



Выполнение геодезических работ в государственной геодезической системе координат 2011 года

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

Тема 1.

Базовые сведения по системам координат

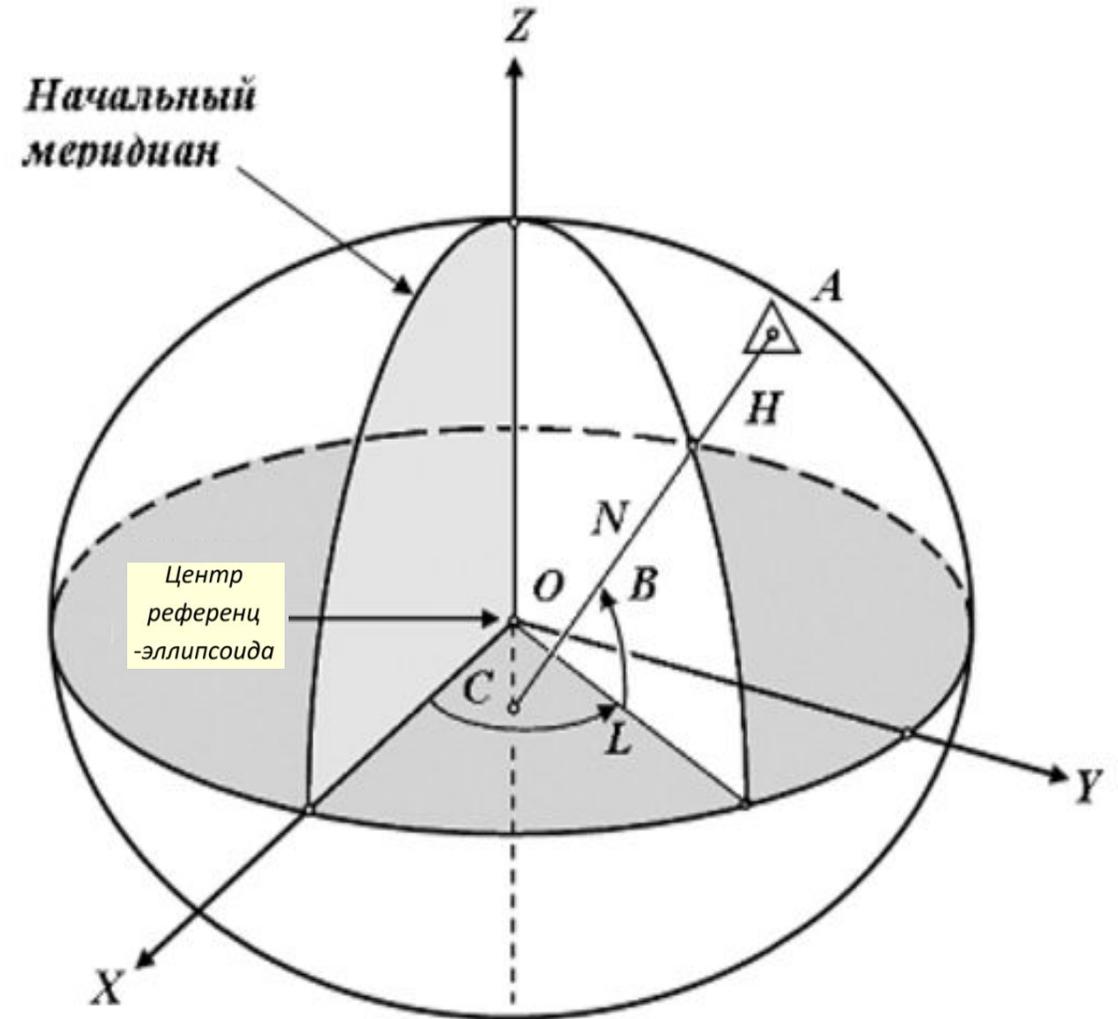
Координатная система (Reference System) – теоретически декларируемая математическая модель отсчета координат.

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)

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

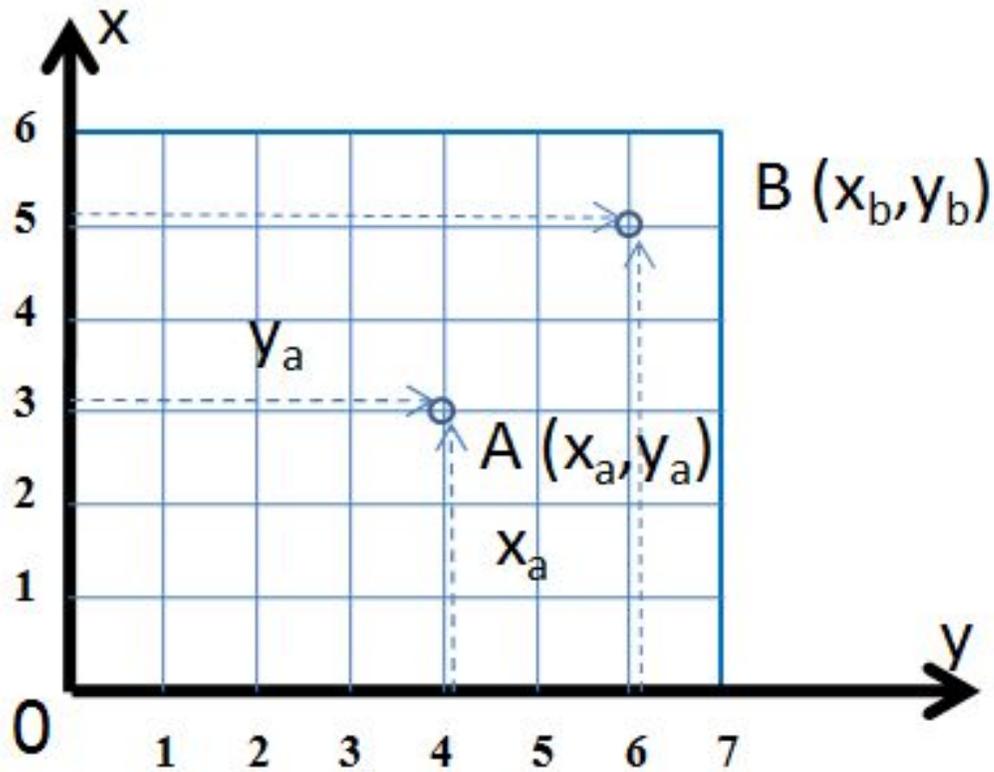


Координатная основа (Reference Frame) – физическая реализация координатной системы в реальном мире с помощью закрепленных точек (пунктов) и каталогов координат этих точек (пунктов) в данной координатной системе.

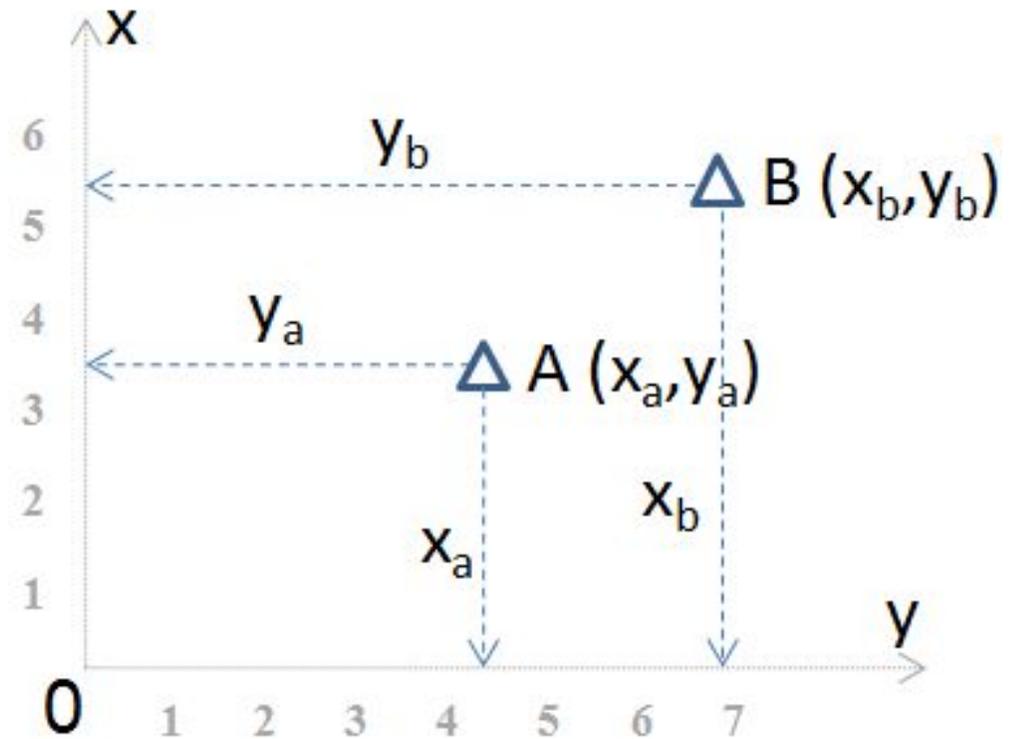
Признаки (атрибуты) координатной основы:

- 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 Δ в координате Y , $\Delta = -0.050$ м



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

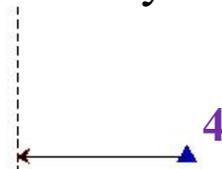


Пункт 3 содержит ошибку Δ в координате Y , $\Delta = 0.050$ м



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

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



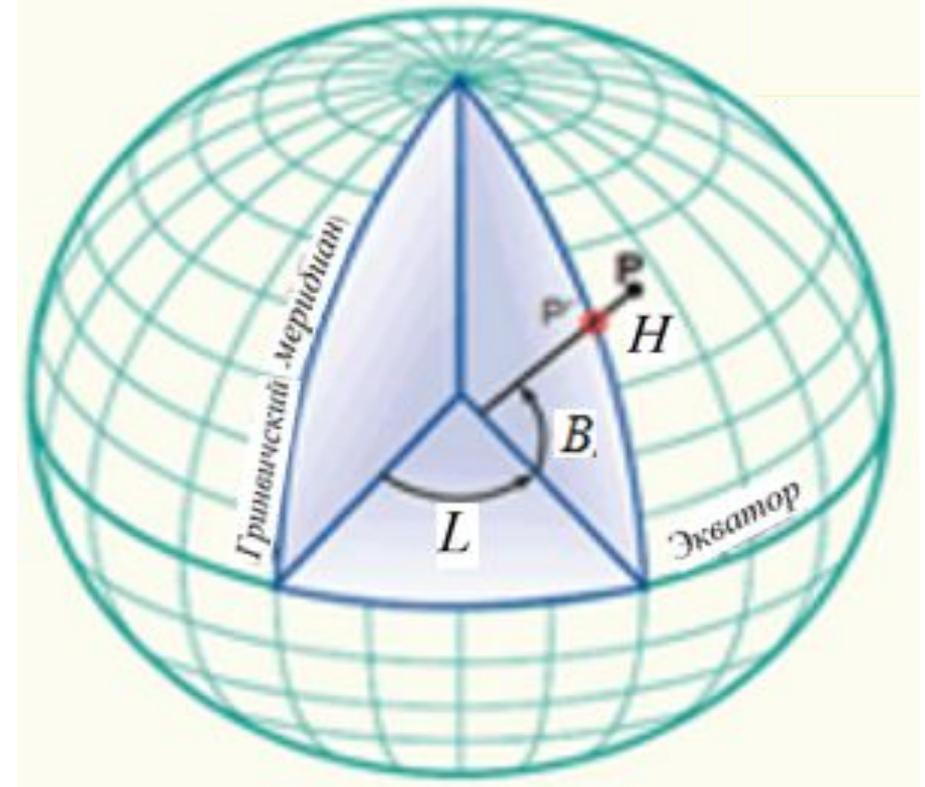
Координаты в геодезической системе координат могут быть заданы в 3-х основных видах:

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.

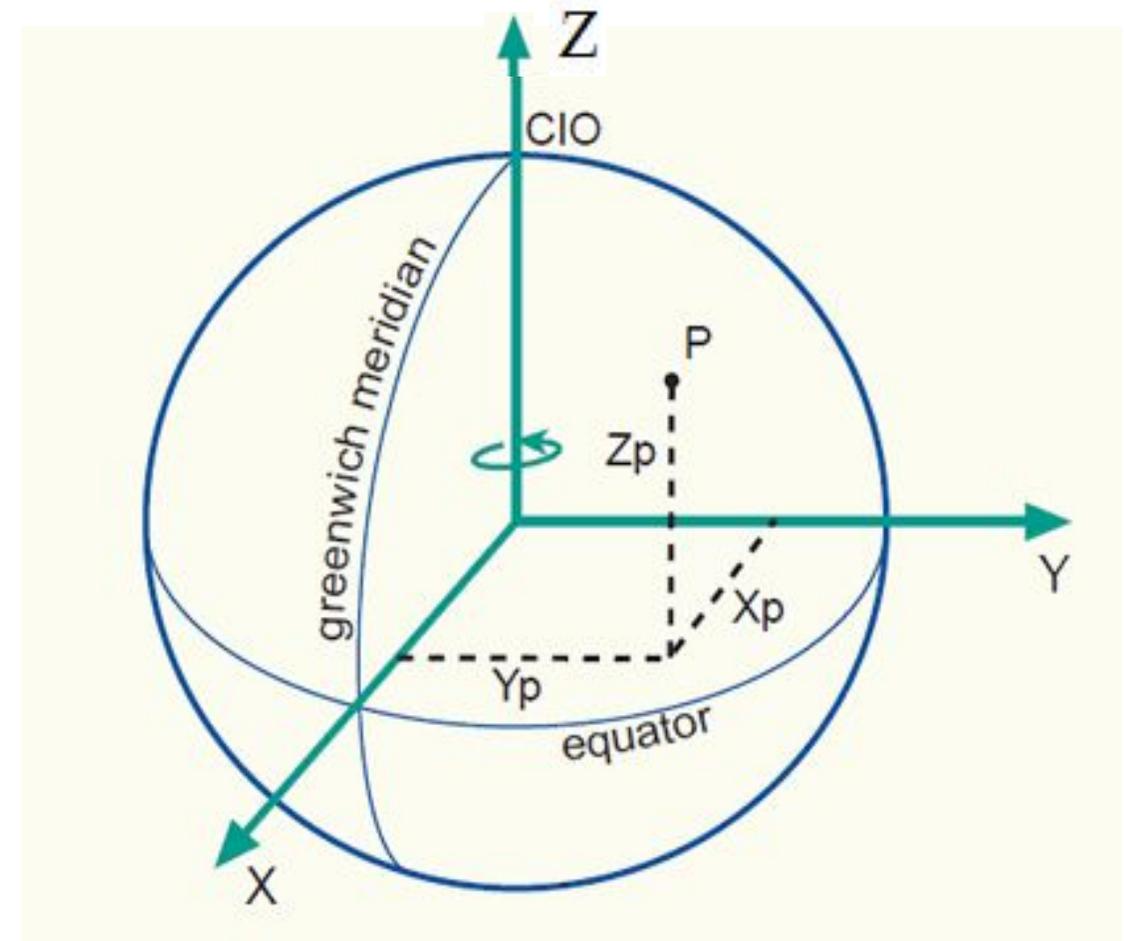


2. Пространственные прямоугольные координаты X, Y, Z.

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).

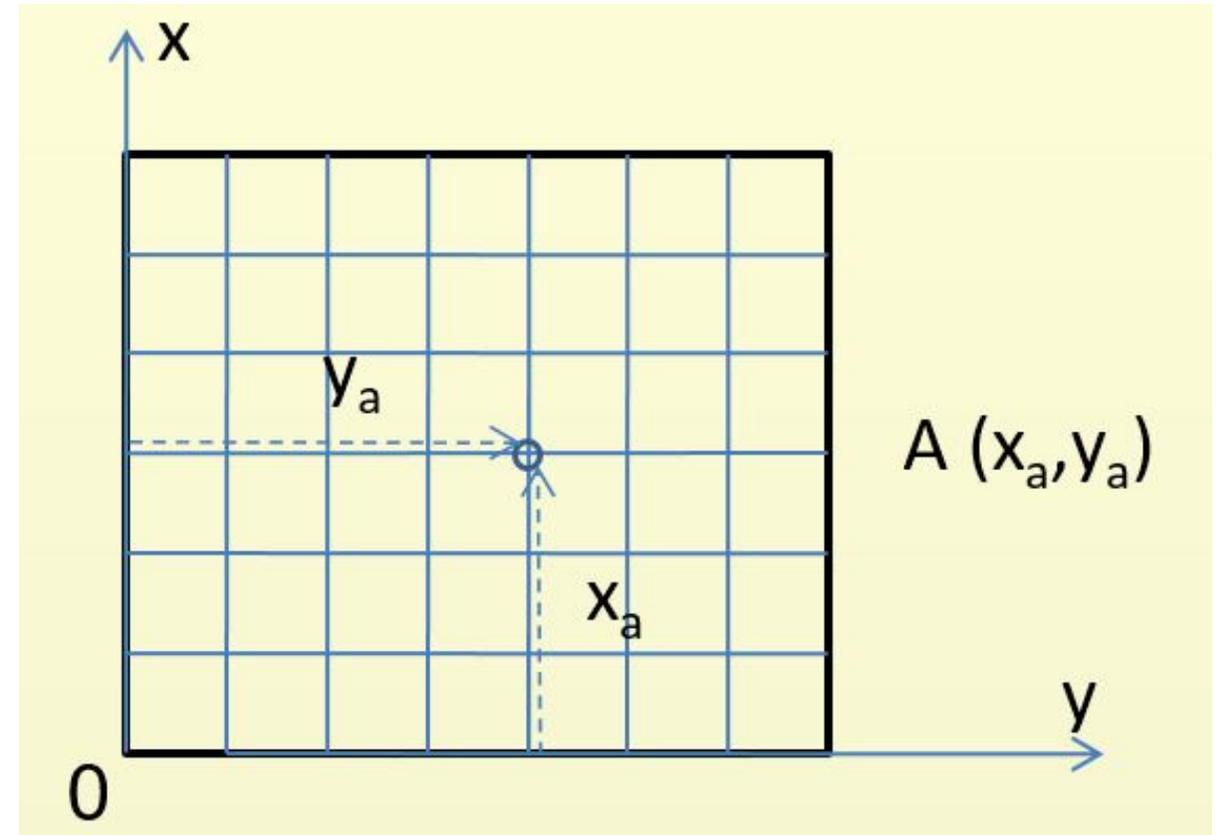


3. Плоские прямоугольные координаты x , y , h (в некоторой проекции поверхности эллипсоида на плоскость).

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

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

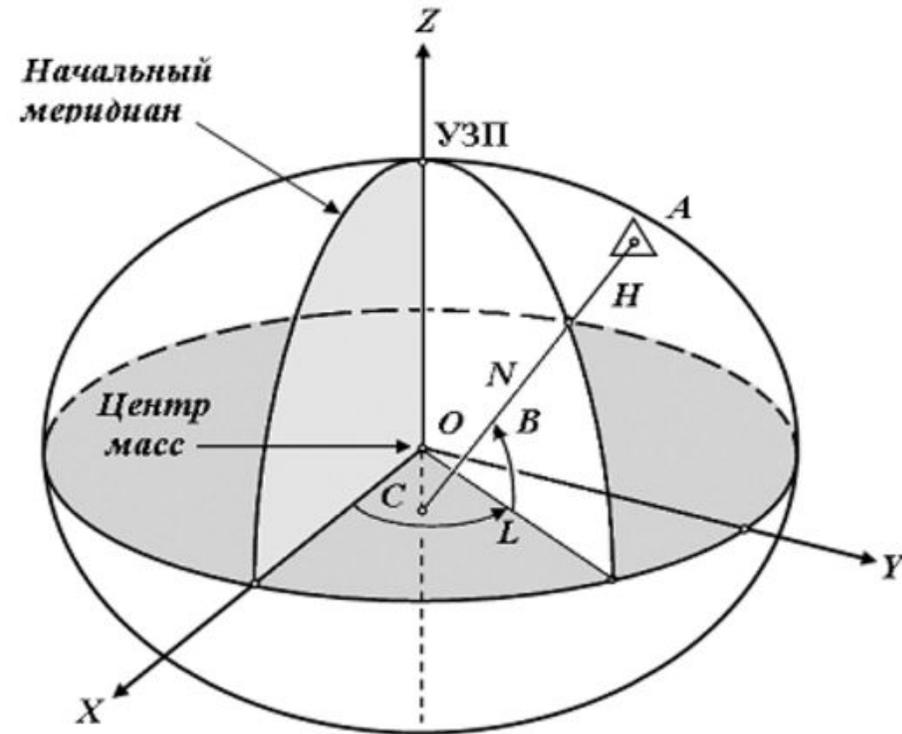
Высота h (расстояние от поверхности начала счета высот по нормали к ней).



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.

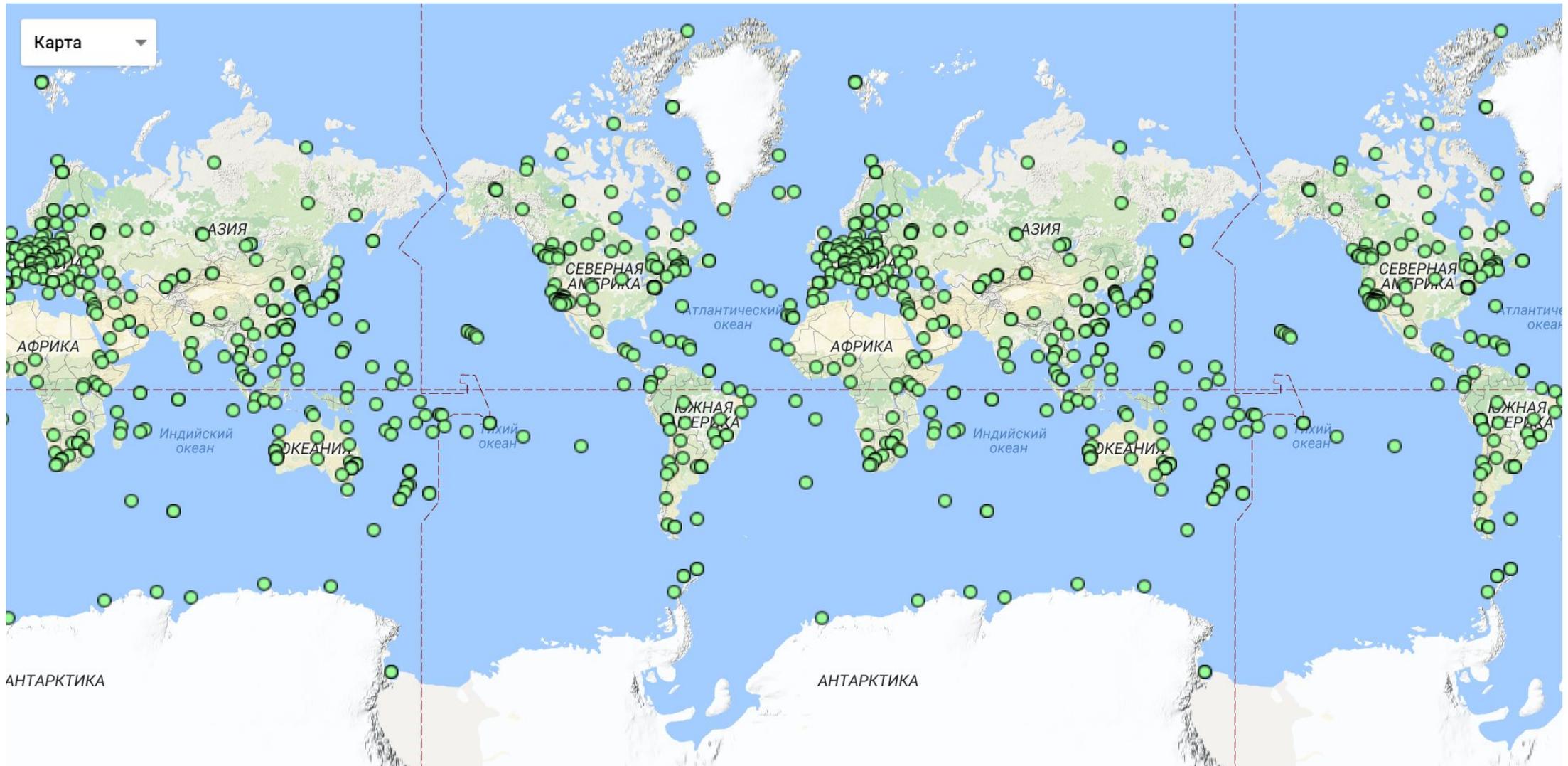
Центр СК	В центре масс Земли
Ось Z направлена	В условный полюс Земли (УЗП)
Ось X направлена	В точку пересечения начального меридиана с экватором
Ось Y	Дополняет систему до правой



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>ITRS (International Terrestrial Reference System) международная земная координатная система</p>	<p>Для создания на территории Земли международной системы координат высшей точности</p>	<p>ITRF 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>WGS-84</p>	<p>Для определения координат навигационных спутников глобальной навигационной системы (ГНСС) GPS</p>	<p>17 наземных станций (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>ПЗ-90 (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 (КГС) со средними расстояниями 1-3 тысячи километров.</p>	
<p>ГСК-2011</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):

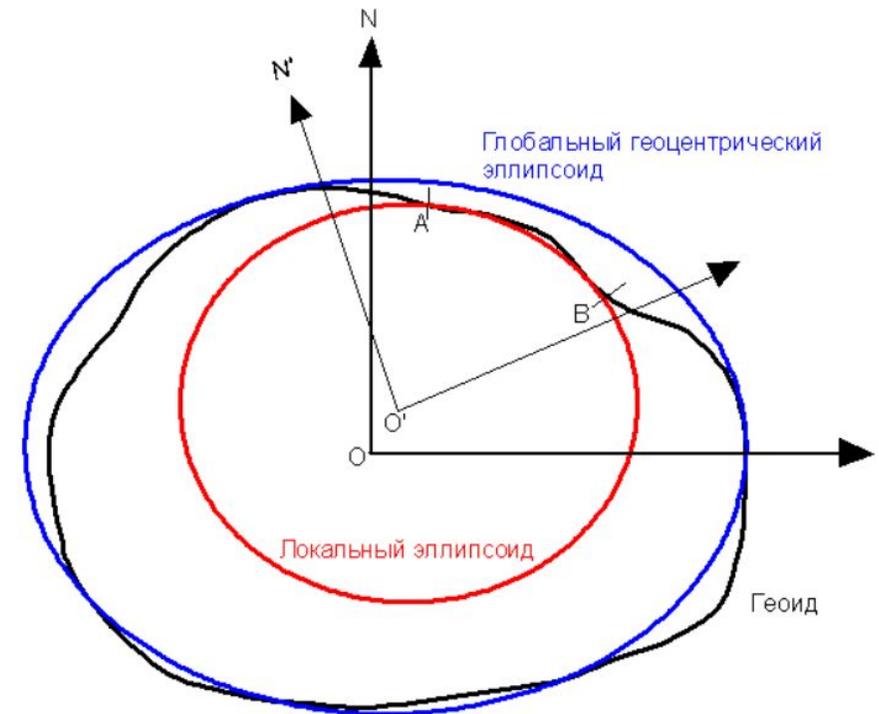
- начало ГСК – 2011 совпадает с центром масс Земли;
- ось Z_{2011} параллельна оси Z общеземной системы;
- ось X_{2011} определяется положением нуль – пункта принятой системы счета долгот (плоскость начального меридиана совпадает с плоскостью (XOZ));
- ось Y_{2011} дополняет систему до правой;
- ГСК-2011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

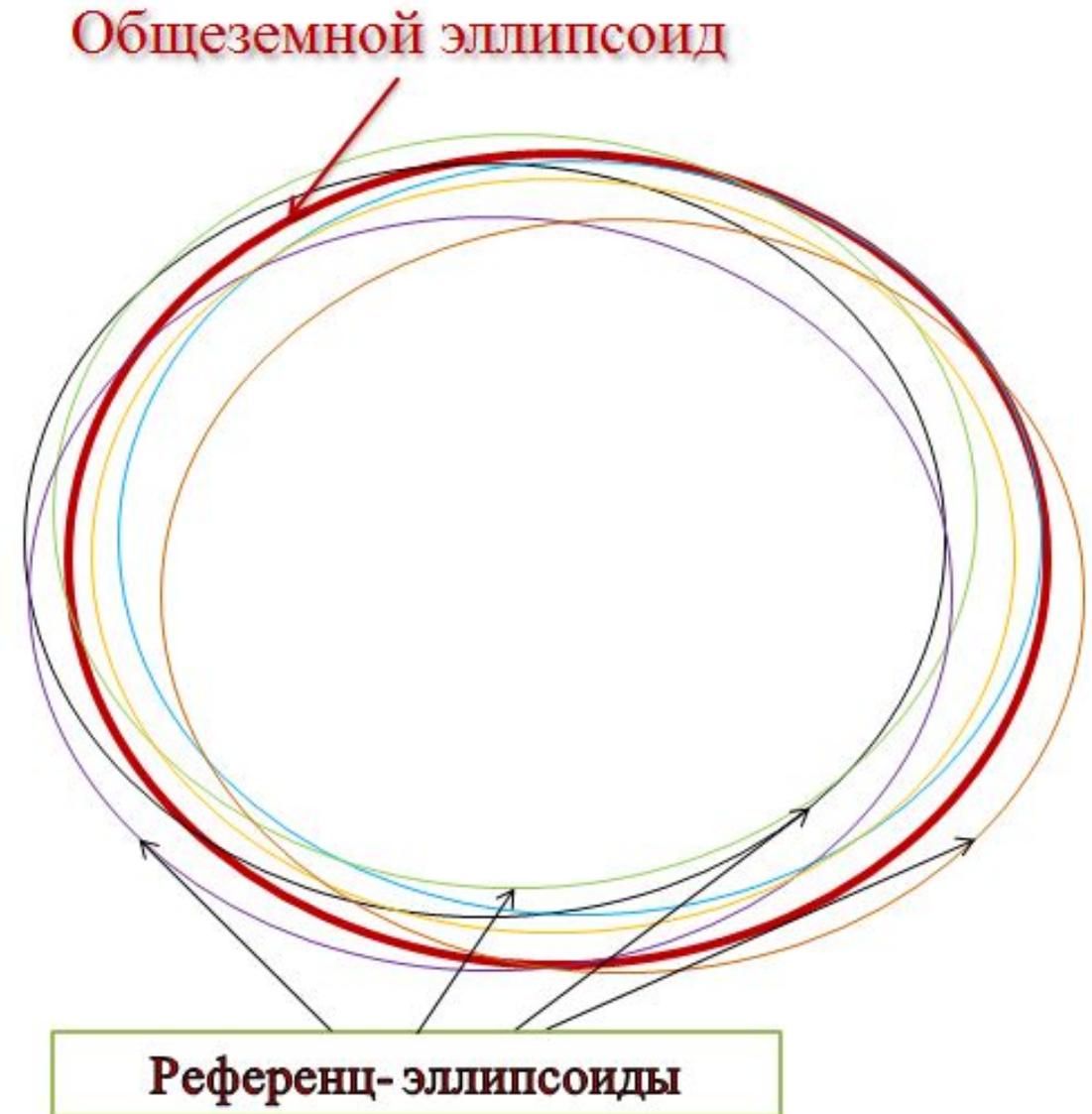
Референцные системы координат получили распространение на начальном этапе развития геодезии в связи с выполнением работ отдельными странами или группой стран на локальной или региональной территории в условиях отсутствия необходимости в глобальных геодезических работах.



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.

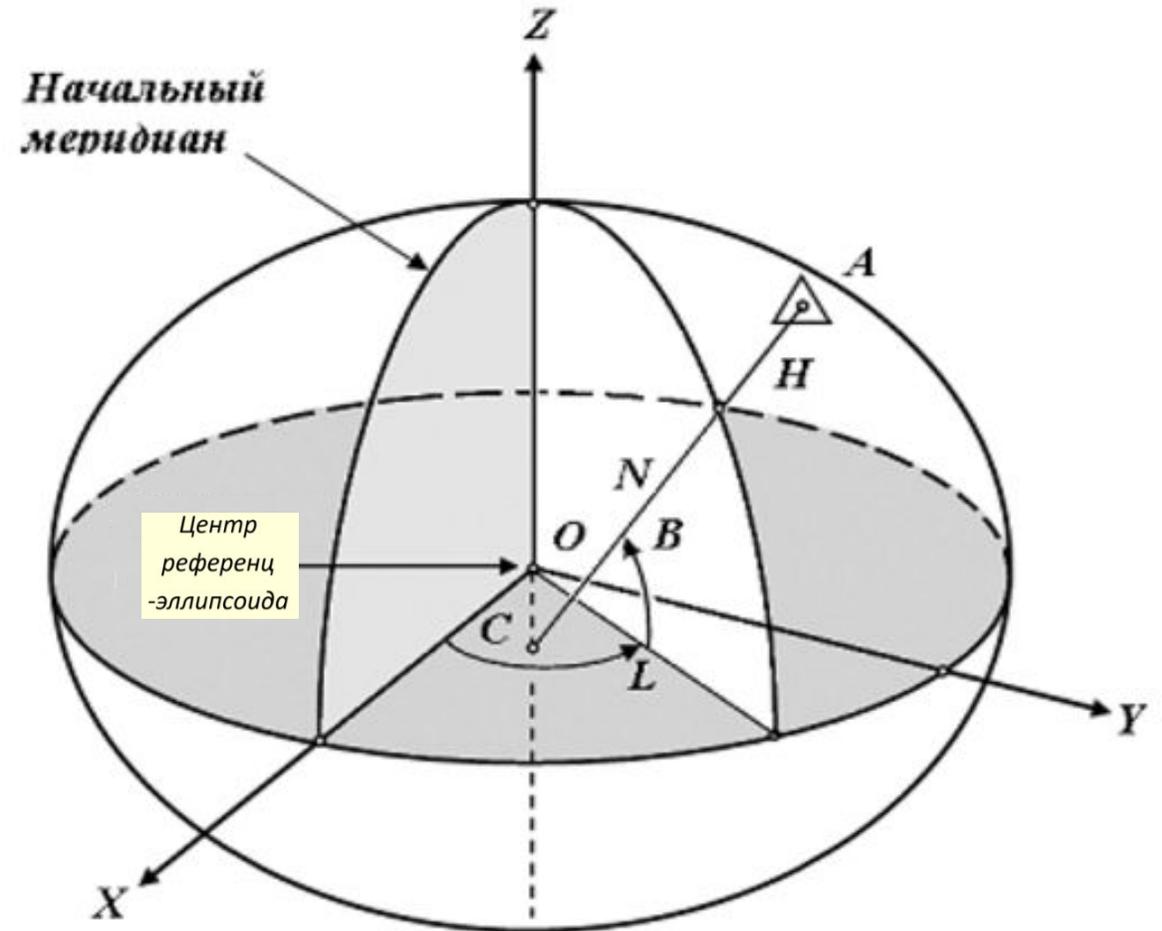


Основной плоскостью в референционной системе координат является плоскость экватора референц-эллипсоида.

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.

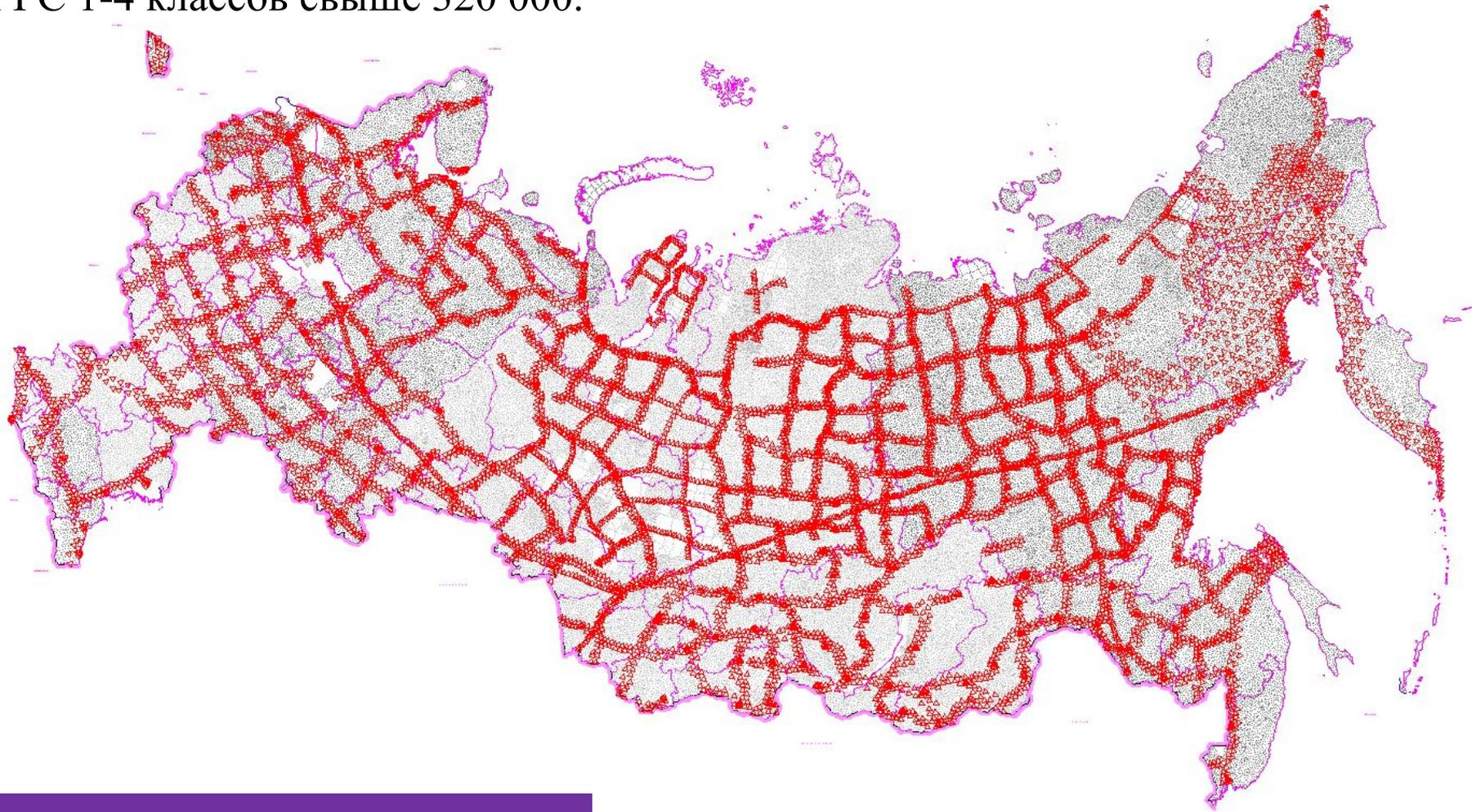
Сеть триангуляции уравнивалась отдельными блоками. На границе блоков результаты предыдущего уравнивания принимались за безошибочные и таким образом координаты постепенно передавались все далее на восток. В каркас полигонов 1-го класса вставлялась заполняющая сеть триангуляции 2-го класса. Такой принцип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

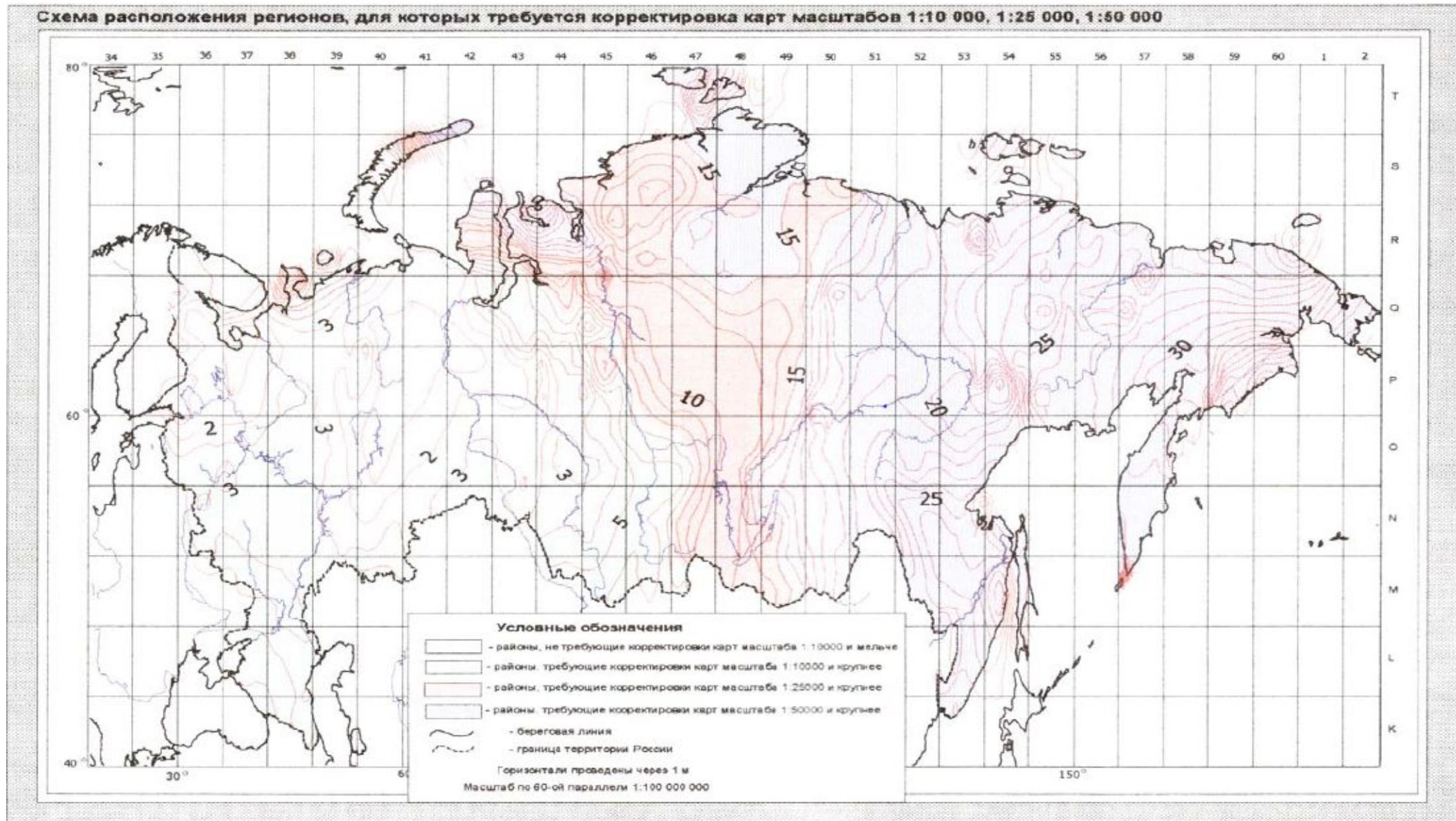
Координаты начала геодезической сети в системах СК-42 и СК-95 были приняты одинаковыми.

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

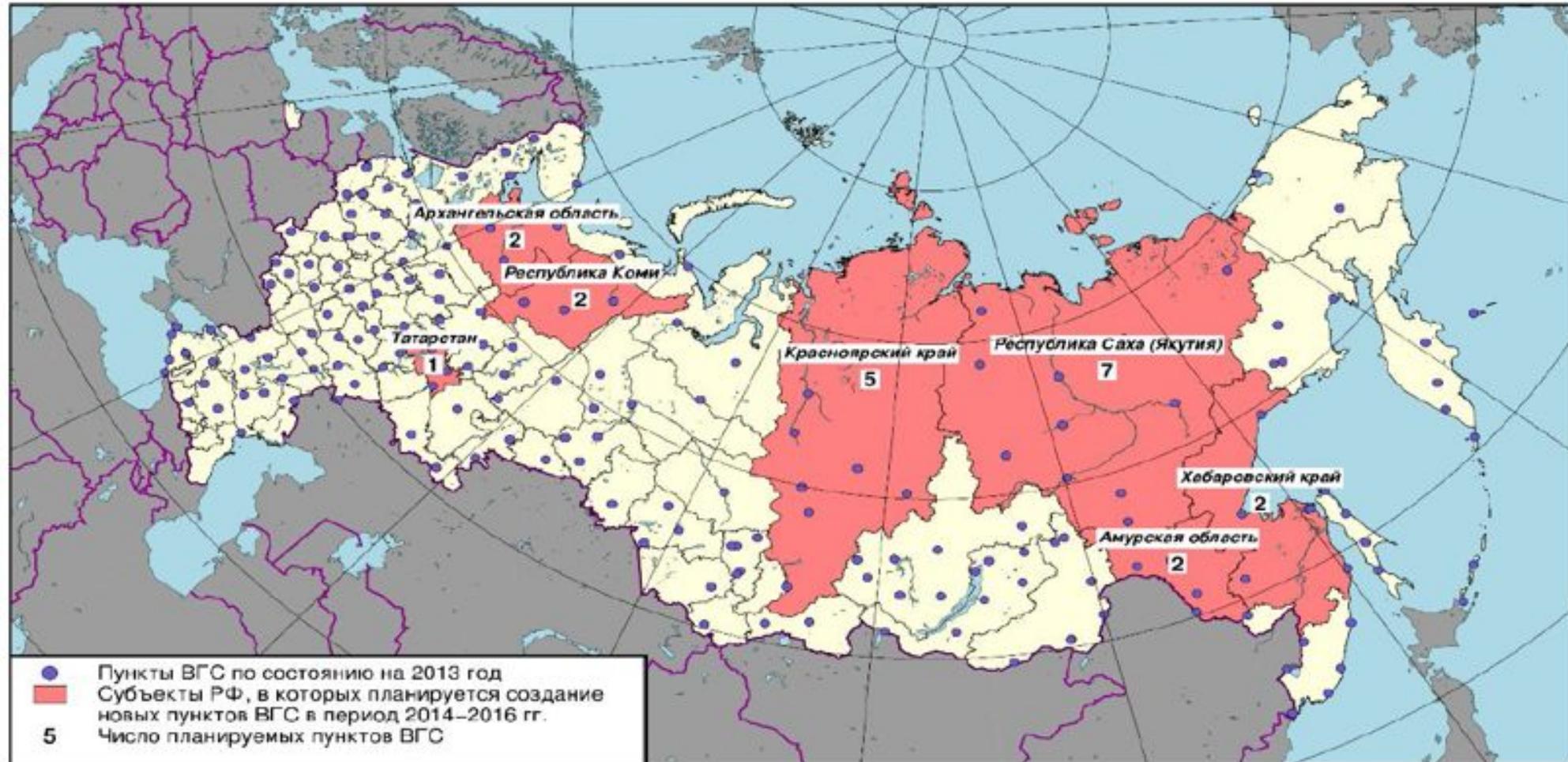


Схема сети существующих и планируемых пунктов ВГС

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

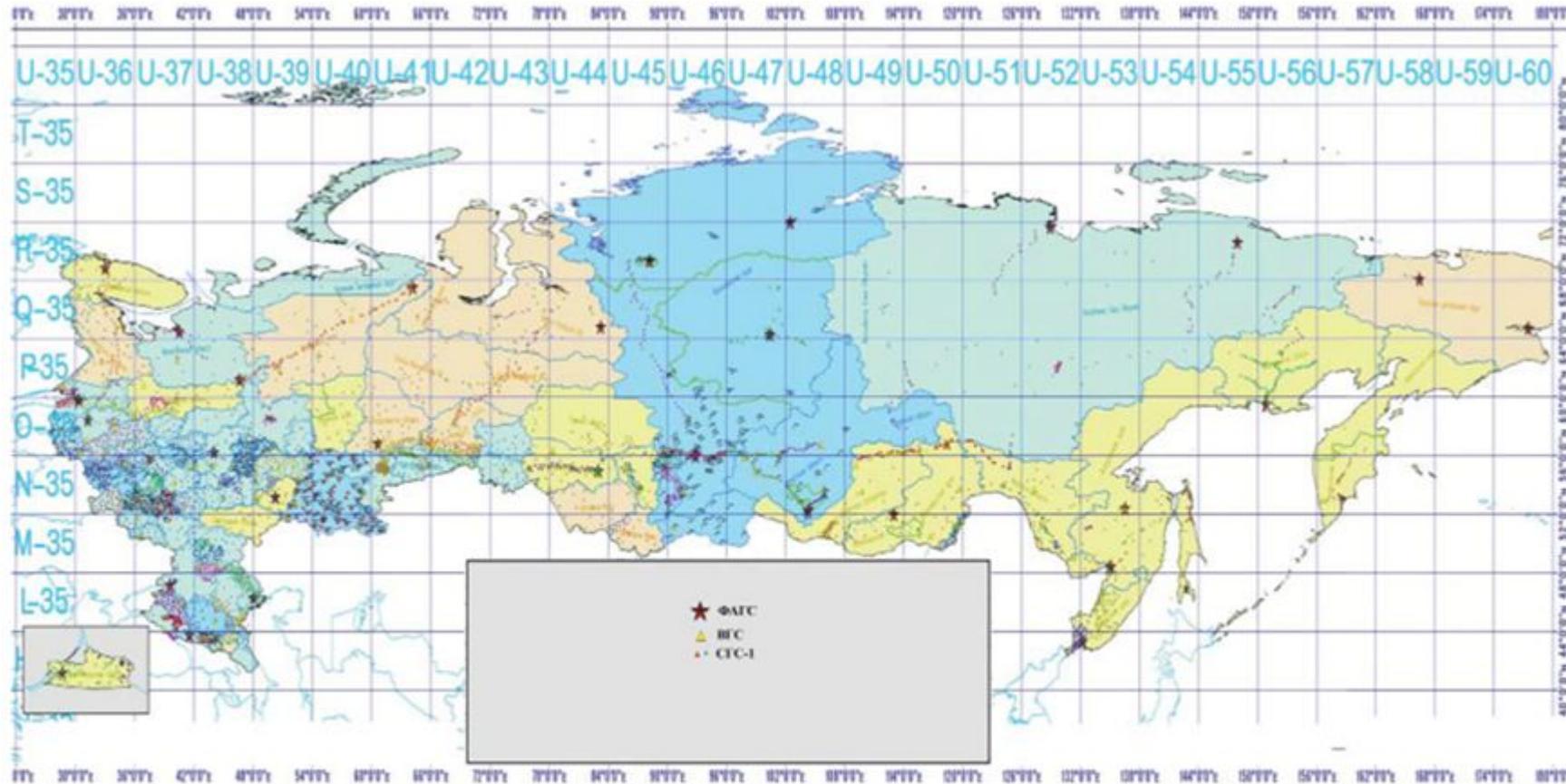


Схема сети существующих пунктов ФАГС, ВГС, СГС–1 по состоянию на 2016 год

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