



# Выполнение геодезических работ в государственной геодезической системе координат 2011 года

Обиденко Владимир Иванович,  
доцент, к.т.н.

# Тема 1.

## Базовые сведения по системам координат

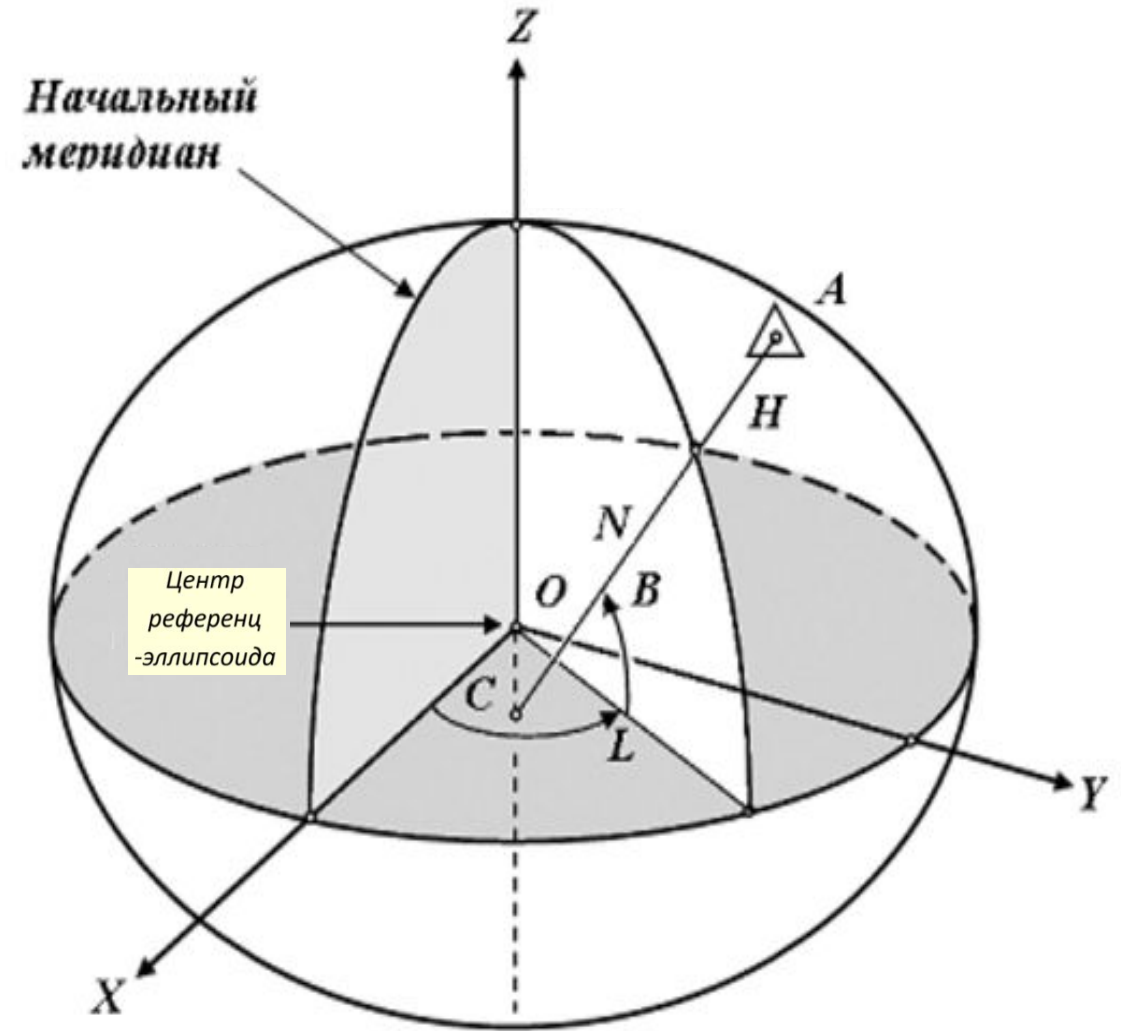
**Координатная система (Reference System)** – теоретически декларируемая математическая модель отсчета координат.

**Определяется параметрами:**

- вид координат: прямоугольные (плоские, пространственные); криволинейные сферические/эллипсоидальные (геодезические) и т.д.;
- положение начала координат (в центре масс Земли, на поверхности эллипсоида и т.д.);
- ориентировка оси аппликат или основной координатной плоскости, содержащей ось абсцисс и ординат (левая, правая);
- ориентировка оси абсцисс.

## Пример координатной системы (системы координат) СК-95 (XYZ)

<b>Вид координат:</b>	Пространственные прямоугольные (X, Y, Z).
<b>Положение начала</b>	В центре референц-эллипсоида Красовского.
<b>Основная координатная плоскость</b>	Плоскость экватора референц-эллипсоида.
<b>Ось Z направлена</b>	По оси вращения эллипсоида (малая ось b).
<b>Ось X направлена</b>	В точку пересечения начального меридиана с экватором.
<b>Ось Y направлена</b>	Дополняет систему до правой.

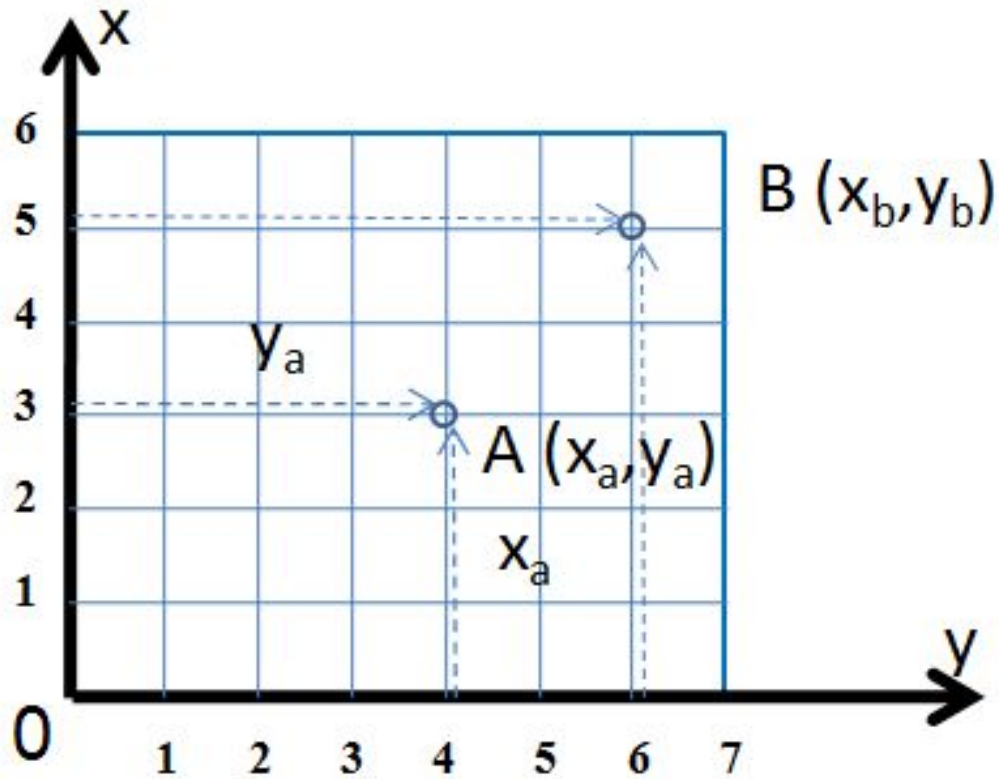


**Координатная основа** (Reference Frame) – физическая реализация координатной системы в реальном мире с помощью закрепленных точек (пунктов) и каталогов координат этих точек (пунктов) в данной координатной системе.

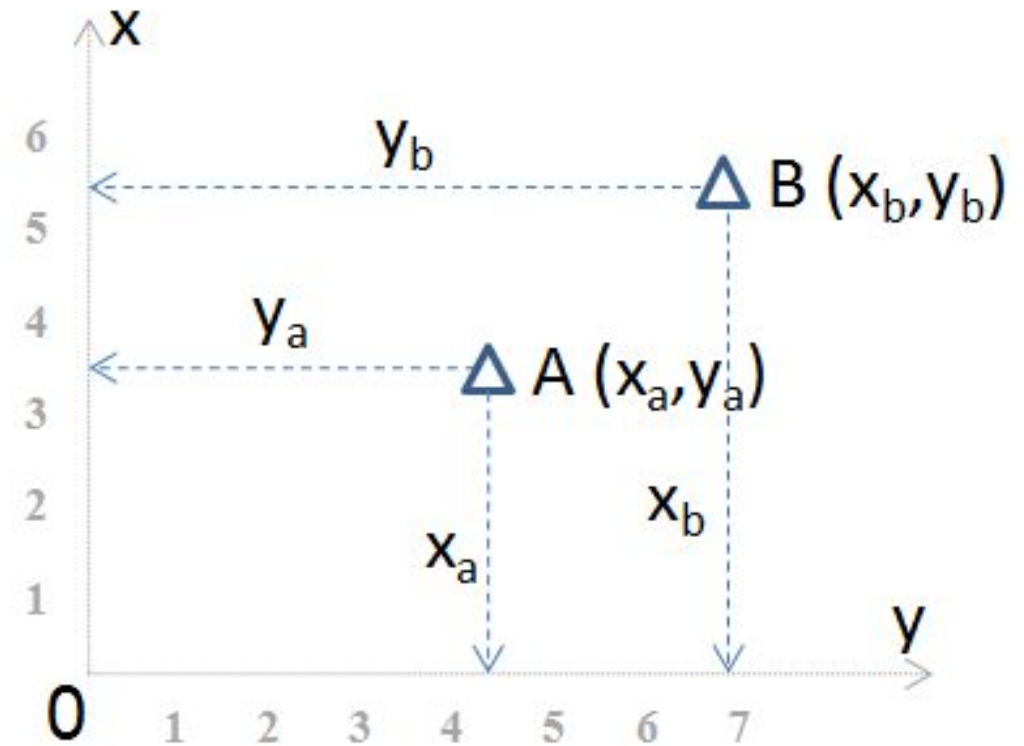
**Признаки (атрибуты) координатной основы:**

- пункты, закрепленные на местности и имеющие координаты в данной СК;
- каталог координат этих пунктов в данной СК.

Нанесением координатной сетки



Закреплением точек с известными в этой СК координатами



Координатная система (КС) обозначается в реальном мире физическим закреплением точек с известными в этой СК координатами.

## Пример координатной основы:

**Государственная геодезическая сеть (ГГС) РФ** – координатная основа РФ, физическая реализация координатной системы РФ.

**Цель создания ГГС** – физической закрепление на местности системы координат, в которой определены пункты ГГС.

## Результат создания ГГС:

- собственно ГГС как совокупность закрепленных на местности, равномерно расположенных по территории страны пунктов, координаты которых определены в государственной СК;
- каталог координат пунктов ГГС в государственной системе координат.

Термины «точная СК», «высокоточная СК», «неточная СК» **некорректны!**

Неточной является физическая реализация СК на местности, т.е. ее координатная основа.

Вследствие ошибок измерений при передаче координат пунктов ГГС от начального пункта сети до каждого пункта в отдельности, координаты пунктов определяются с ошибками.

Размеры ошибок зависят от методов геодезических измерений по определению их координат и от удаления от начального пункта сети. Таким образом точность системы координат определяется точностью ее физической реализации на местности, а именно точностью координат пунктов ГГС.

Положение осей системы координат определяется в реальном мире с такой точностью, с какой точностью определены соответствующие координаты закрепляющих ее на местности пунктов ГГС.

Пункт 1 содержит ошибку  $\Delta$  в координате  $Y$ ,  $\Delta = -0.050$  м



Пункт 2 содержит ошибку  $\Delta$  в координате  $Y$ ,  $\Delta = -0.250$  м

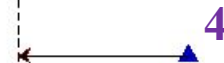


Пункт 3 содержит ошибку  $\Delta$  в координате  $Y$ ,  $\Delta = 0.050$  м



Пункт 3 содержит ошибку  $\Delta$  в координате  $Y$ ,  $\Delta = 0.250$  м

Истинная координата  
 $Y = 13\,269\,000.000$  м





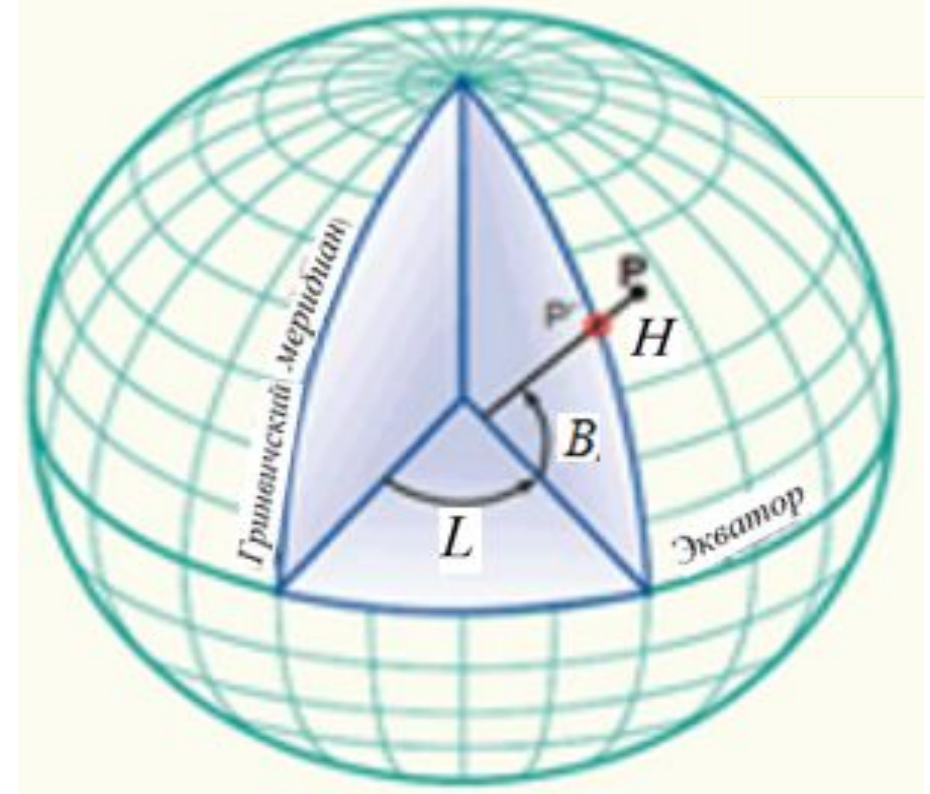
Координаты в геодезической системе координат могут быть заданы в 3-х основных видах:

## 1. Геодезические координаты $B, L, H$ .

**Геодезическая широта  $B$**  – угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора.

**Геодезическая долгота  $L$**  – двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического Гринвичского меридиана.

**Геодезическая высота  $H$**  – расстояние от поверхности эллипсоида до данной точки, отсчитываемое по нормали к эллипсоиду.

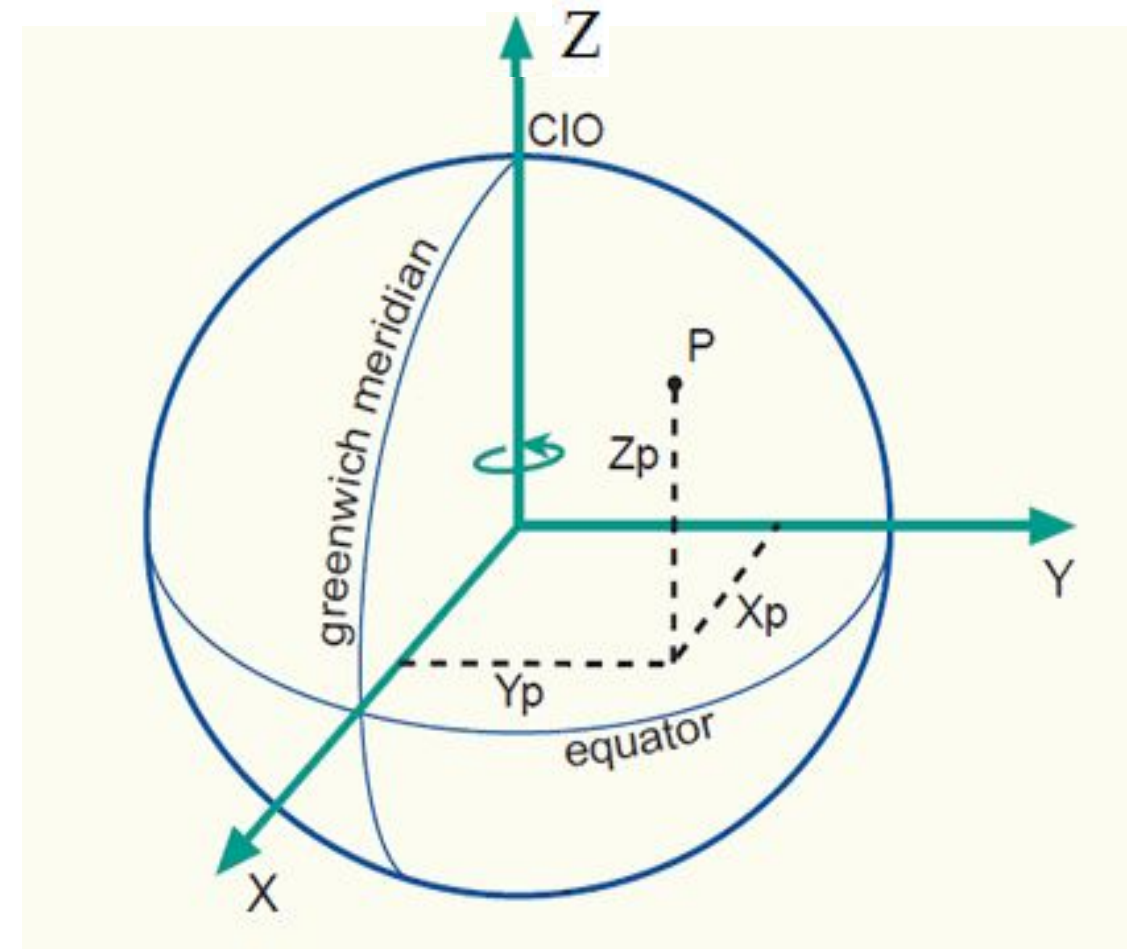


## 2. Пространственные прямоугольные координаты X, Y, Z.

**Абсцисса X** (расстояние от центра эллипсоида до проекции точки на ось X).

**Ордината Y** (расстояние от центра эллипсоида до проекции точки на ось Y).

**Апplikата Z** (расстояние от положения точки в пространстве до плоскости экватора).

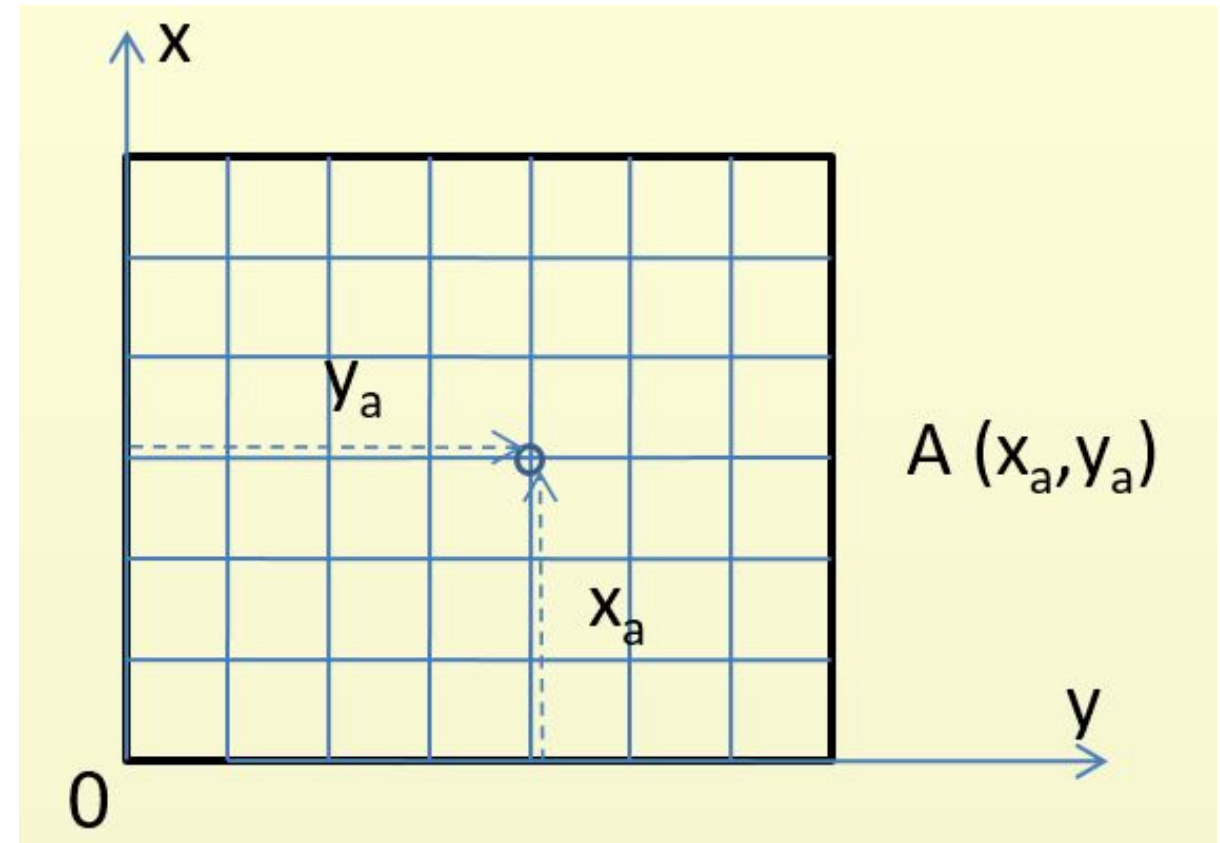


## 3. Плоские прямоугольные координаты $x, y, h$ (в некоторой проекции поверхности эллипсоида на плоскость).

**Абсцисса  $x$**  (расстояние по оси  $X$  от начала СК).

**Ордината  $y$**  (расстояние по оси  $Y$  от начала СК).

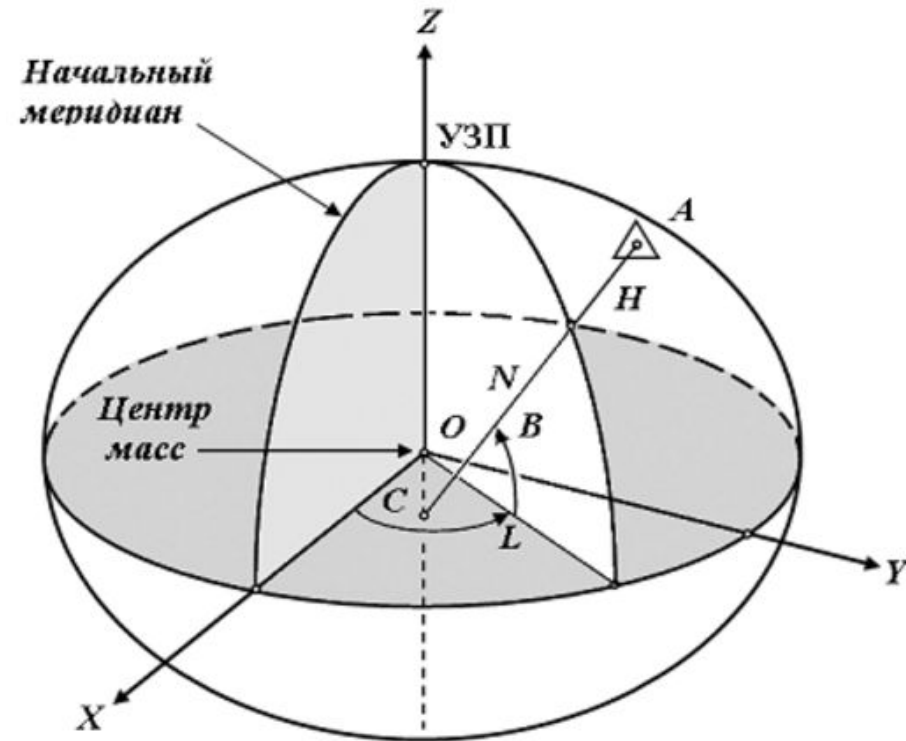
**Высота  $h$**  (расстояние от поверхности начала счета высот по нормали к ней).



В этих СК выполняются геодезические работы на местности, создаются карты, выполняются инженерные изыскания.

**Общеземные системы координат** связаны с центром масс Земли и общеземным (геоцентрическим) ЭЛЛИПСОИДОМ.

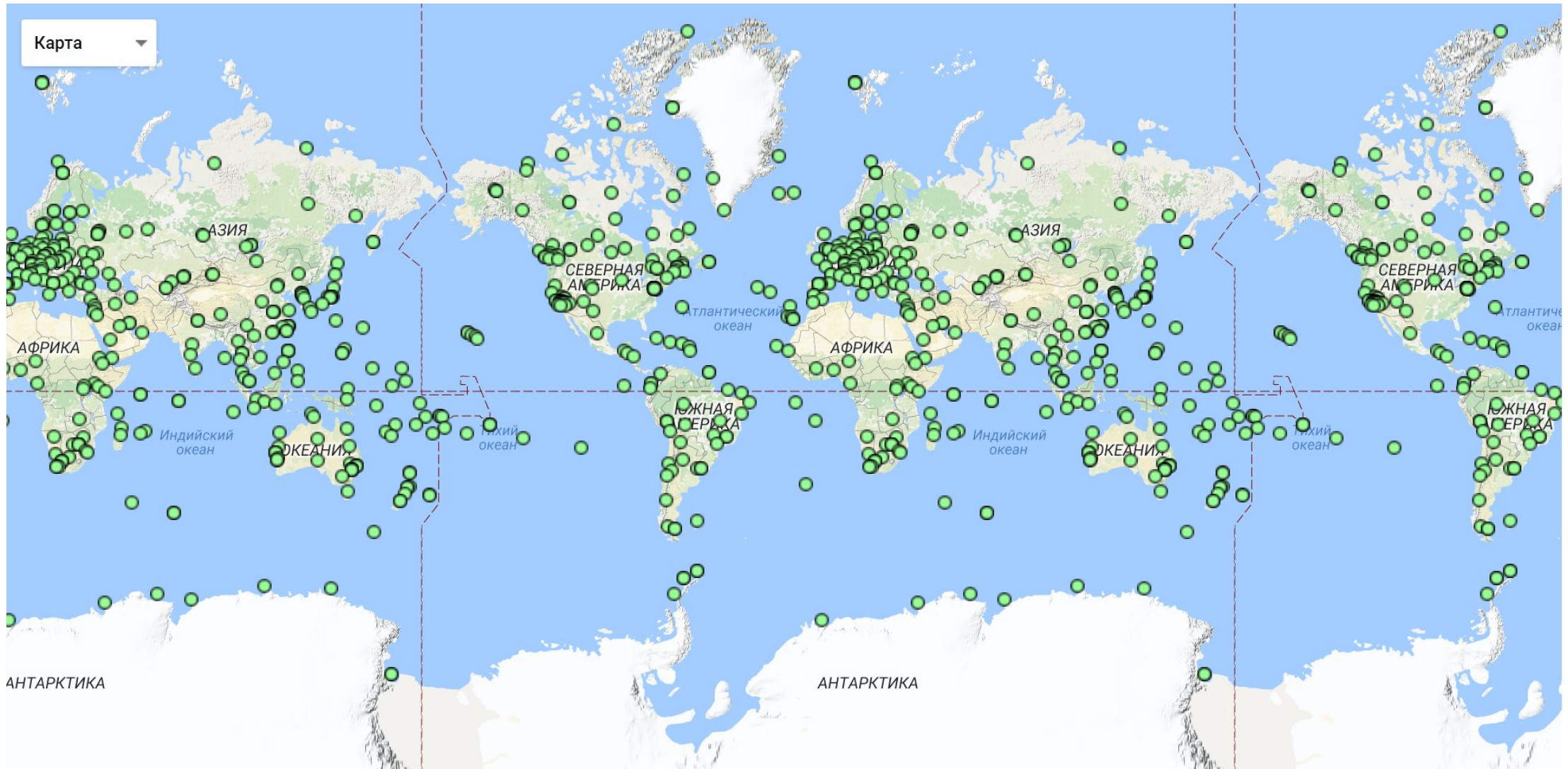
Центр СК	В центре масс Земли
Ось Z направлена	В условный полюс Земли (УЗП)
Ось X направлена	В точку пересечения начального меридиана с экватором
Ось Y	Дополняет систему до правой



**Необходимость использования общеземных (геоцентрических) СК**, связанных с центром масс Земли, вызвана использованием ГНСС, полеты спутников которых осуществляется в поле силы тяжести Земли, вокруг центра масс Земли.

Геоцентрическая СК	Для чего используется	Координатная основа	Примечания
<p><b>ITRS</b> (International Terrestrial Reference System) международная земная координатная система</p>	<p>Для создания на территории Земли международной системы координат высшей точности</p>	<p><b>ITRF</b> International Terrestrial Reference Frame (международная земная координатная основа).                      Реализации: ITRF-2000, ITRF-2005, ITRF-2008, ITRF-2014                      Более чем 350 станций международной службы вращения Земли МСВЗ.                      IGS (International GNSS Service).</p>	<p>Самая точная геодезическая сеть в мире</p>
<p><b>WGS-84</b></p>	<p>Для определения координат навигационных спутников глобальной навигационной системы (ГНСС) GPS</p>	<p><b>17 наземных станций</b> (6 –МО США, 11 NIMA (National Imagery and Mapping Agency)</p>	<p>WGS-84 = ITRF-2000                      WGS-84 совпадает с ITRF в пределах нескольких см.</p>
<p><b>ПЗ-90</b> (ПЗ-90.11 с 01.01.2017г.)</p>	<p>Для определения координат навигационных спутников глобальной навигационной системы ГЛОНАСС</p>	<p>30 опорных пунктов космической геодезической сети (<b>КГС</b>) со средними расстояниями 1-3 тысячи километров.</p>	
<p><b>ГСК-2011</b></p>	<p>Выполнение геодезических и картографических работ в РФ</p>	<p>ФАГС, ВГС, СГС-1</p>	<p>Основана на ITRF2008</p>

## Закрепление Координатной системы ITRS пунктами IGS (около 350 пунктов IGS во всем мире)



ГСК–2011 установлена на территории РФ с 1.01.2017 г.

## Поверхность относимости – эллипсоид ГСК – 2011 (эллипсоид ЦНИИГАиК):

- начало ГСК – 2011 совпадает с центром масс Земли;
- ось  $Z_{2011}$  параллельна оси  $Z$  общеземной системы;
- ось  $X_{2011}$  определяется положением нуль – пункта принятой системы счета долгот (плоскость начального меридиана совпадает с плоскостью  $(XOZ)$ );
- ось  $Y_{2011}$  дополняет систему до правой;
- ГСК-2011 связана с ITRF с точностью нескольких см.

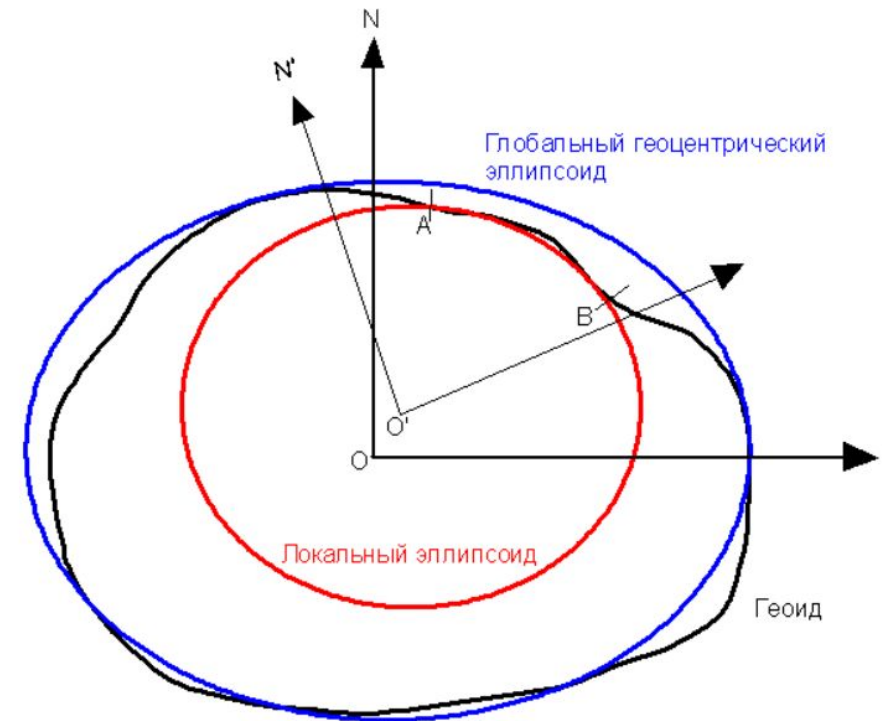
Координатная основа ГСК–2011: ФАГС, ВГС, СГС-1 сеть ГГС 1–4 класса, уравненная в 2011 году в геоцентрической системе координат с участием пунктов ФАГС, ВГС, СГС–1 в качестве исходных также получила координаты в ГСК-2011.

Параметр эллипсоида	Система координат, эллипсоид					
	ГСК-2011, ЦНИИГАиК	ПЗ-90.11	ITRF2008 ITRF2014	GRS80	WGS 84 (G1762)	СК-95 (СК-42, МСК), Красовского
Большая полуось а, м	6 378 136,500	6 378 136	6 378 136,6 ±0,1	6 378 137	6 378 137,0	6 378 245,0
Сжатие 1/α (1/f)	298,2564151	298,25784	298,25642 ±0,00001	298,257222101	298.257223563	298,3
Геоцентрическая гравитационная постоянная Земли fM (GM), км3/с2	398 600,4415	398 600,4418	398 600,4418 ±0,0008	398 600,5	398 600,4418	



**Референцные системы координат** связаны с локальными референц-эллипсоидами (отсчетными эллипсоидами), принятыми в отдельной стране или группе стран. Центры таких эллипсоидов, как правило, не совпадают с центром масс Земли, а подобраны с целью максимального приближения к геоиду на локальной территории. Поэтому эти системы иногда называют еще квазигеоцентрическими.

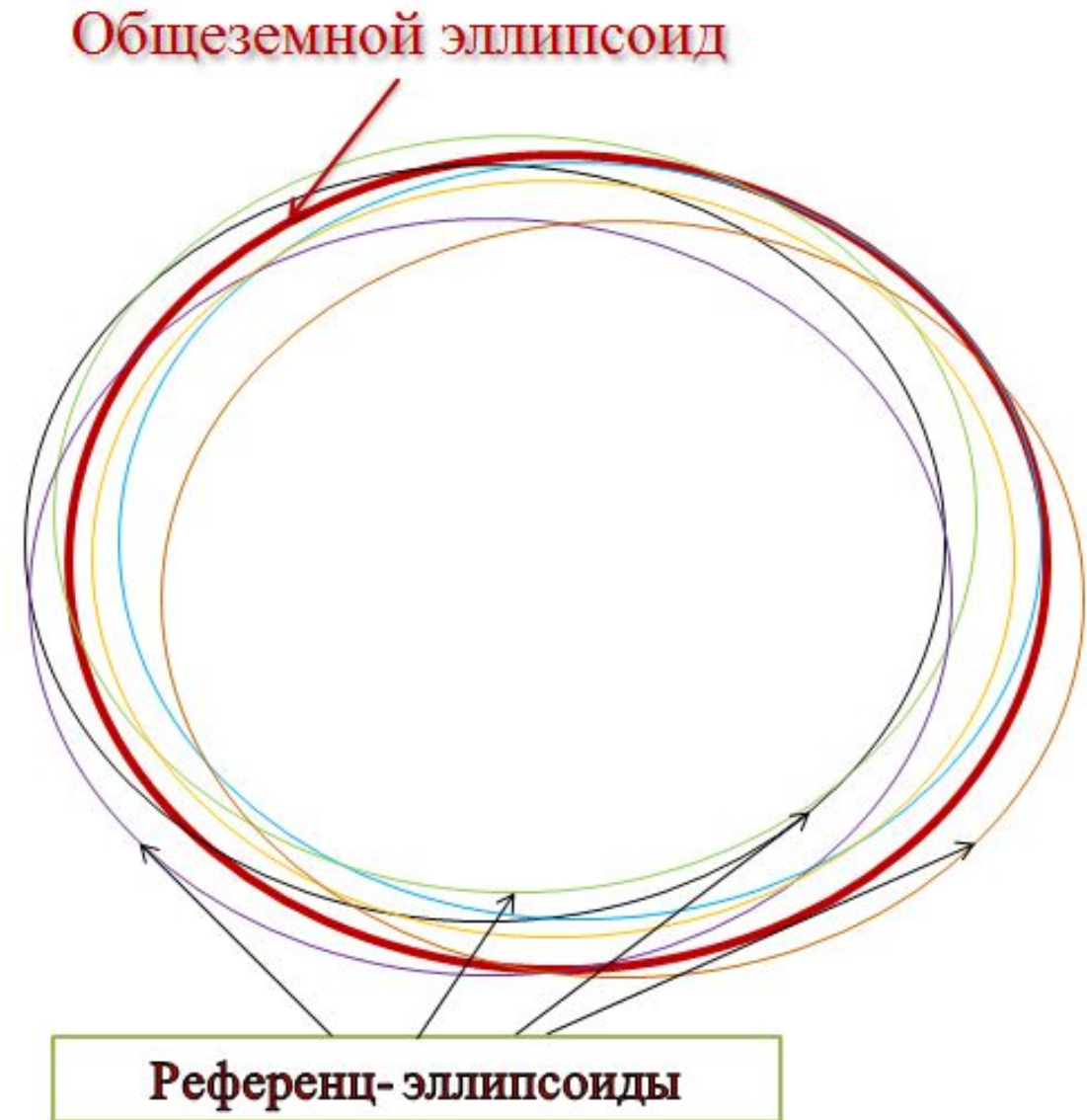
**Референцные системы координат** получили распространение на начальном этапе развития геодезии в связи с выполнением работ отдельными странами или группой стран на локальной или региональной территории в условиях отсутствия необходимости в глобальных геодезических работах.



Реальность геодезической практики – у каждой страны свой глобус.

**Большинство стран (или группы стран) мира:**

- использует собственные референц-эллипсоиды, которые и по размерам и по положению в пространстве не совпадают на сотни метров с общеземным;
- национальные или региональные системы координат строят на этих референц-эллипсоидах.

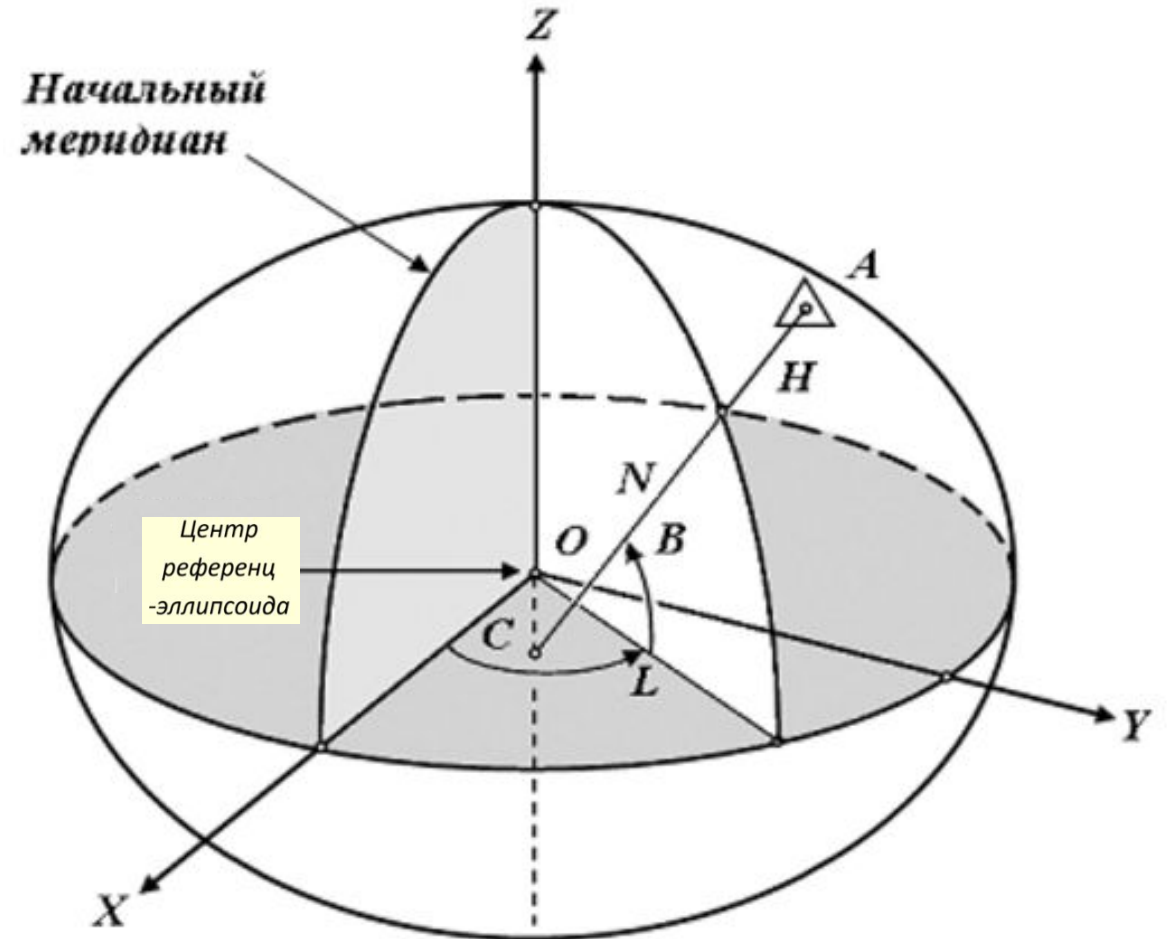


Основной плоскостью в референционной системе координат является плоскость экватора референц-эллипсоида.

## Референционные системы координат РФ:

- система координат 1942 года (СК-42);
- система координат 1995 года (СК-95).

Центр СК	Не совпадает с центром масс Земли
Ось Z направлена	По оси вращения эллипсоида (малая ось b)
Ось X направлена	В точку пересечения начального меридиана с экватором
Ось Y	Дополняет систему до правой



## Система координат СК-42

**Поверхность относимости** – эллипсоид Красовского.

### Координатная система:

- начало системы координат 1942 года (СК-42) совпадает с центром референц-эллипсоида Красовского и не совпадает с центром масс Земли примерно на 200 м;
- ось  $Z_{42}$  совпадает с осью вращения эллипсоида ;
- ось  $X_{42}$  определяется положением нуль-пункта принятой системы счета долгот;
- $Y_{42}$  дополняет систему до правой.

**Координатная основа (физическая реализация КО):** 87 полигонов триангуляции 1-го класса, полностью покрывавших Европейскую часть страны и распространявшихся на восток в виде узкой цепочки полигонов.

Сеть триангуляции уравнивалась отдельными блоками. На границе блоков результаты предыдущего уравнивания принимались за безошибочные и таким образом координаты постепенно передавались все далее на восток. В каркас полигонов 1-го класса вставлялась заполняющая сеть триангуляции 2-го класса. Такой принцип построения сети привел к неизбежным деформациям сети.

≈ 9500 пунктов ГГС 1 класса на территории РФ, закрепляющие СК-42



≈ 9500 пунктов ГГС 1 класса, ≈ 112 00 пунктов ГГС 2 класса на территории РФ, закрепляющие СК-42

Всего пунктов ГГС 1-4 классов свыше 320 000.



## Система координат СК-95

**Координатная система СК-95** идентична СК-42.

**Поверхность относимости СК-95** идентична СК-42 – эллипсоид Красовского.

В 1991 г. построенная на территорию страны АГС из 164 000 пунктов была уравнена как единое целое. Для повышения точности было включены в уравнивание 26 пунктов Космической геодезической сети (КГС) и 134 пункта Доплеровской геодезической сети (ДГС).



Результаты уравнивание подтвердили наличие значительных деформаций в сети, достигавших на севере и на востоке 20–30 метров. Локальные деформации на границах блоков иногда достигали 10 м.

Результаты проведенного в 1995 г. совместного уравнивания стали основой системы геодезических координат 1995 г. (СК-95).

**Физическая реализация СК-95** – пункты ГГС 1-2 класса.

**Координатная основа СК-95:**

- пункты, закрепляющие СК-95 на местности те же, что и у СК-42 (ГГС 1-4 кл.);
- каталог координат этих пунктов в СК-95 другой, чем у СК-42.

Оси системы СК-95 параллельны осям общеземной системы ПЗ-90, то есть связь между этими системами устанавливается только тремя параметрами переноса.

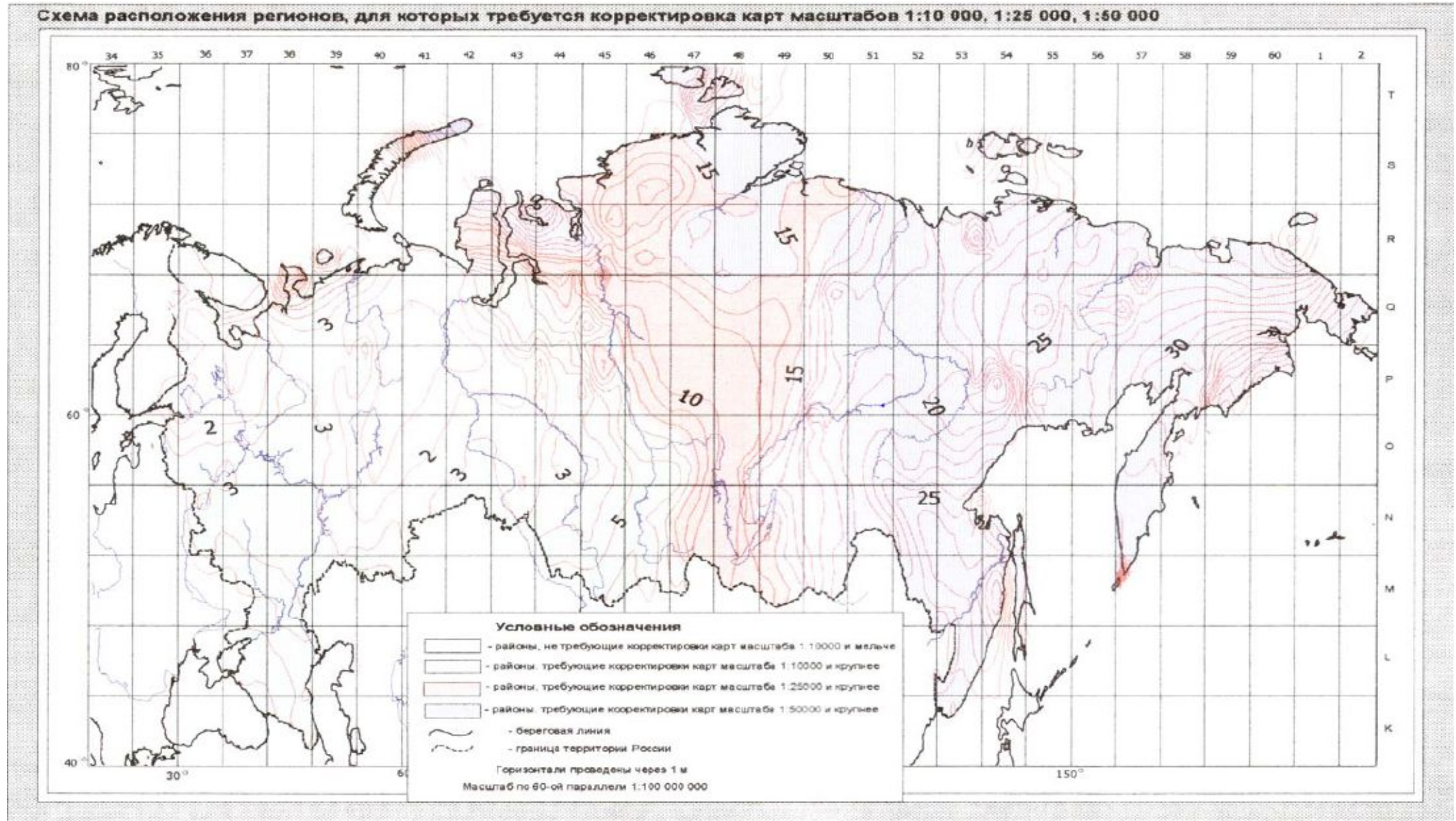
Координаты начала геодезической сети в системах СК-42 и СК-95 были приняты одинаковыми.

Точность привязки ее к центру масс Земли характеризуется СКО порядка 1 м.

Координаты пунктов ГГС в системе СК-95 имеют одинаковую точность для всей сети.

### Точность СК-95:

Точность (см)	Расстояние между пунктами (км)
3-5	10-30
20-30	200-300
50-80	≈ 9000



## Структура спутниковых геодезических сетей ФАГС, ВГС, СГС-1

Класс сети	Расстояние между пунктами (км)	Взаимная точность (см)	Заложено пунктов (шт)	Планируется
ФАГС	650-1000	2 в плане 3 по высоте	54	80
ВГС	150-300 (в обжитых)  300-500 в необжитых)	2 - 3	326	350
СГС-1	15-25 (в обжитых) 25-50 (в необжитых)	2 - 3	4244	6000

Расположение пунктов  
спутниковой геодезической  
сети ФАГС



Схема размещения существующих и планируемых пунктов ФАГС до 2020 года

## Расположение пунктов спутниковой геодезической сети ВГС

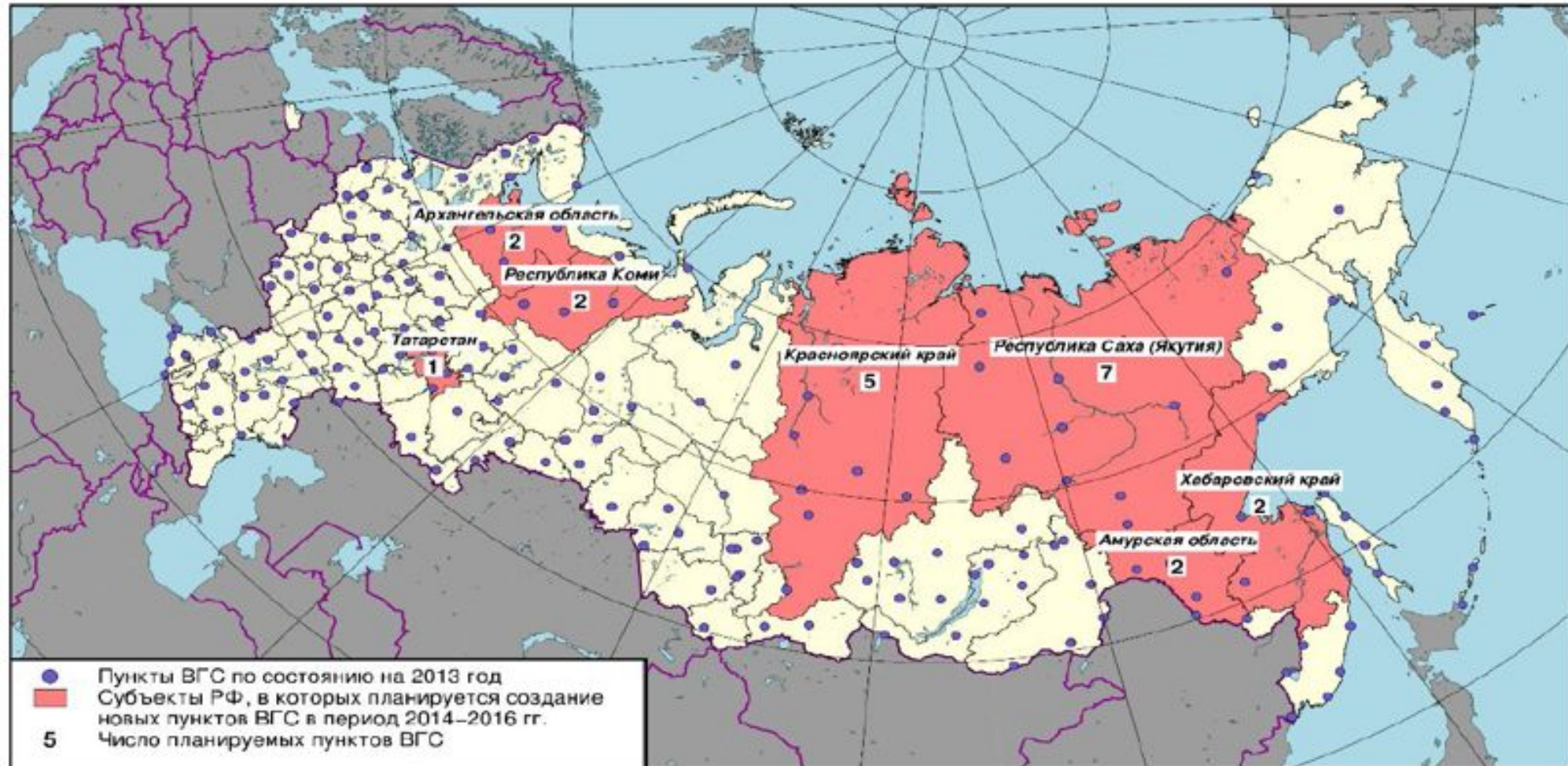


Схема сети существующих и планируемых пунктов ВГС

## Расположение пунктов спутниковой геодезической сетей ФАГС, ВГС, СГС-1

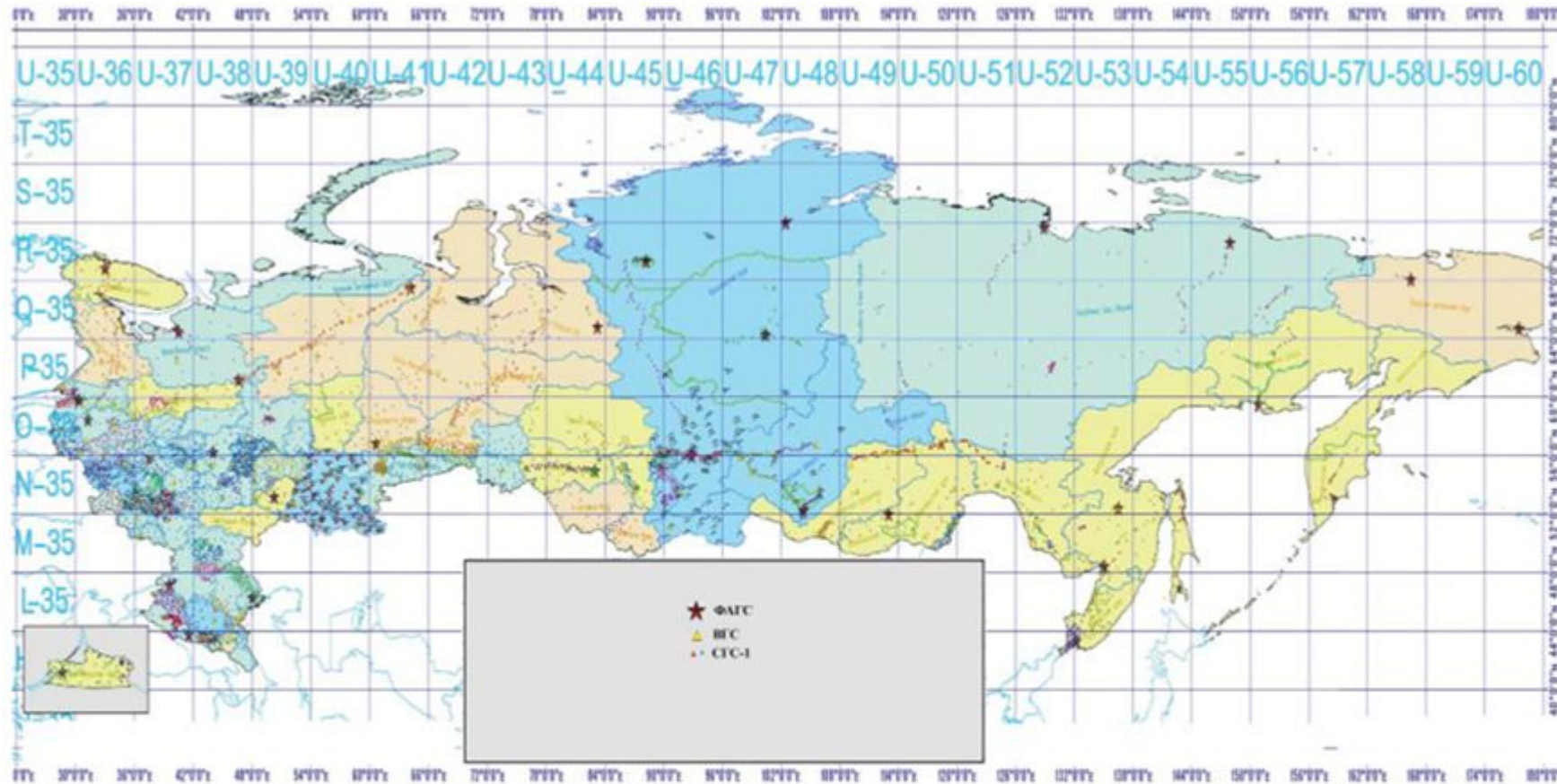


Схема сети существующих пунктов ФАГС, ВГС, СГС–1 по состоянию на 2016 год

Общее количество пунктов СГС (ФАГС, ВГС, СГС-1) порядка 6 500 пунктов.