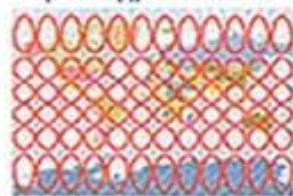
Ламберта равновеликая азимутальная



Меркатора



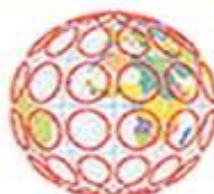
Миллера цилиндрическая



Мольвейде



Ортографическая



Робинсона



Синусоидальная



Стереографическая



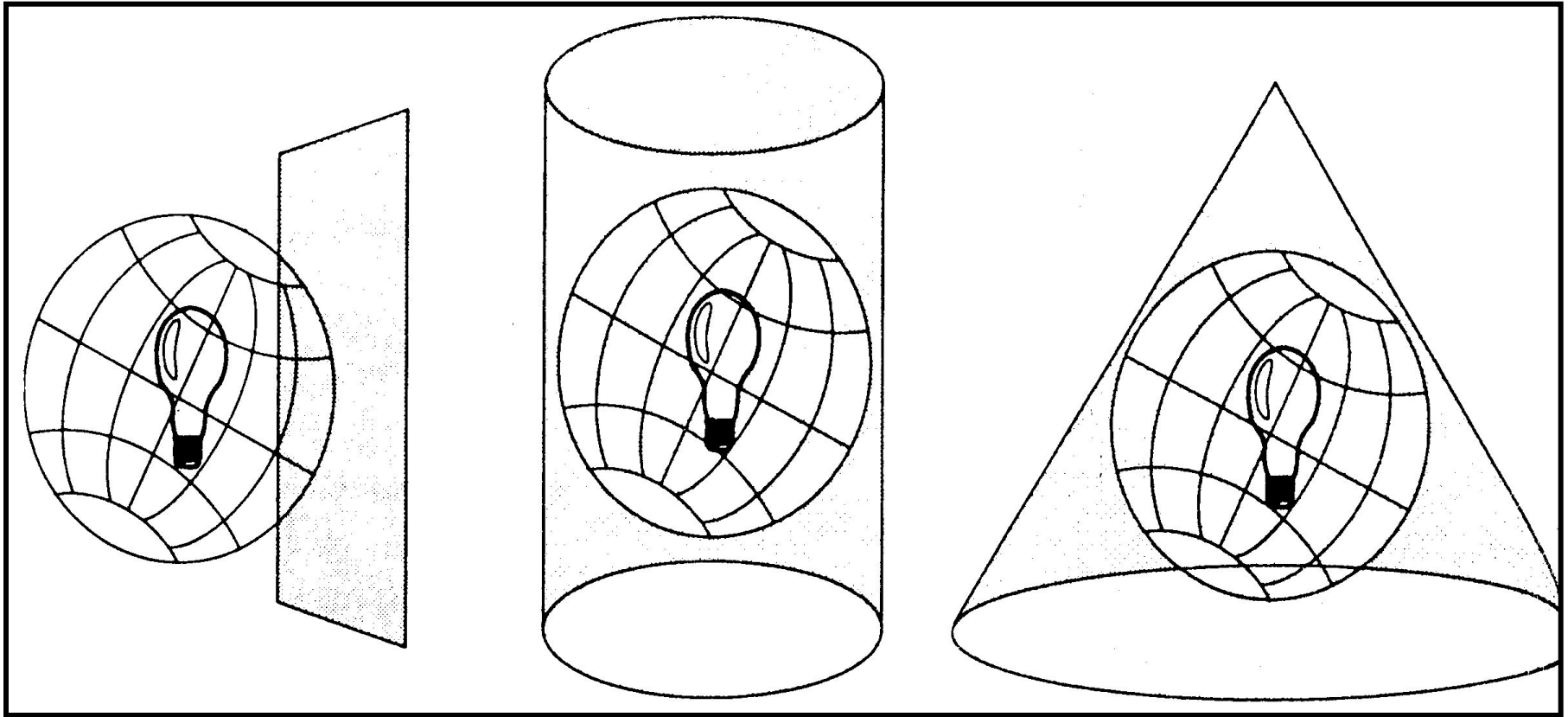
Поперечная Меркатора



Перспективная

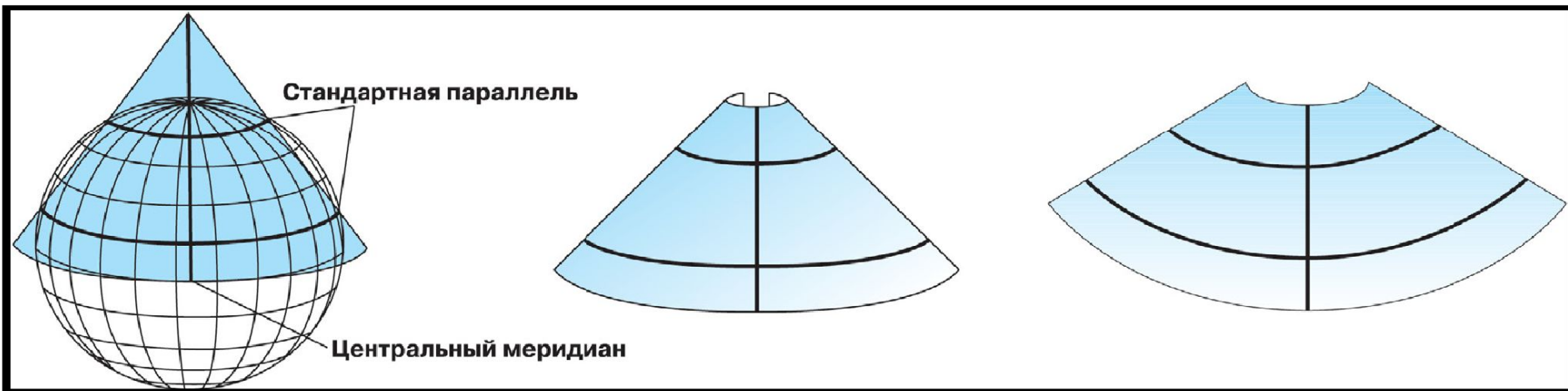
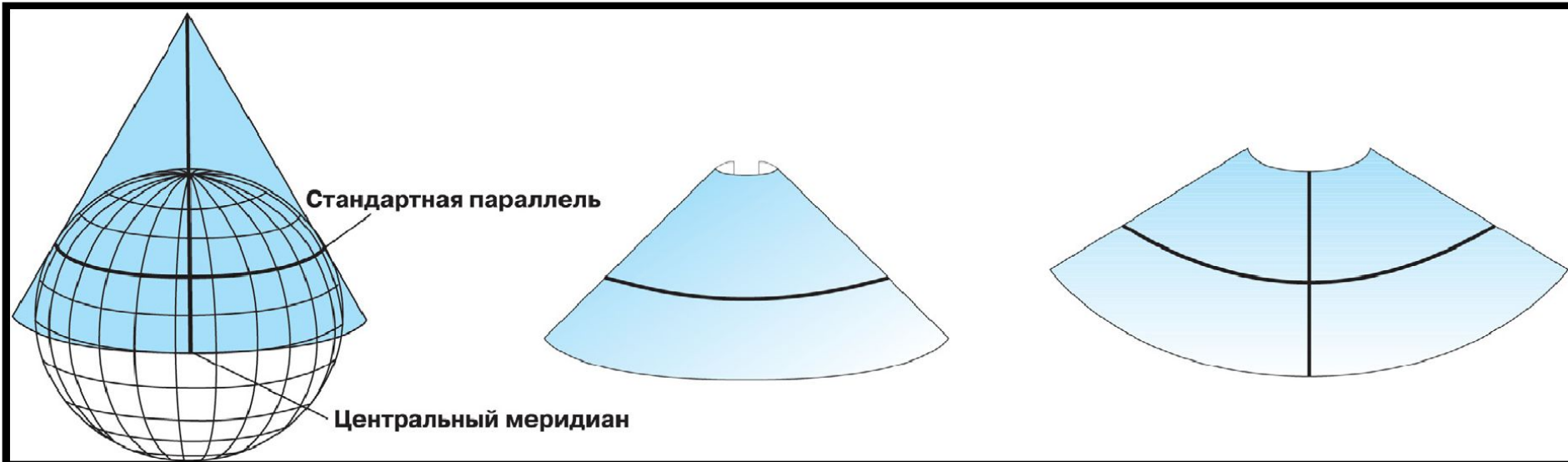


# Семейства проекций



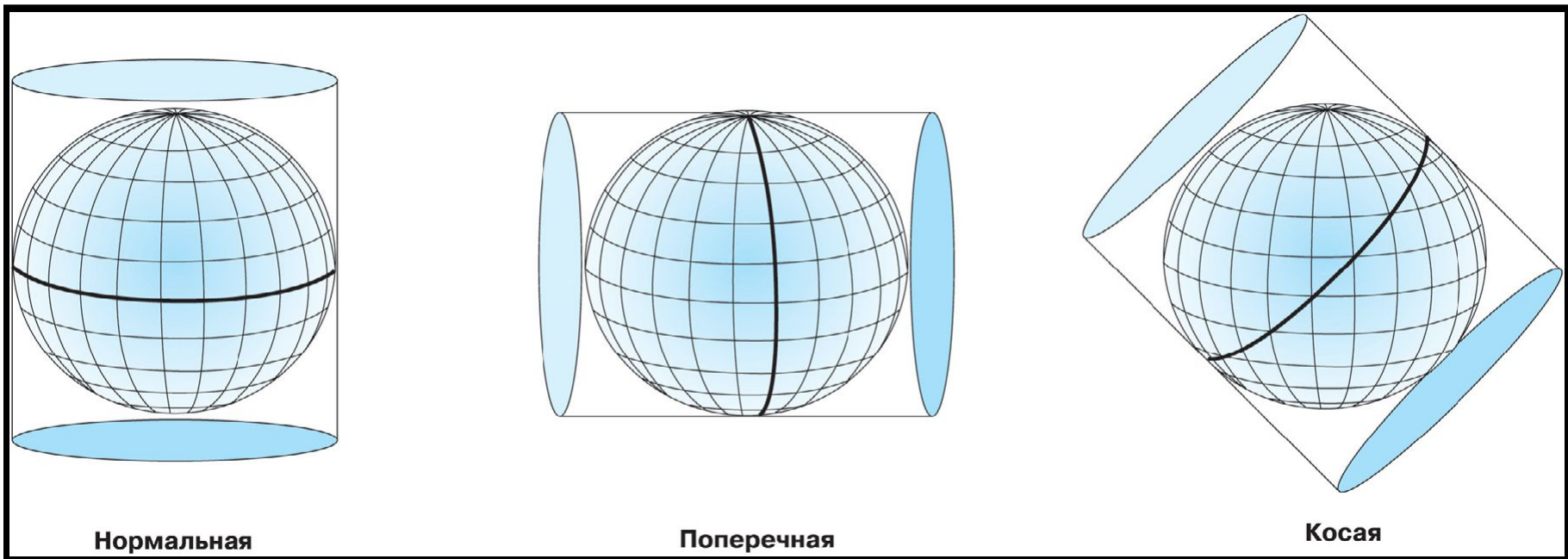
*Три семейства картографических проекций: они могут создаваться с использованием плоских поверхностей, цилиндров, конусов*

# Конические проекции

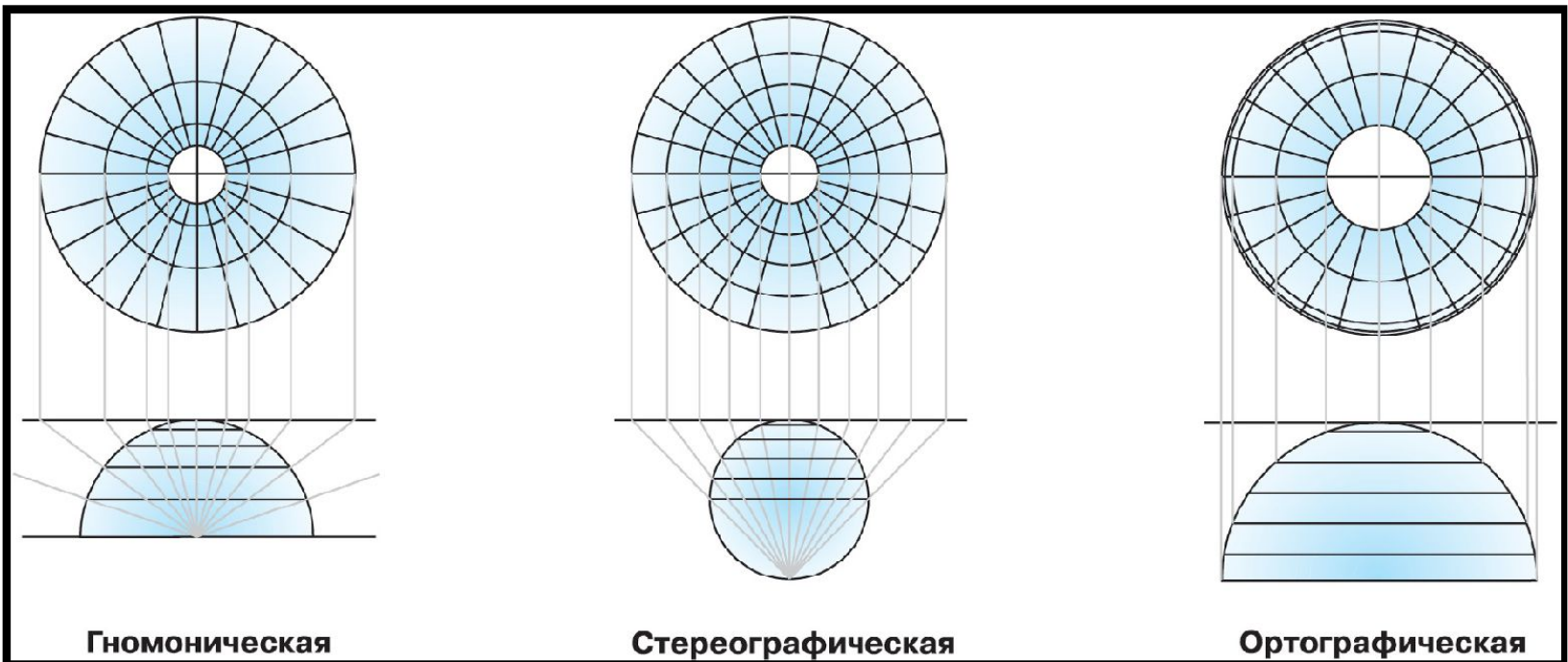




# Цилиндрические проекции



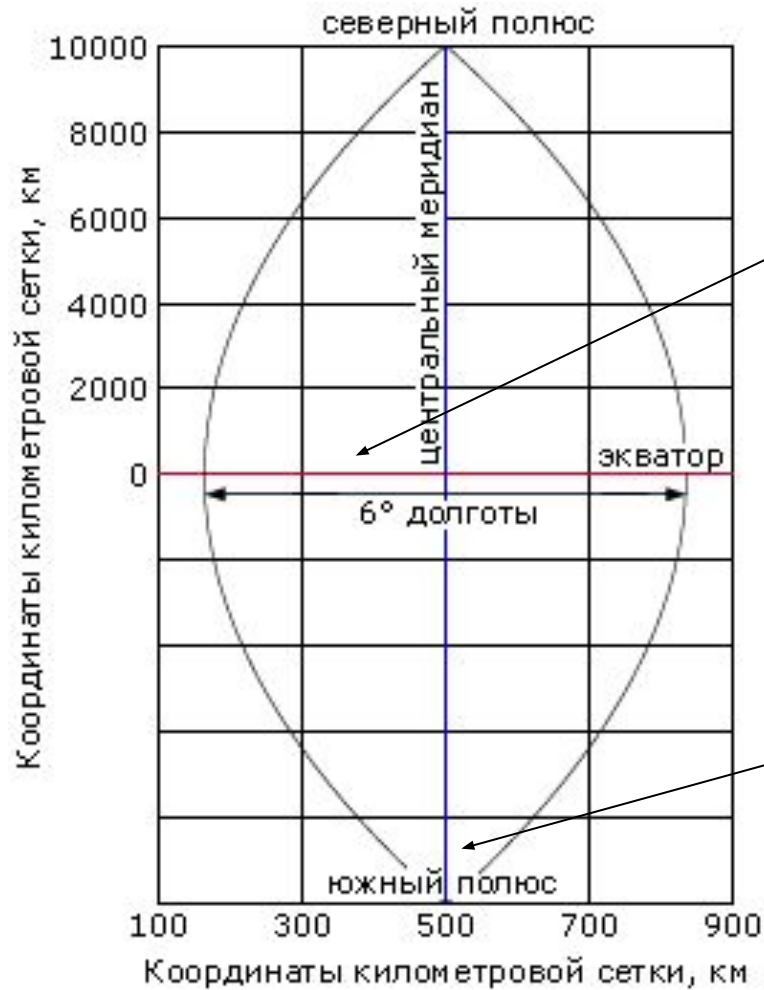
# Проекции на плоскость (азимутальные проекции)



# Угловые и линейные параметры

- **Угловые параметры**
- Центральный меридиан — Определяет начало координат по оси  $x$ .
- Широта начала координат— Определяет начало координат по оси  $x$ .
- Стандартная параллель 1 и стандартна параллель 2— для конических проекций.
- Широта и долгота точек касания и др.
- **Линейные параметры**
- Сдвиг по оси  $x$  —линейное значение, применяемое для определения начала координат по оси  $x$ .
- Сдвиг по оси  $y$  —линейное значение, применяемое для определения начала координат по оси  $y$ .
- Масштабный коэффициент- безразмерная величина, применяемая для центральной точки или линии проекции

# Ложный сдвиг



- Восточный сдвиг

- Северный сдвиг

# Выбор проекции

- Зависит от способа использования карт
  - Тематические = равноплощадные
  - Презентационные = конформные (или равноплощадные)
  - Навигационные = равнопромежуточные, азимутальные

# Выбор, продолжение

- Экстент
- Местонахождение
- Основа проекции:  
сфероид/датум?

# Шаги проектирования

- Необходимо знать
  - Единицы измерения
  - Координатную систему (datum)
  - Картографическую проекцию
  - Проекционные параметры



# UTM

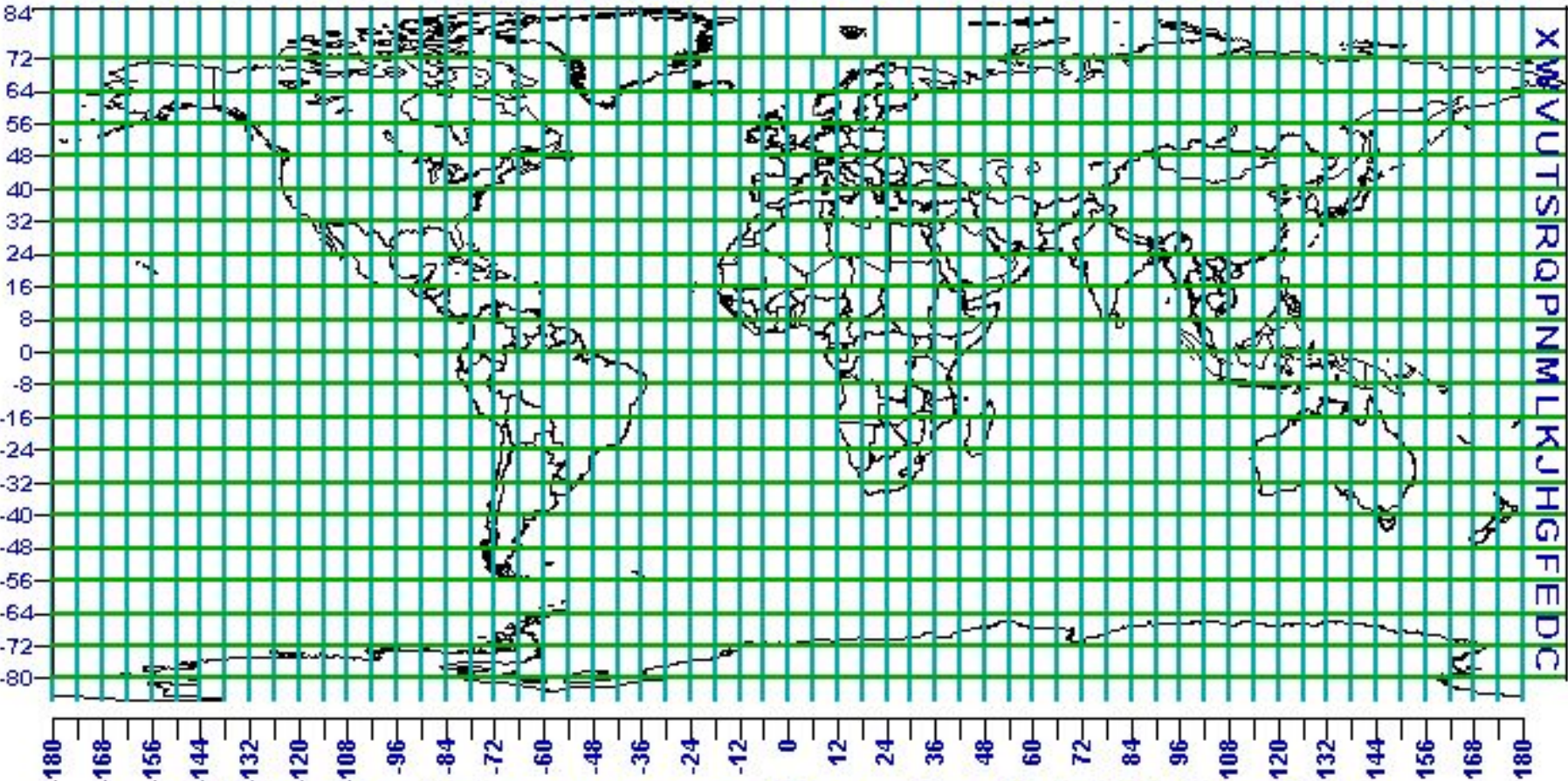
равноугольная поперечно-цилиндрическая

## UTM Zone Numbers

0 1 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60

UTM Zone Designators

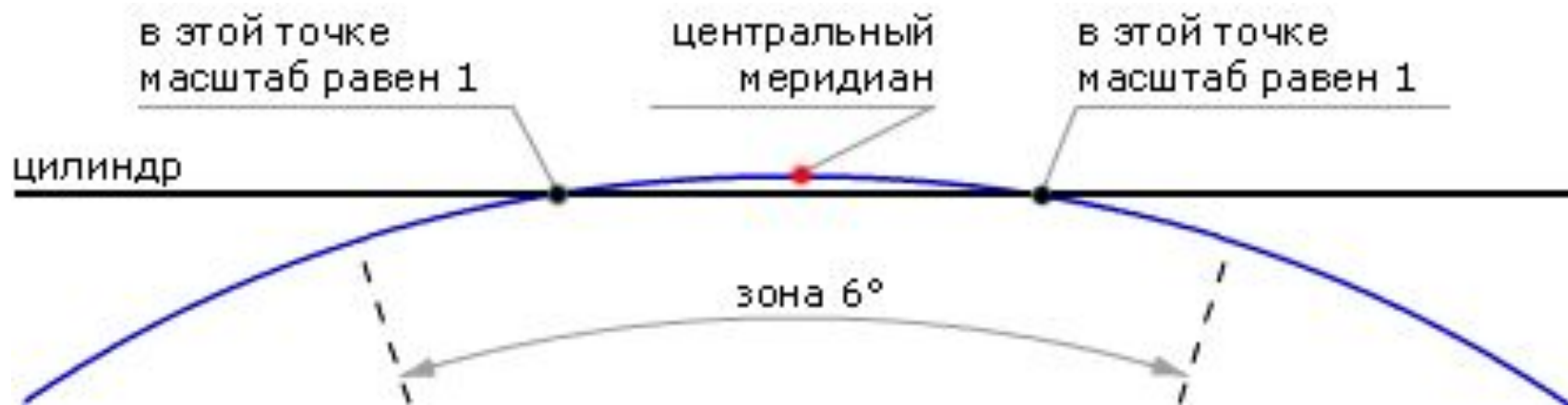
X W V U T S R Q P N M L K J H G F E D C



Universal Transverse Mercator (UTM) System



# Проекция универсальная поперечная Меркатора



Проектирование на плоскость

# Параметры проекции UTM

(для первой зоны)

***долгота центрального меридиана зоны: 177***

***широта точки начала отсчета координат: 0***

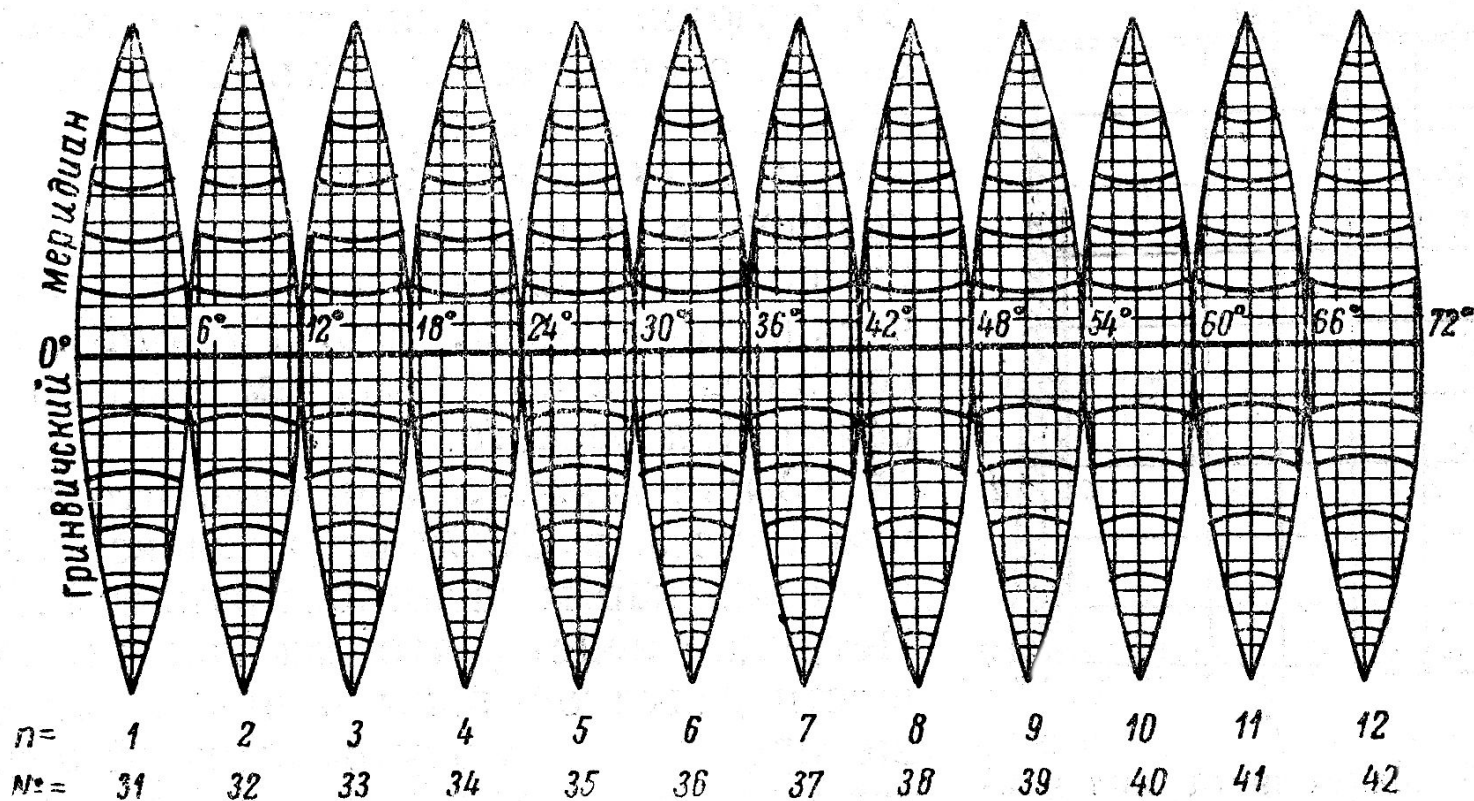
***масштабный коэффициент, т.е. степень  
уменьшения на центральном меридиане: 0.9996***

***ложный восточный сдвиг: 500000 (смещение начала  
отсчета координат в метрах)***

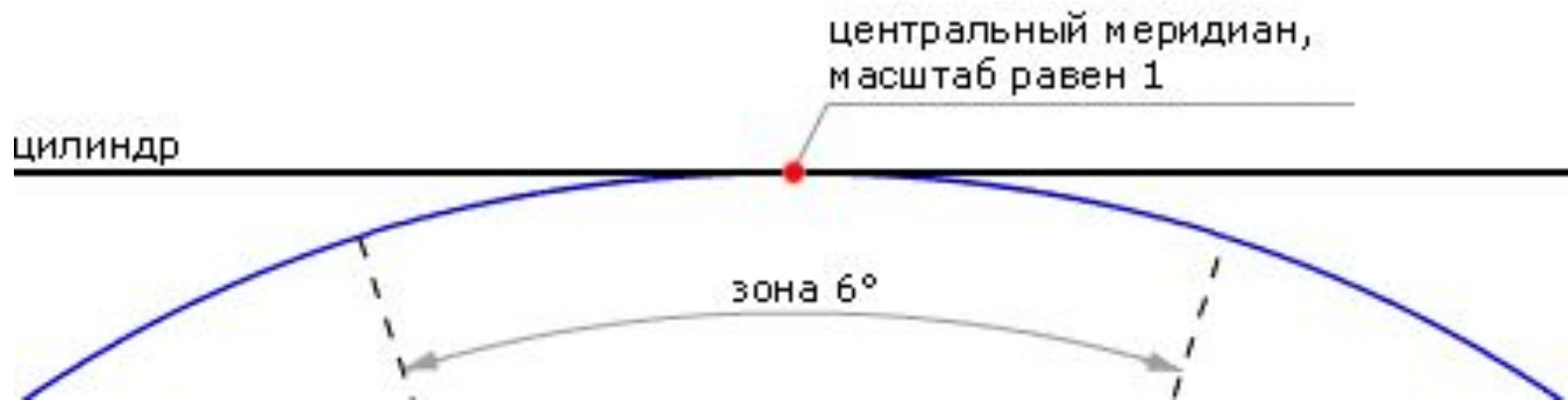
***ложный северный сдвиг: 0 (смещение начала отсчета  
координат)***

# Гаусса - Крюгера

равноугольная поперечно-цилиндрическая



# Проекция Гаусса - Крюгера



Проектирование на плоскость

# Параметры проекции (для первой зоны)

***долгота центрального меридиана зоны: 3***  
***широта точки начала отсчета координат: 0***  
***масштабный коэффициент***, т.е. степень  
уменьшения на центральном меридиане: 1

***ложный восточный сдвиг: 500000*** (смещение начала  
отсчета координат в метрах)

***ложный северный сдвиг: 0*** (смещение начала отсчета  
координат)

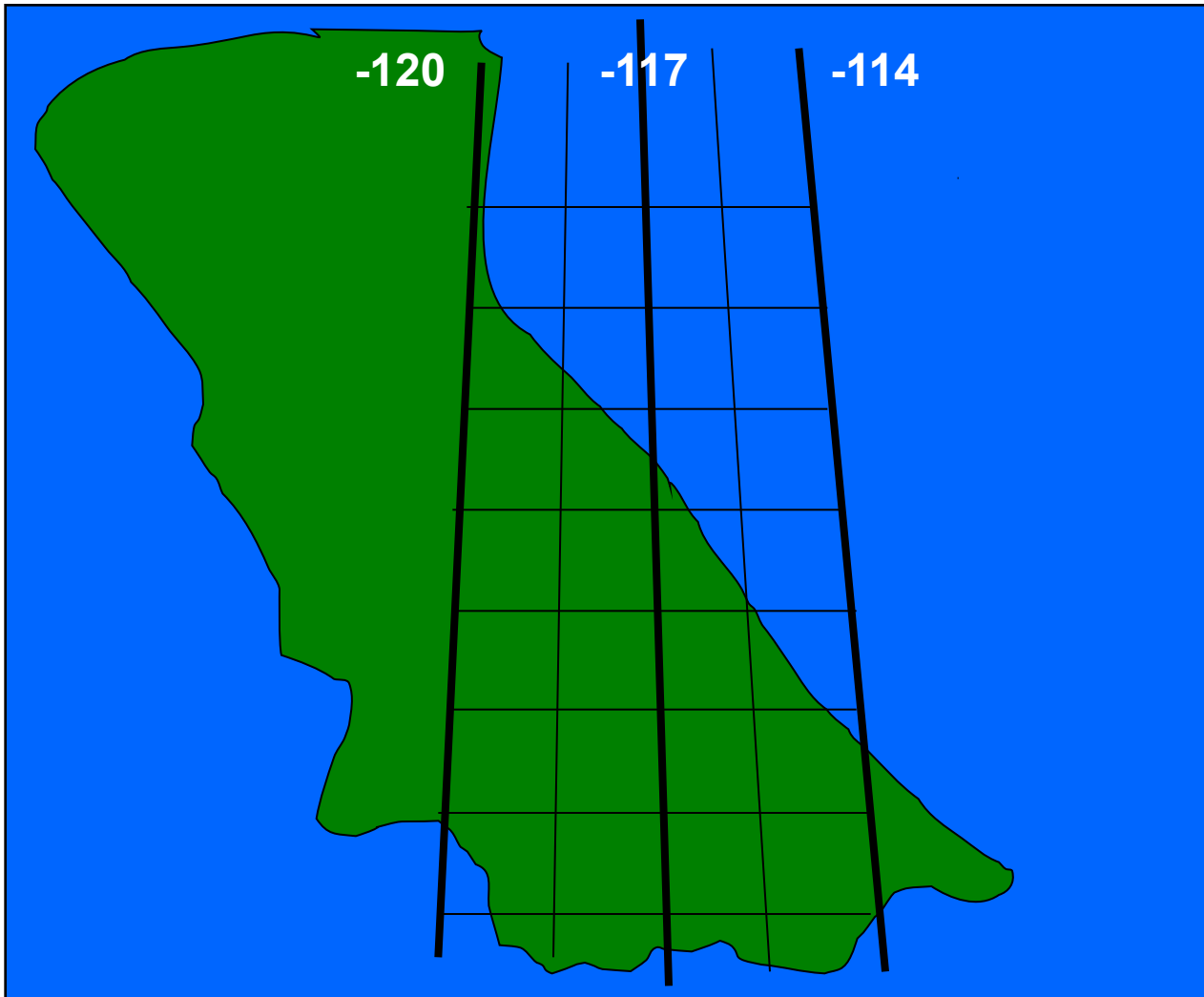
# Сравнение проекций: UTM и Гаусса - Крюгера

|  | <i>UTM</i>   | <i>Гаусса-Крюгера</i> |
|--|--------------|-----------------------|
| <i>Ширина зоны</i>                         | 6°           | в России 6°           |
| <i>Масштаб по центральному меридиану</i>   | 0.9996       | 1.0000                |
| <i>Начальный меридиан</i>                  | 180°         | 0°                    |
| <i>False Easting</i>                       | 500 000 м    | 500 000 м             |
| <i>False Northing (северное полушарие)</i> | 0 м          | 0 м                   |
| <i>False Northing (южное полушарие)</i>    | 10 000 000 м | 10 000 000 м          |
| <i>Диапазон применения</i>                 | 80°S - 84°N  |                       |

# Комбинирование данных

- Данные должны быть представлены в единой системе координат
- Должны быть известны проекция и ГКС (датум)
- Например, данные представлены в UTM, зона 10, первые используют NAD27, вторые - NAD83  
Y координаты различаются на 200 метров

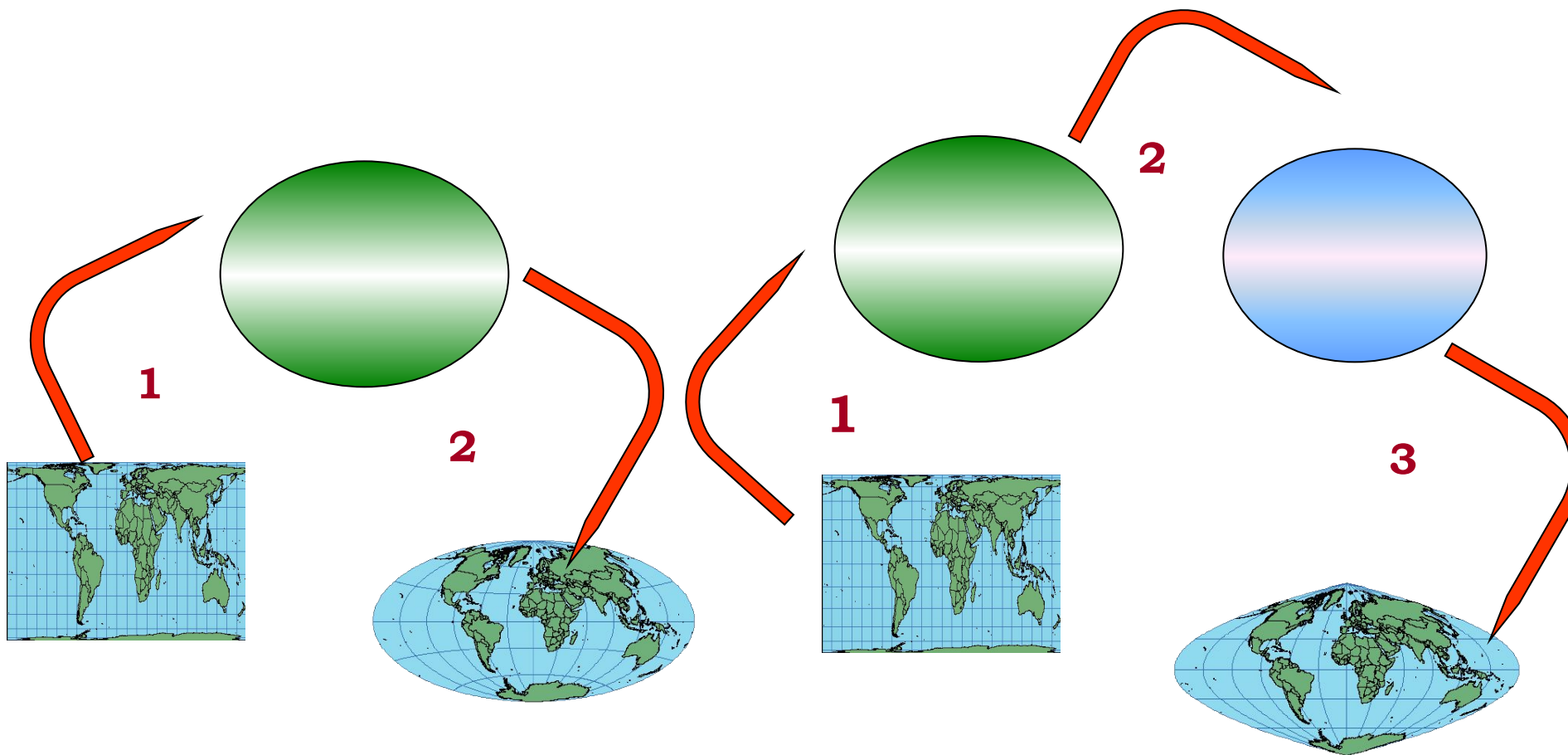
# Исучаемая область



*Исучаемая область может пересекать 2 или более зон*



# Переход из одной проекции в другую

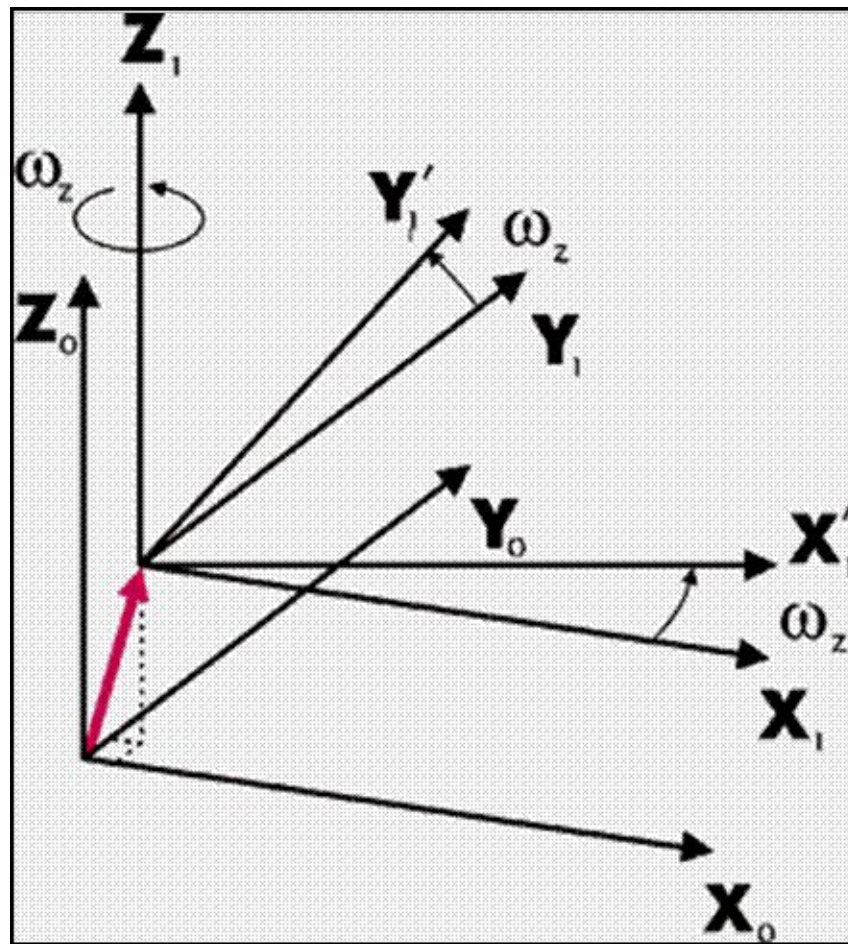


*Целевая и исходная проекции используют один и тот же сфероид*

*Целевая и исходная проекции используют разные сфероиды*

# Геоцентрическое преобразование

Переход из одной системы в другую можно представить как совокупность смещения начала координат на вектор  $(dx, dy, dz)$ , вращений вокруг каждой оси  $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$  и масштабирования (для простоты рисунка показано только вращение вокруг оси  $Z$ ).



# PRJ file (\*.prj)

```
PROJCS ["Test",  
  
    GEOGCS ["GCS_WGS_1984",  
        DATUM ["D_WGS_1984",  
            SPHEROID ["WGS_1984", 6378137, 298.257223]],  
        PRIMEM ["Greenwich", 0],  
        UNIT ["Degree", 0.0174532925199433]],  
  
    PROJECTION ["Mercator"],  
    PARAMETER ["false_easting", 1000000],  
    UNIT ["Foot", 0.3048]]
```

# Изменение проекции данных

