

**Теоретические основы.  
Учебного курс: «Картограф.»**

Методические материалы получены из открытого источника:  
<http://freemaps.ru/lessons/>

# Содержание

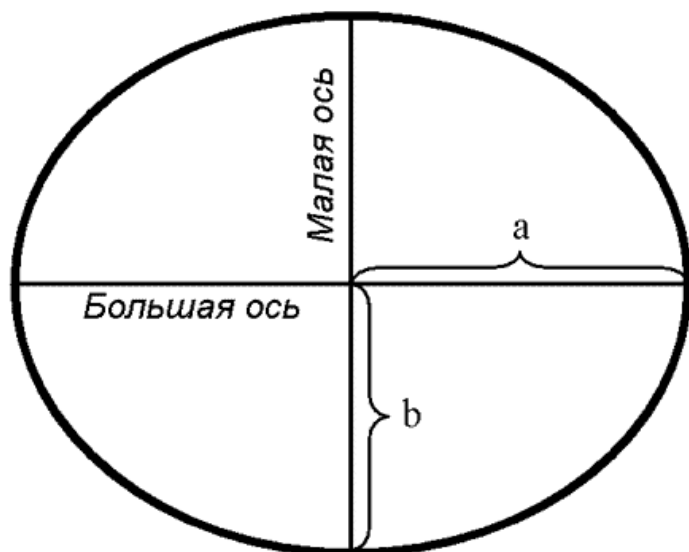
<b>ФОРМА ЗЕМЛИ.....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛОБУС, КАК МОДЕЛЬ ЗЕМЛИ.....</b>	<b>4</b>
<b>СО СФЕРЫ НА ПЛОСКОСТЬ. ....</b>	<b>5</b>
<b>ПРОЕКЦИИ КАРТ.....</b>	<b>8</b>
Цилиндрическая, конусная и плоскостная проекции.....	9
О выборе проекций. ....	10
<b>КООРДИНАТНАЯ СЕТКА.....</b>	<b>14</b>
<b>НОМЕНКЛАТУРА И РАЗГРАФКА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ .....</b>	<b>14</b>
<b>ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ДАТУМЫ.....</b>	<b>18</b>
<b>ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ. ....</b>	<b>20</b>
Принцип действия GPS.....	23
Спутниковая трилатерация.....	23
Спутниковая дальнометрия.....	24
Точная временная привязка.....	25
Расположение спутников.....	27
Источники ошибок.....	27
<b>ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ГИС).....</b>	<b>29</b>
Как работает ГИС .....	30
Какие бывают ГИС? .....	31
Компоненты ГИС .....	31

Эта лекция будет посвящена так называемой математической основе создания карт. Тем, кто в математике разбирается не очень, не стоит ждать здесь больших проблем. За весь материал Вам не встретится ни одной формулы. Ну может быть одна-две. Весь материал сделан в популярной форме и иллюстрирован рисунками. Основные знания по теме лекции Вам несомненно пригодятся в дальнейшем обучении и в реальной работе по созданию карт.

## Форма Земли.

Говоря о форме Земли, имеют в виду не физическую её поверхность, представляющую собой сложные сочетания возвышенностей и низменностей, гор и долин, а некоторую воображаемую или условную поверхность среднего уровня Мирового океана в спокойном состоянии, которая как бы покрывает всю нашу планету и перпендикулярна в любой её точке к направлению отвесной линии. Такая поверхность называется *уровенной поверхностью*. Фигура Земли, образованная *уровенной поверхностью*, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками и островами, называется *геоидом*.

Фигура геоида связана с направлением силы тяжести и, следовательно, существенно зависит от неравномерного распределения масс в земной коре. Поэтому поверхность геоида имеет неправильную, в геометрическом отношении весьма сложную фигуру с неравномерно изменяющейся кривизной. Однако исследованиями установлено, что поверхность геоида в общем близка к поверхности эллипсоида вращения с небольшим сжатием по направлению малой (полярной) оси.



### Эллипс и его элементы.

Размеры любого эллипсоида вращения характеризуют большая **a** и малая **b** полуоси.

Отношение  $(a - b) / a$  называется **сжатием эллипсоида**. Эллипсоид вращения имеет математически правильную поверхность, образованную вращением эллипса вокруг его малой оси. Отступления по высоте точек поверхности геоида от поверхности наиболее близко подходящего к нему по своим размерам эллипсоида характеризуются в среднем величиной порядка 50 м и не превосходят 150 м. По сравнению с размерами Земли такие расхождения настолько незначительны, что на практике форму Земли при-

нимают за эллипсоид. Эллипсоид, который характеризует фигуру и размеры Земли, называют **земным эллипсоидом**.

Установление размеров земного эллипсоида, наиболее близко подходящего по своей форме и размерам к фактической фигуре Земли, имеет большое научно-теоретическое и практическое значение. Это важно для создания точных топографических карт. Если размеры земного эллипсоида будут установлены неверно, то это приведет к неверным исчислениям при проектировании на его поверхность, а следовательно, и при изображении на картах, всех длин линий и размеров площадей по сравнению с их действительными размерами на уровенной поверхности Земли. Размеры земного эллипсоида в разное время определялись многими учеными по материалам градусных измерений. Некоторые из них приведены в таблице:

Автор определения Страна, где опубликованы определения Год определения  
Большая полуось Сжатие

Бессель Германия 1841 6 377 397 1 : 299,2

Кларк Англия 1880 6 378 249 1 : 293,5

Хейфорд США 1910 6 378 388 1 : 297,0

Красовский СССР 1940 6 378 245 1 : 298,3

В США, Канаде, Мексике, Франции при создании карт пользуются размерами эллипсоида Кларка, в Финляндии и некоторых других странах - размерами эллипсоида Хейфорда, в Австрии — размерами эллипсоида Бесселя, в России и ряде других стран - размерами эллипсоида Красовского.

При решении некоторых практических задач, когда не требуется высокая точность, фигуру Земли принимают за шар, поверхность которого (около 510 млн. км<sup>2</sup>) равна поверхности эллипсоида принятых размеров. Радиус такого шара, вычисленный по элементам эллипсоида Красовского, равен 6371 116 м или округленно 6371 км.

## **Глобус, как модель Земли.**

Уменьшенной моделью Земли, наиболее полно отображающей ее поверхность, является глобус, что в переводе с латинского означает шар. С помощью глобуса можно представить себе вращение Земли вокруг оси, наклон земной оси к плоскости орбиты. А главное, на глобусе мы наблюдаем в уменьшенном виде всю поверхность нашей планеты.

Теперь ещё немного истории.

Первый упоминаемый в литературе земной глобус - глобус Кратеса из Пергамы - был сделан во II в. до н. э. Однако ни сам глобус, ни его изображение не найдены. В I в. н.э. среднеазиатский ученый Бируни, родившийся в городе Кяте - древней столице Хорезма, изготовил оригинальный глобус, наиболее точно для того времени передававший представление о земном шаре. О том, как ученый создавал свой глобус, он рассказывал сам: "Я начал с уточнения расстояний и названий мест и городов, основываясь на слышанном от тех, кто по ним странствовал, и собранном из уст тех, кто их видел. Предварительно я проверил надежность материала и принял меры предосторожности путём сопоставления сведений одних лиц со сведениями других". К сожалению и этот глобус до нас не дошел.

Первым из сохранившихся считается глобус, изготовленный в 1492 г. немецким географом М. Бежаймом. На нем еще не было Америки, и расстояние между западным

побережьем Европы и восточным побережьем Азии было в два раза меньше, чем в действительности.

Уникальным памятником отечественной науки и техники XVIII в. является большой академический глобус, диаметр которого составляет 3 м 10 см. На наружной поверхности его нанесена карта Земли, а на внутренней- звездного неба. Глобус укреплен на железной оси, нижний конец которой упирается в пол, а верхний с помощью специальных растяжек крепится к стенам зала. Внутри глобуса на его оси смонтированы стол и скамья. Здесь могут разместиться одновременно 10-12 человек. С помощью особого механизма глобус вращается вокруг оси, а сидящие внутри зрители, оставаясь на неподвижной скамье, могут наблюдать движение небесных светил. Этот глобус хранится в музее М. В. Ломоносова в Санкт-Петербурге.

В настоящее время фигуру Земли представляют в виде эллипсоида, так как экваториальный радиус Земли больше полярного примерно на 21 км. Возникает вопрос, почему же глобусы изготавливают в виде шара, а не эллипсоида? Допустим, глобус имеет диаметр 50 см. В этом случае нетрудно посчитать, что разность экваториального и полярного радиусов глобуса составляет всего 0,1 см.

Понятно, что такое малое расхождение радиусов глобуса не может быть ощутимо. И действительно, с космических высот наша планета представляется правильным шаром с затуманенными из-за наличия атмосферы краями. Неровности земной поверхности также не отобразятся на глобусе. Даже такая величайшая вершина мира, как Джомолунгма, и та будет на глобусе незаметной песчинкой высотой несколько микрометров.

Обычно масштабы глобусов очень мелкие-1:30 - 1:80 млн., но в отдельных случаях, например у музейных глобусов, они составляют 1:10 млн. и крупнее. Такие глобусы иногда делают рельефными, но рельеф на них изображают в значительно укрупненном масштабе.

Параллели и меридианы, проведенные на глобусе, образуют своеобразную сетку, которая называется географической. Относительно этой сетки на поверхности глобуса изображены моря и океаны, материки и отдельные страны. Вследствие этого глобус обладает замечательными свойствами. Он не только наглядно представляет фигуру Земли, но и дает правильное представление о положении на земном шаре полюсов и экватора, а также основных частей земной поверхности: материков, океанов, морей, островов и других крупных объектов. Изображение Земли на глобусе имеет свойства равномасштабности, равновеликости и равноугольности. Это значит, что все линейные размеры даются на нем с одинаковым уменьшением, формы фигур подобны действительным очертаниям на земной поверхности, а площади всех объектов, показанных на глобусе, пропорциональны их действительным площадям на земном шаре.

Глобус как картографическая модель земного шара позволяет рассматривать Землю как бы со стороны, но не издалека и не окутанную в облачный покров, какой она видна из космоса, а расположенную рядом, доступную для непосредственного изучения, измерений и решения различных задач.

## **Со сферы на плоскость.**

Глобус, безусловно, даёт самое верное представление о взаимном расположении материков и океанов, рек, городов, гор. Но с этой моделью нашей планеты не очень

удобно работать. Глобусы при всех своих достоинствах очень мелкомасштабны и громоздки. Так, если бы глобус был изготовлен в масштабе 1:1 000 000, то он имел бы диаметр 12,7 м. Кроме того, на нем трудно производить линейные измерения, определять плановые координаты точек, наносить на него изображения географических объектов. Да и пользоваться глобусом не всегда удобно - ведь его нельзя напечатать в книге или на отдельном листе. Поэтому глобусы имеют меньшее распространение и применение, чем карты, которые более удобны для использования и хранения.

Как же перейти от глобуса к карте, как перенести сферическую поверхность Земли на плоскость? Если бы Земля имела форму цилиндра или конуса, то сделать развертку ее поверхности не составило бы больших трудностей. Но попробуйте сделать плоской корку от апельсина и вы поймете, в чём заключается основная проблема картографии: поверхность шара или эллипсоида нельзя перенести на плоскость без разрывов или складок.

Попытаемся сделать так. Перенесем с поверхности глобуса узкие полоски, ограниченные меридианами через 10 или 15° по долготе. В пределах каждой полоски видимых искажений нет, но зато между полосками получились разрывы, которые увеличиваются по мере удаления к полюсам. Заполним эти разрывы слегка растянув картографические рисунки, изображающие земную поверхность. Из-за этого правда, расстояния между городами, размеры морей, островов станут большими, чем на глобусе. Гренландия, например, будет выглядеть больше, чем Австралия, хотя на самом деле ее площадь в 3 раза меньше. На глобусе, конечно, таких сюрпризов нет. Но уж тут ничего не поделаешь - другого выхода нет. Приходится с подобными искажениями мириться. Важно только знать, в каком участке карты и на сколько растянуты изображения.

Заметьте, что на каждой полоске, вырезанной из глобуса, крайние меридианы, а также параллели были дугами окружностей, а на карте они после растяжения стали прямыми линиями. Таким образом, переход от поверхности глобуса к плоскости получился в результате преобразования градусной сетки глобуса. В этом и состоит сущность так называемых картографических проекций.

В зависимости от вида проекции меридианы и параллели, образующие градусную или картографическую сетку, могут изображаться прямыми, или кривыми линиями. Сетка параллелей и меридианов служит основой любой карты. Ее заполняют географическими объектами, положение которых определяется из топографических съемок. Образно говоря, сетка служит канвой, на которой вышиваются географические узоры.

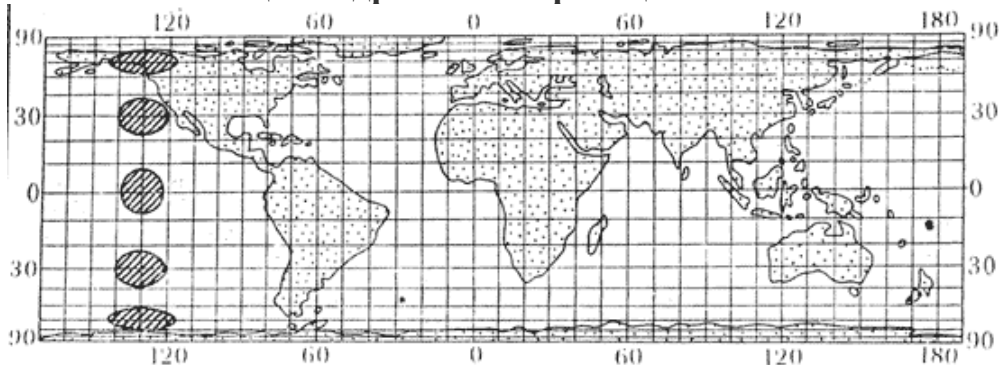
При создании карт применяют самые разнообразные проекции. Точки земной поверхности проектируют на плоскости, конусы, цилиндры, многоугольники или сразу же на поверхности нескольких совмещенных фигур. При этом Земля принимает самый разнообразный вид.

Над разработкой картографических проекций трудились крупнейшие ученые разных эпох. Достаточно назвать Аристотеля и Птолемея, Леонардо да Винчи и Декарта, М. В. Ломоносова и К. Гаусса. Замечательный русский ученый, создатель периодической системы химических элементов Д. И. Менделеев также внес определенный вклад в картографию: он предложил оригинальную проекцию для карты России, и такая карта была издана в 1906 г.

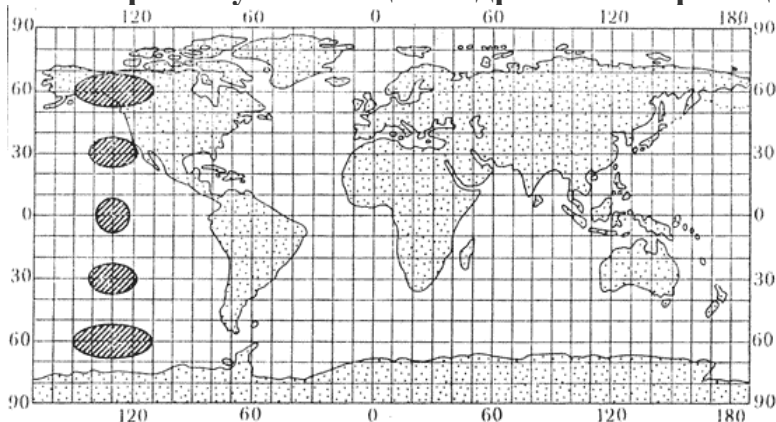
Несмотря на то, что существуют тысячи способов изображения Земли на плоскости, ни один из них не дает точного ее воспроизведения. Всегда чем-то приходится

жертвовать. На одних картах правильно изображают очертания материков и океанов, но при этом искажают их размеры. На других - сохраняют площади, зато искажают формы континентов. Ниже, с помощью эллипсов, показаны искажения, которые имеют место в некоторых проекциях.

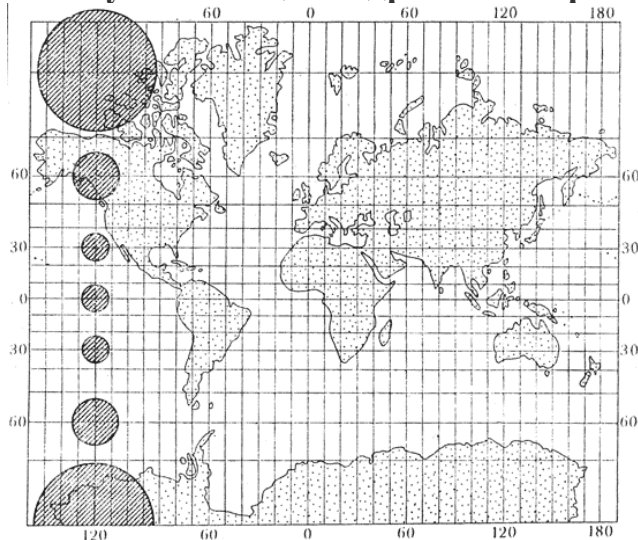
### Равновеликая цилиндрическая проекция.



### Равнопромежуточная цилиндрическая проекция.



### Равноугольная цилиндрическая проекция.



Применяя различные картографические проекции, можно создавать карты, свободные или почти свободные от одних искажений, но сохраняющие искажения другого рода. Знакомясь с различными видами карт, можно только поражаться широте возможностей и гибкости средств, которыми обладает картография. Картографы могут предложить специалистам множество проекций, причем каждая будет удовлетворять ранее заданным условиям, за исключением одного: карты, совершенно свободной от искажений земной поверхности, не существует. Хотите избавиться от одних искажений - миритесь с другими!

Самые большие искажения свойственны картам мира, так как на них изображают поверхность всего земного шара. На картах отдельных стран искажения будут меньше. Это легко понять: ведь маленькую выпуклость сферы легче перенести на плоскость! Поэтому на карте, изображающей небольшой материк, небольшую страну, разномасштабность в различных ее местах невелика, и при измерениях можно пользоваться одним, средним масштабом.

На первый взгляд, построение картографических проекций может показаться простым делом. На самом же деле любая проекция строится по строгому математическому закону. Изучением законов построения картографических проекций занимается специальная наука - математическая картография.

## **Проекция карт.**

**Картографическая проекция - математически определенный способ отображения поверхности земного эллипсоида на плоскости. Картографическая проекция устанавливает аналитическую зависимость между географическими координатами точек земного эллипсоида и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости.**

В связи с тем что Земля, в общем, круглая, а карта абсолютно плоская, задача стоит так - круглую Землю отобразить на плоской карте, при этом не перерисовать, например, "Новую Землю" от руки, а спроецировать ее так, чтобы было установлено математическое соответствие между географическими координатами на Земле и плоскими координатами на бумаге. Для обеспечения этого математического соответствия и применяются проекции.

В картографической практике распространена классификация проекций по виду вспомогательной геометрической поверхности, которая может быть использована при ее построении. С этой точки зрения выделяют проекции: цилиндрические, когда вспомогательной поверхностью служит боковая поверхность цилиндра, касательного к эллипсоиду или секущего эллипсоид; конические, когда вспомогательной поверхностью является боковая поверхность касательного или секущего конуса; азимутальные, когда вспомогательная поверхность — касательная или секущая плоскость.

Так же картографические проекции различают:

- по характеру искажений на равноугольные, равновеликие и произвольные, включающие равнопромежуточные;

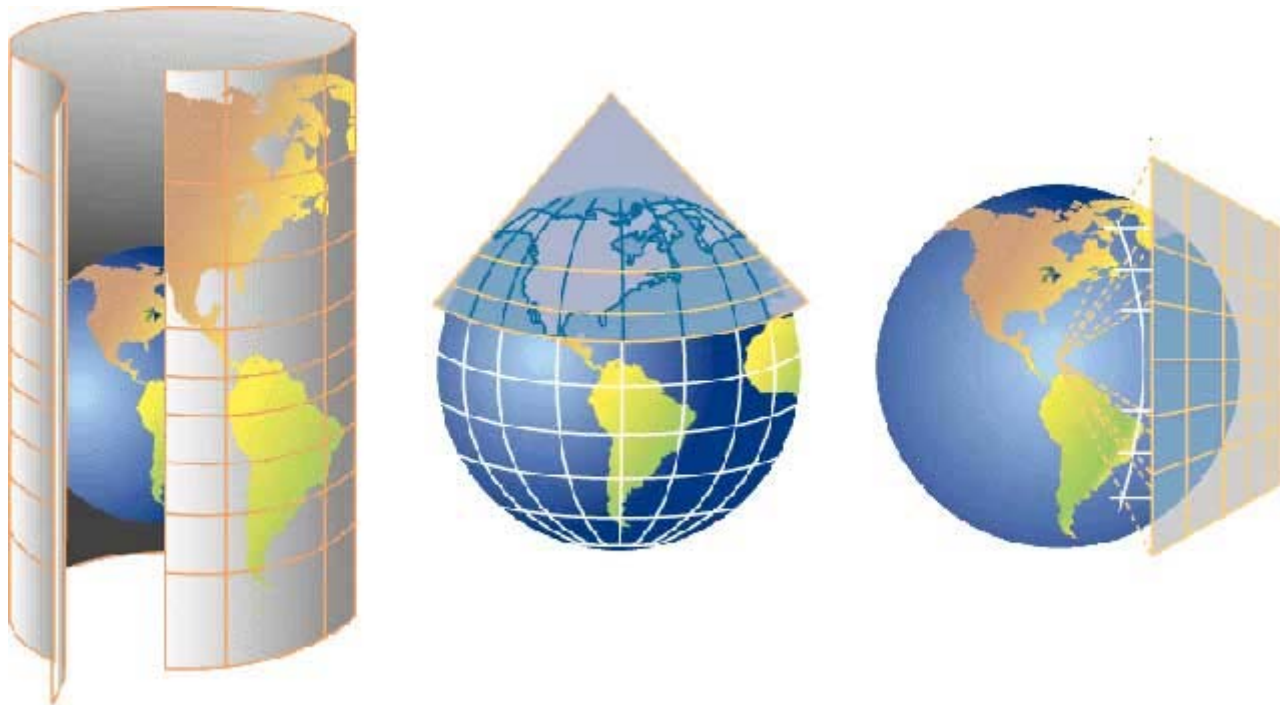
- по виду изображений параллелей и меридианов на цилиндрические, конические, азимутальные, поликонические, псевдоконические, псевдоцилиндрические, условные.

Применение тех или иных картографических проекций зависит от назначения карты, конфигурации и положения картографируемой территории.

Как уже было сказано, основными являются проекции на плоскость, конус и цилиндр. Плоские карты из конуса и цилиндра получаются разворачиванием их на плоскости. Это три способа, позволяющие представить поверхность земного шара на плоскости. Помещенный внутри глобуса источник света позволяет спроектировать очертания материков и градусную сетку на поверхность цилиндра, конуса или на плоскость. Большинство используемых картографических проекций получены с помощью одного из этих приемов. В каждом случае происходит некоторое искажение площадей, формы или расстояний.

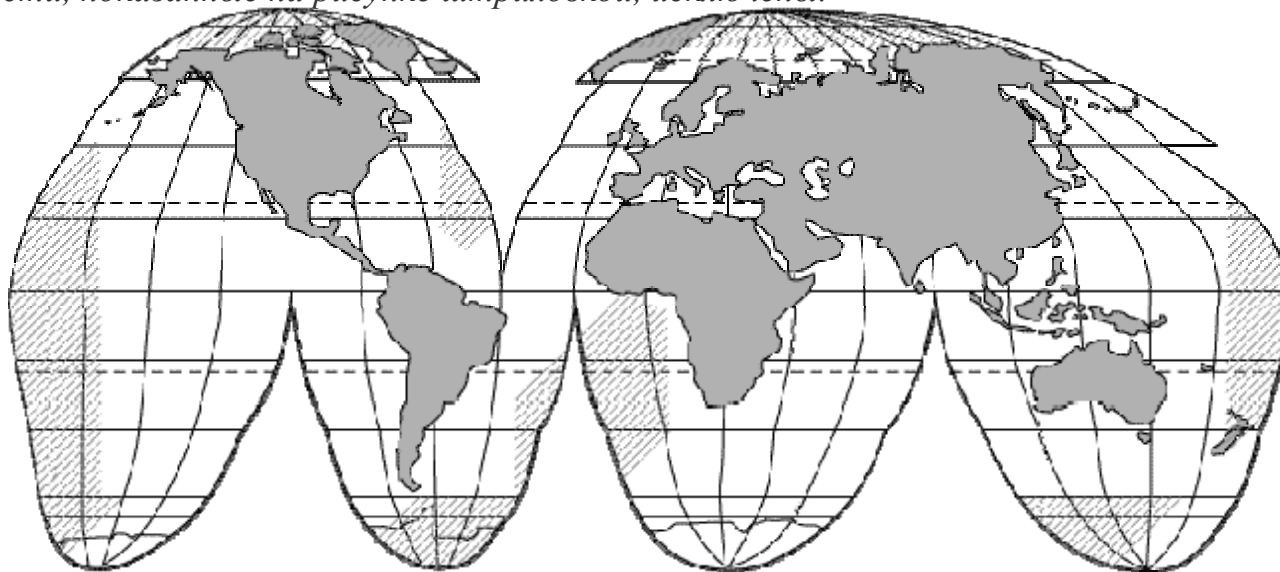


## Цилиндрическая, конусная и плоскостная проекции.



Бывают проекции равноугольные (конформные), равновеликие (эквивалентные) и произвольные. В равноугольных проекциях не искажаются углы: как пересекались дороги на местности под прямым углом, так будет прямой угол и на карте. В равновеликих не искажаются площади: как на местности было государство N кв. км, так будет и на карте, с учетом масштаба, разумеется. Разумеется, также, что форма государства на глобусе и на карте в такой проекции может сильно отличаться. И последний вид - произвольные проекции, в них искажаются и площади, и углы. Но зато на них смотреть приятнее, потому что картинка на таких картах больше похожа на те, что мы видим на глобусе. В общем, это компромиссный вариант между искажением углов и площадей.

*Комбинированная равновеликая проекция с разрывами, в которой низкие широты изображаются в синусоидальной проекции, а высокие – в проекции Мольвейде (псевдоцилиндрической). Часто карты в такой проекции даются в «сжатой форме», когда области, показанные на рисунке штриховкой, исключены.*



**Масштаб** - вещь важная и, естественно, можно догадаться, что он в разных местах карты также будет разный. Вы, наверняка, вспомните карту Мира, где все меридианы выглядят параллельными. На такой карте отрезки параллелей между меридианами по-

лучаются везде одинаковые. А на глобусе, чем ближе к полюсу, тем отрезки параллелей между меридианами меньше. Вот и получается, что по параллелям масштаб в разных местах такой карты разный. Чем ближе к полюсам, тем масштаб крупнее. Разный масштаб в разных местах и на других картах, где географическая сетка меридианов и параллелей выглядит по иному, но этот вопрос мы с Вами опустим. Просто об этом надо помнить.

Проекции, при построении которых оси цилиндра или конуса совмещались с полярной осью земного шара, называются нормальными.

Еще проекции бывают косые, в которых наклон цилиндра или конуса относительно полярной оси составляет острый угол, и поперечные, когда этот угол составляет 90 градусов.

При описании проекций много внимания уделяется тому, как выглядят на них параллели и меридианы. Все знают, как они выглядят на глобусе, поэтому, изучая географическую сетку на карте в какой-либо проекции, можно понять, как и в каких местах эта карта искажена. По типу сетки можно выделить:

- Псевдоцилиндрические проекции, у которых параллели - прямые, параллельные друг другу, а меридианы - кривые, симметричные, относительно среднего прямолинейного меридиана,

- Псевдоконические, где параллели - дуги концентрических окружностей, а меридианы - кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана,

- Поликонические, параллели которых - дуги эксцентрических окружностей с центрами на среднем прямолинейном меридиане, а меридианы - кривые, симметричные относительно среднего меридиана.

Помимо упомянутых проекций, существует ещё великое множество типов и разновидностей проекций. Каждая из них применяется для решения каких либо специальных задач. Некоторые из них созданы только для "красивости" отображения каких-то территорий Земли для гербов, знаков и т.п.

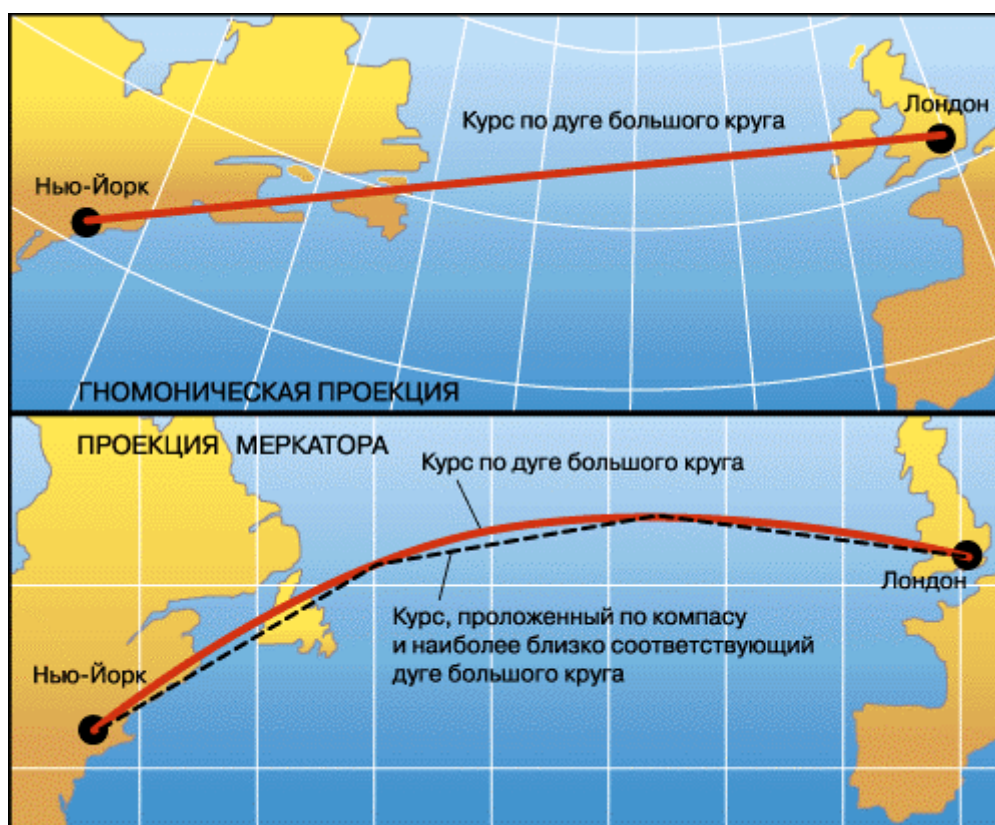
Я специально упускаю здесь подробности о составе, построении и множестве видов проекций. Если кого ни будь заинтересовала данная тема, то он всегда может получить исчерпывающую информацию из любой литературы, посвященной математическим основам картографии. Остановимся ещё немного на выборе проекций при решении различных картографических задач.

### ***О выборе проекций.***

На выбор проекции для конкретной карты влияет ряд факторов, в первую очередь назначение карты и географические особенности территории.

Прежде всего, исходя из назначения карты, устанавливают предпочтительный характер искажений. Карты, используемые для измерения азимутов и углов, целесообразно строить в равноугольных проекциях. Например, для морских навигационных карт применяют равноугольную цилиндрическую проекцию Меркатора. Угол, измеренный на ней между направлением меридиана и направлением на конечный пункт, точно соответствовал курсу корабля. Хотя это и не будет кратчайшим путём.

**Общая длина пути на этих двух рисунках одинакова. На нижнем показана ортодромия.**



На картах для целей телекоммуникации предпочитают косые стереографические проекции— радиоволны передающих станций распространяются по направлениям, которые в этой проекции изображаются прямыми линиями, и т. п. Опыт показывает, что равноугольные проекции удовлетворяют запросы многих потребителей. Однако при необходимости производить по картам измерения или сравнение площадей, что, например, существенно для некоторых экономических карт, обращаются к проекциям равновеликим. Когда чрезмерные искажения углов и площадей одинаково нежелательны, например, на картах полушарий, берут одну из произвольных проекций.

Учёт географических факторов, т. е. размеров, формы и положения картографируемой территории, позволяет найти в избранной группе проекций (равноугольных, равновеликих, произвольных) проекцию, обладающую наименьшими искажениями или их выгодным распределением, или другими ценными для карты свойствами.

Для карт мира преимущественно используют цилиндрические и псевдоцилиндрические проекции, имеющие сетки с прямолинейными и параллельными друг другу параллелями, что ценно при изучении явлений широтной зональности. В цилиндрических проекциях изображения повторяющихся территорий одинаковы. Чтобы уменьшить искажения в высоких широтах, можно строить проекцию на секущем цилиндре. Например, на многих картах Большого советского атласа мира была использована цилиндрическая проекция, сохраняющая главные масштабы по параллели  $30^\circ$ . Псевдоцилиндрические проекции по сравнению с цилиндрическими дают в высоких широтах меньшие искажения площадей, но увеличивают искажения углов, что сказывается особенно неблагоприятно на изображениях повторяющихся территорий, например Северной и Южной Америки.

Карты полушарий естественно строить в азимутальных проекциях. Ранее широко применялись равноугольная стереографическая проекция и равновеликая Ламберта. Первой из них на краях полушария свойственны большие искажения площадей. Поэто-

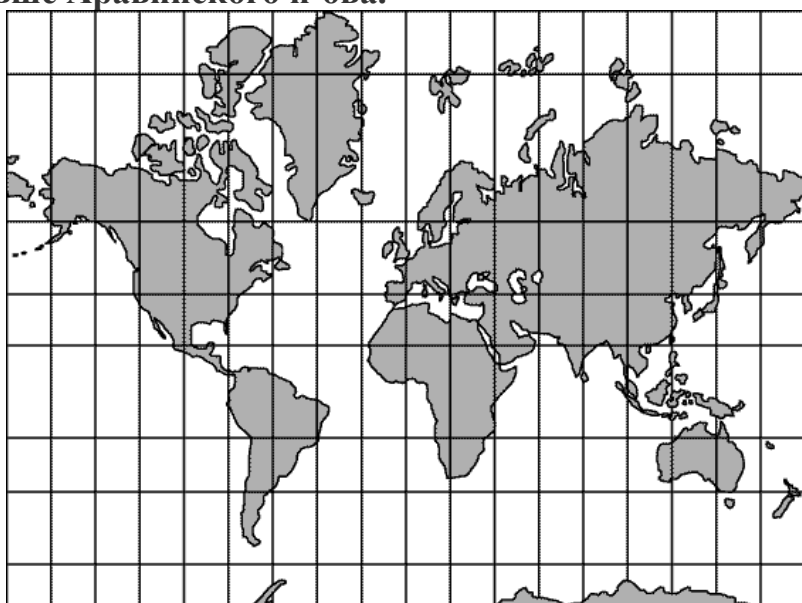
му в настоящее время для учебных карт предлагают произвольные азимутальные проекции, промежуточные по величине искажений.

Для карт отдельных материков (Европы, Азии, Северной Америки, Южной Америки, Австралии с Океанией) применяют преимущественно равновеликую косую азимутальную проекцию Ламберта с точкой нулевых искажений в центре изображаемого материка. Для Африки косая проекция заменяется экваториальной. В азимутальной проекции искажения нарастают по мере удаления от центра проекции и потому достигают наибольшей величины в углах прямоугольной рамки карты. Так, на карте Азии в пределах материка угловые искажения достигают  $15^\circ$ .

Карты России составляются главным образом в нормальных конических проекциях. Все нормальные конические проекции в их применении для карт России не позволяют показать точку полюса и вследствие значительной части кривизны параллелей как бы поднимают восточные и западные части СССР, что нарушает зрительное представление о широтных зонах. Эти недочеты, нежелательные для учебных карт, могут быть устранены при иной надлежаще подобранной проекции, хотя другие проекции обладают по сравнению с коническими проекциями большими искажениями.

В выборе проекций большую роль играет математический момент — величина искажений. Но этот признак не всегда решающий. Ярким примером этому служит использование для морских навигационных карт проекции Меркатора, которая при сохранении главного масштаба на экваторе преувеличивает площади на параллели  $60^\circ$  в 4 раза, а на параллели  $80^\circ$  более чем в 30 раз. Но в этой проекции курсы корабля изображаются прямыми линиями, а учет искажений длин, необходимый при определении пройденных расстояний, не вызывает затруднений.

**Проекция Меркатора.** Хотя и весьма полезная для морских навигационных карт, приполярные области отображает с большими искажениями. Например, на этой карте сильно преувеличен размер Гренландии, которая в действительности меньше Аравийского п-ова.



В других случаях важно учитывать географические требования в отношении целостного изображения взаимосвязанных объектов, например, Атлантического и Северного Ледовитого океанов, наилучшего показа основных для темы карты пространств.

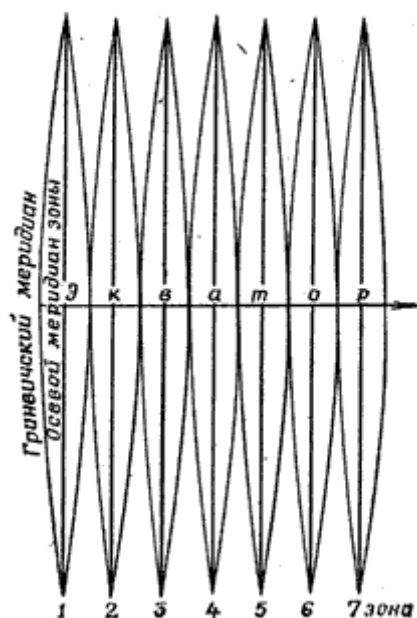
По мере уменьшения масштаба значение географических требований к выбору проекций возрастает. Напротив, для крупного и среднего масштабов на первый план

выступает математический фактор. Карты этих масштабов часто используются в инженерных и оборонных целях, вследствие чего измерения по ним должны отличаться простотой и давать результаты большой точности. Это возможно при практически неощутимых искажениях. Однако при изображении обширных территорий любая проекция дает крупные искажения. Выход был найден в первой половине XIX в., когда стали применять так называемые многогранные проекции (точнее, многогранные построения), когда проекция вычисляется особо для каждого отдельного листа многолистной карты.

Как Вам уже известно, искажения возрастают по мере удаления от точек или линий, сохраняющих главный масштаб. В равноугольных проекциях искажения длин увеличиваются пропорционально квадрату этого удаления. Из этого можно сделать вывод, что при картографировании ограниченного пространства практически можно не учитывать искажений длин и считать в этом смысле различные равноугольные проекции равноценными. Это значит, что при создании карт на большую территорию можно ограничить искажения пренебрегаемыми величинами, если изображать ее по частям. Для этого есть разные пути.

Первоначально прибегали к замене земного эллипсоида многогранником, вписанным в эллипсоид (или описанным около него), и самостоятельному изображению отдельных граней.

Позднее для топографических карт многих стран стали использовать равноугольную поперечную цилиндрическую проекцию Гаусса-Крюгера, нередко называемую поперечной цилиндрической Меркатора. Для ее применения поверхность эллипсоида разделяется на сфероидические двугольники (геодезические зоны), каждый из которых изображается на плоскости самостоятельно.



Таким образом «многогранная проекция» заменена «многополосной». Она создает разрывы по краям зон, но позволяет соединять в одно целое листы внутри всей зоны и считать в пределах зоны масштаб практически постоянным. Именно с такой проекцией нам, в большинстве случаев, и придется иметь дело.

## Координатная сетка.

Важным элементом географической карты является сеть координатных линий — плоское изображение сети соответствующих линий на земном эллипсоиде. При изготовлении карты, сетка служит остовом для построения картографического изображения. При пользовании картой она позволяет определять координаты точек земного эллипсоида, наносить на карту точки по их координатам, измерять направление линий относительно стран света, вычислять масштабы и искажения в любом месте карты.

К самым распространенным сеткам, а на мелкомасштабных картах единственно употребляемым принадлежит картографическая — изображение сети меридианов и параллелей. Ценность картографической сетки обусловлена глубоким географическим смыслом меридианов и параллелей. Меридианы соответствуют направлению "Север — Юг", параллели — направлению "Запад — Восток". Этими направлениями, которые могут быть определены на местности, пользуются для ориентирования при работе с картой. Такое свойство картографической сетки существенно для топографических карт.

На мелкомасштабных картах картографическая сетка, представляет средство для широкого географического ориентирования, основу для разнообразных обобщений и выводов, вытекающих из широтной зональности в размещении многих природных явлений. Наконец, разность долгот пунктов выражает разность их времен.

При всех достоинствах географических сеток им свойствен один недостаток. Практические задачи - нанесение на карту точек по их географическим координатам или определение координат точек по карте, решаются с относительной простотой только на картах в цилиндрических проекциях, у которых меридианы и параллели образуют две системы взаимно перпендикулярных параллельных линий. В других проекциях с более сложными по виду картографическими сетками для решения указанных задач приходится прибегать к вспомогательным графическим построениям и вычислениям, осложняющим работу и не всегда выполнимым в полевых условиях. Между тем при использовании топографических карт для точного указания положения пунктов, передачи по карте расстояний, быстрого расчета направлений и расстояний и т. п. необходимы простые действия, которые могут быть обеспечены сеткой прямоугольных координат. Последняя показывается на современных топографических картах дополнительно к картографической сетке, а на некоторых картах (например, английских и финских) - взамен ее. С этой целью на земном эллипсоиде выбирают две системы линий, которые в проекции топографической карты изображаются сеткой квадратов. В проекции Гаусса-Крюгера осями такой сетки служат изображаемые прямолинейно осевой меридиан зоны и экватор.

В картографических сетках счет параллелей всегда ведут от экватора, счет меридианов — от начального меридиана, за который по международному соглашению 1884 г. принимают меридиан Гринвича, где находится старейшая астрономическая обсерватория Англии.

## Номенклатура и разграфка топографических карт

Система деления карты на отдельные листы называется **разграфкой карты**, а система обозначения (нумерации) листов — **их номенклатурой**.

Топографическими называются такие карты, полнота содержания которых позволяет решать по ним разнообразные задачи. Топографические карты создают обычно на большие территории земной поверхности. Самыми распространёнными картами, с которыми нам чаще всего приходится иметь дело, являются топографические карты местности. Для удобства пользования их издают отдельными листами, границы которых принято называть рамками карты. Сторонами рамок являются меридианы и параллели, они ограничивают изображенный на листе карты участок местности. Каждый лист карты ориентирован относительно сторон горизонта так, что верхняя сторона рамки является северной, нижняя - южной, левая - западной, правая - восточной. Местность на карте изображается в определенном масштабе. Масштаб показывает во сколько раз изображение на местности уменьшено при изображении на карте.

В нашей стране приняты следующие масштабы топографических карт:

**1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000.**

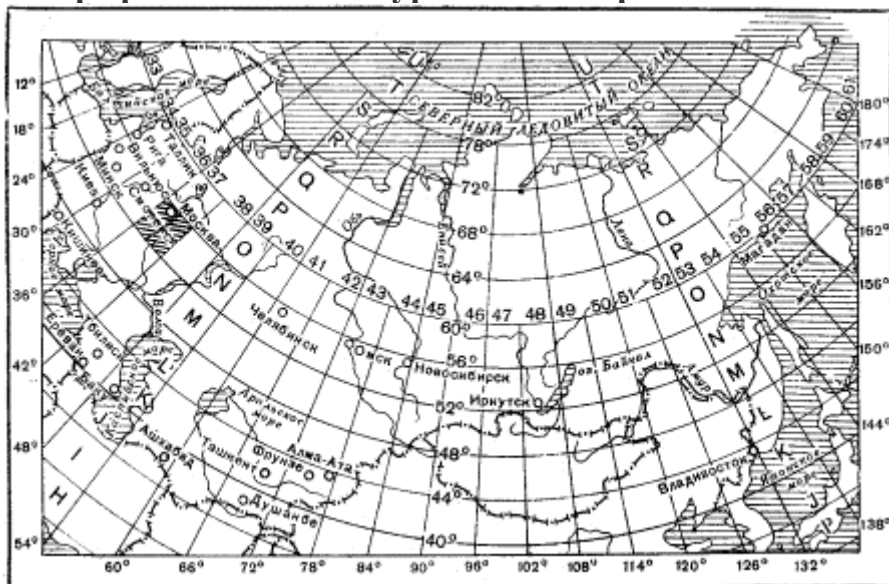
Этот ряд масштабов называется стандартным.

Карты масштабов 1:10 000 (1см =100 м), 1:25 000 (1см =250 м), 1:50 000 (1см=500 м), 1:100 000 (1см =1000 м), называются **крупномасштабными**.

Есть ещё более крупные масштабы, но они встречаются достаточно редко и носят специализированный характер - планы территорий предприятий, планы разводки энергетических линий и т.п.

Топографические карты обычно составляют в равноугольной поперечной цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, вычисленной по элементам эллипсоида Красовского в принятой системе координат, и в Балтийской системе высот. При составлении карт земная поверхность разбивается на шестиградусные зоны по долготе и четырехградусные зоны по широте. Эта площадь и описывается в одном листе карты с масштабом 1:1 000 000. Такая карта является отправной точкой для всех последующих листов более крупных масштабов.

### **Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:1 000 000.**



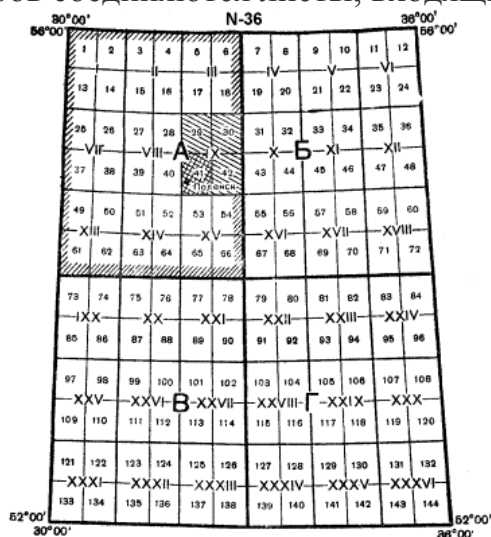
Листы карт масштабов 1:1 000 000 - 1:10 000 ограничены меридианами и параллелями, протяжение дуг которых зависит от масштаба карты.

Стандартные размеры листов карт различных масштабов указаны в таблице.

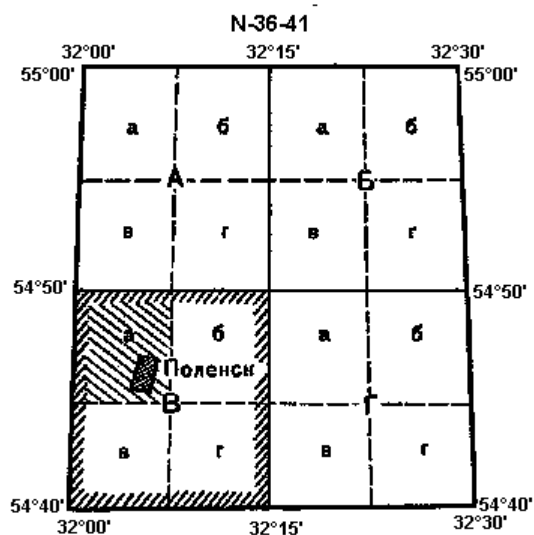
Масштаб карты	Пример номенклатуры листа	Кол-во листов на 1 лист 1:1 000 000	Размеры листа		На местности соответствует	
			по широте	по долготе	длине боковой рамки листа, км	площади листа, кв. км
1:2 000	N-37-144-(256-в)	2304 (план)*	25"	37,5"		1
1:5 000	N-37-144-(256)	256 (план)*	1'15"	1'52,5"		4
1:10 000	N-37-144-Г-г-4	64*	2'30"	3'45"		16
1:25 000	N-37-144-Г-г	16*	5'	7'30"	9	75
1:50 000	N-37-144-Г	4*	10'	15'	18	300
1:100 000	N-37-144	144	20'	30'	37	1200
1:200 000	N-37-XXVI	36	40'	1°	74	5000
1:500 000	N-37-A	4	2°	3°	220	44000
1:1 000 000	N-37	1	4°	6°	440	175000

\* - количество листов дано на 1 лист масштаба 1:100 000.

Севернее 60-й параллели листы карт масштабов 1:1 000 000 - 1:10 000 издаются сдвоенными, а севернее 76-й - счетверенными. При сдваивании листов карты масштаба 1:1 000 000 соединяется, нечетный по номенклатуре лист со следующим порядковым четным по номенклатуре листом. При этом сдвоенному или счетверенному листу обычно присваивается нечетный номер - Q-39. Но иногда применяют прямое указание на номера объединенных листов - Q-39, 40. При сдваивании листов карт других масштабов соединяются листы, входящие в одну трапецию более мелкого масштаба.



Расположение, порядок нумерации и обозначения листов карт масштабов 1:50 000 – 1:500 000 на листе карты 1:1 000 000.





Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:50 000 и 1:25 000 на листе карты 1:100 000..

Для определения по топографической карте положения точки при помощи прямоугольных зональных координат на карту наносят координатную сетку. Она образована системой линий, параллельных изображению осевого меридиана зоны (вертикальные линии сетки) и перпендикулярных к нему (горизонтальные линии сетки). Расстояния между соседними линиями координатной сетки зависят от масштаба карты. Чтобы устранить затруднения с использованием координатных сеток, относящихся к соседним зонам, принято в пределах полос протяжением  $2^\circ$  долготы вдоль западной и восточной границ зоны показывать выходы линий координатной сетки не только своей зоны, но и ближайшей соседней.

Чтобы можно было легко и быстро находить нужные листы карты того или иного масштаба, каждый из них имеет свое условное обозначение - номенклатуру. Сейчас установлена номенклатура листов, единая для топографических карт всех масштабов. Номенклатура каждого листа указана над северной стороной его рамки.

Номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000 состоит из обозначений ряда и колонны. Ряды располагаются параллельно экватору и обозначаются заглавными буквами латинского алфавита. Границами рядов служат параллели, проведенные от экватора через  $4^\circ$  по широте. Счет рядов идет от экватора к полюсам: А, В, С, D, Е и т.д. Колонны располагаются вертикально. Границами их служат меридианы, проведенные через  $6^\circ$  по долготе. Колонны обозначаются арабскими цифрами с 1, 2, 3, 4 и т.д. от меридиана с долготой  $180^\circ$  с запада на восток. При обозначении номенклатуры листа карты первой пишется буква, обозначающая ряд, а затем через черточку-номер колонны, например М-38, К-36 и т. д.

Колонны листов миллионной карты совпадают с шестиградусными координатными зонами, на которые разбивается поверхность земного эллипсоида при вычислении координат и составлении карт в проекции Гаусса. Различие заключается лишь в их нумерации: так как счёт координатных зон ведётся от нулевого (Гринвичского) меридиана, а счёт колонн листов миллионной карты от меридиана  $180$  градусов, то номер зоны отличается от номера колонны на 30. Поэтому, зная номенклатуру листа карты, легко определить, к какой зоне он относится. Например, лист М-35 расположен в 5-й зоне (35-30), а лист К-29 — в 59-й зоне (29+30).

Номенклатура листов карт масштабов 1:100 000 – 1:500 000 складывается из номенклатуры соответствующего листа миллионной карты с добавлением к ней цифры (цифр) или буквы, указывающей расположение на нём данного листа. Как видно из рисунков, счёт листов всех масштабов ведётся слева направо и сверху вниз, при этом:

листы масштаба 1:500 000 (4 листа) обозначаются русскими прописными буквами А, Б, В, Г. Следовательно, если номенклатура листа миллионной карты будет, например, N-36, то лист масштаба 1:500 000 с г. Поленск имеет номенклатуру N-36-А;

листы масштаба 1:200 000 (36 листов) обозначаются римскими цифрами от I до XXXVI. Таким образом, номенклатура листа с г. Поленск будет N-36-IX. 36 листов получается потому, что приходится разбивать лист масштаба 1:500 000 не на 4 листа, как в предыдущем случае, а на 9 частей. Пользоваться римскими цифрами иногда неудобно, поэтому двухкилометровки иногда обозначают двузначными арабскими цифрами

от 01 до 36. Так выглядят обозначения двухкилометровок в этом случае: О-37-01, О-37-25 О-37-36;

листы масштаба 1:100 000 нумеруются цифрами от 1 до 144. Например, лист с г. Поленск имеет номенклатуру N-36-41.

Чтобы в случае применения арабских цифр для масштаба 1:200 000, не путать обозначения листов масштабов 1:200 000 и 1:100 000, принято для масштаба 1:200 000 применяются двузначные номера от 01 до 36, а для масштаба 1:100 000 - трёхзначные от 001 до 144. Например: О-37-25 это двухкилометровка, а О-37-025 это километровка. Но в большинстве случаев применяются римские цифры для двухкилометровок и поэтому определить их достаточно просто.

Листу карты масштаба 1:100 000 соответствуют 4 листа масштаба 1:50 000, обозначаемые русскими прописными буквами "А, Б, В, Г", а листу масштаба 1:50 000 — 4 листа карты 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита "а, б, в, г".

В соответствии с этим номенклатура листов карты 1:50 000 складывается из номенклатуры листа масштаба 1:100 000, а листов карты 1:25 000 — из номенклатуры листа масштаба 1:50 000 с присоединением к ней буквы, указывающей данный лист. Например, N-36-41-В обозначает лист масштаба 1:50 000, а N-36-41-В-а — лист масштаба 1:25 000 с г. Поленск.

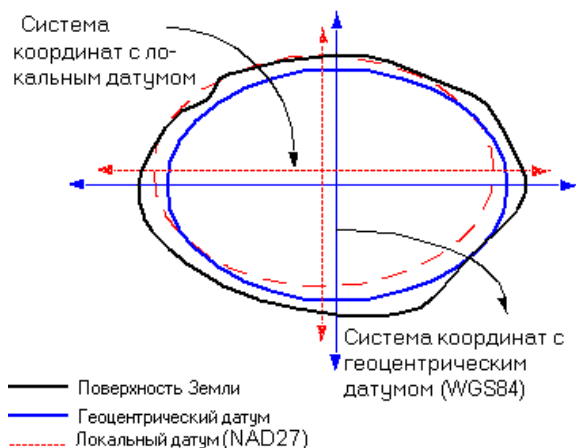
Чтобы легче было подобрать нужные листы и определить их номенклатуру, пользуются сборными таблицами (бланковыми картами) для каждого масштаба. Иногда сборная таблица (бланковая карта) изготавливается на несколько масштабов. Сборная таблица (бланковая карта) представляет собой схематическую карту мелкого масштаба, разделенную горизонтальными и вертикальными линиями на клетки. Эти линии как бы совпадают с направлением меридианов и параллелей и обозначают рамки листов карты. Таким образом, на сборной таблице каждая клетка изображает границы листа карты того или иного масштаба. Для более быстрого определения номенклатуры листов карты на заданный участок (район) местности на сборных таблицах показываются крупные населенные пункты, реки, основные дороги и некоторые другие объекты. Пользуясь сборной таблицей, легко определить номенклатуру любого листа карты масштаба 1:1 000 000.

## **Геодезические датумы.**

По логике вопросом определения понятия "датум" мы должны были ознакомиться несколько ранее, но учитывая довольно тяжёлую тему предыдущей лекции, было решено перенести рассказ о датумах чуть позже.

Что же такое эти датумы? Вкратце, геодезический (горизонтальный) датум - это референц эллипсоид плюс его расположение и ориентация относительно ссылочного каркаса (структуры) местности. В то время как сфероид аппроксимирует форму Земли, датум определяет положение сфероида относительно центра Земли. Геоцентрический датум предоставляет систему отсчета для определения местоположения объектов на всей поверхности Земли. Он определяет начальную точку и направление линий широты и долготы. Локальный датум центрирует сфероид таким образом, что он наилучшим образом описывает поверхность Земли для какой-то конкретной территории. Начало системы координат локального датума не расположено в центре Земли. Центр сфероид-

да локального датума смещен относительно центра Земли с целью максимально приблизить его положение к некоторому участку Земли. Поскольку локальный датум столь тесным образом связывает сфероид с определенной территорией на поверхности Земли, он не подходит для использования за пределами того региона, для которого он был разработан.



Посмотрите на рисунок. Здесь чёрным цветом показан разрез Земли - геоид. Он не идеален и обладает довольно сложной формой, которая не поддаётся математическому описанию. Усредняя все выпуклости и впадины можно получить сфероид с минимально возможными искажениями для всей поверхности Земли - эллипсоид. Это будет геоцентрический датум. Он показан синим цветом. Но когда мы хотим как можно точнее описать какой-то определённый участок поверхности Земли, мы можем применить локальный датум. Его положение рассчитано именно для этой территории. На рисунке красным пунктиром показан локальный датум. Его поверхность максимально соответствует определённой области. Из самых известных датумов можно выделить геоцентрический датум WGS84. Обычно все данные, полученные приёмниками GPS пересчитываются именно в этот датум. В свою очередь карты России были созданы в другом датуме. Он называется Пулково 42. Разница между точками с одинаковыми координатами, но приведёнными в этих двух датумах составляет от 10 до 150м. В других датумах это значение может быть значительно больше. Координаты одной точки на поверхности Земли, указанные в разных датумах, в любом случае описывают одно и то же место. Поэтому имея координаты какой-либо точки на поверхности Земли необходимо знать к какому датуму они были зафиксированы. Иначе возможна ошибка. То же самое необходимо помнить и при обмене данными в электронном виде. Далее, в процессе создания карт, мы будем иметь дело только с датумом WGS84.

Будем считать, что необходимый уровень теоретических знаний мы уже получили. То есть у Вас есть представление о картографии как о науке, Вы уже ориентируетесь в основных картографических терминах и, глядя на карту, можете рассказать о ней гораздо больше, чем ранее. Пока этого вполне достаточно. Теперь пришла пора разобраться с некоторыми понятиями, без которых нам дальше не обойтись. Нельзя сказать, что они непосредственно связаны с картографией. Точнее они связаны, кроме картографии, со многими областями нашей повседневной жизни. И с каждым днём всё более широко входят в нашу жизнь.

## **Глобальная система позиционирования.**

GPS (Global Positioning System) - это спутниковая система для высокоточного определения координат статичных и движущихся объектов. Разработана и обслуживается она Министерством обороны США, также известна у военных под кодовым названием NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging).

Проект запущен в 1978 г. Первая штатная орбитальная группировка системы разворачивалась с июня 1989 г. по март 1994 г.: на орбиту были выведены 24 космических аппарата типа "Block II". Окончательный ввод GPS в эксплуатацию состоялся в 1995 г.

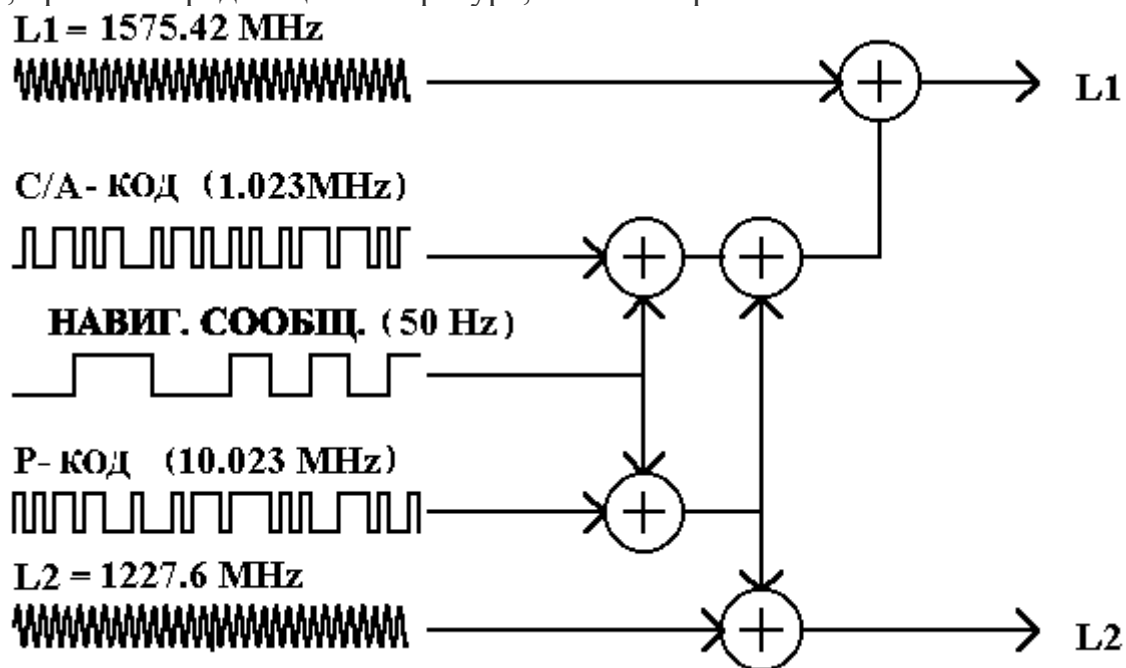
Следует отметить, что система GPS не была первой. Она пришла на смену устаревшей к тому времени системе "Транзит" (начало разработки - 1964, запуск в работу - 1967). В ней местонахождение подвижного объекта устанавливалось по доплеровскому сдвигу частоты. В общих чертах, смысл этого метода можно описать следующим образом. Одно наблюдение спутника позволяет написать уравнение одной линии положения, имеющей форму либо гиперболы (доплеровский дифференциальный метод) либо более сложной кривой изодопы (доплеровский интегральный метод). При  $n$  наблюдениях положение наблюдателя получается в одной из точек пересечения  $n$  соответствующих гипербол или изодоп. Погрешность определения координат в этом случае составляла от 50 до 500м. Причём, чем больше была скорость наземного объекта, тем менее точными становились данные. Не стоит забывать и существовавшую в СССР систему "Цикада", которая фактически была аналогом "Транзит". В 1963 году в СССР начались работы по построению этой системы. В 1967 году на орбиту был выведен первый отечественный навигационный спутник "Космос-192".

Характерной чертой радионавигационных спутниковых систем первого поколения является применение низкоорбитальных спутников и использование для измерения навигационных параметров объекта сигнала одного, видимого в данный момент спутника. По этим измерениям вычисляются параметры движения спутника относительно наземного пункта наблюдения. Решение обратной задачи — дело времени. В старых навигационных системах был невозможен непрерывный режим работы. Ввиду того, что системы низкоорбитны, время, в течение которого спутник находится в поле видимости, не превышает одного часа. Кроме того, время между прохождением различных спутников зоны видимости потребителя зависит от географической широты, на которой он находился, и может составить величину от 35 до 90 минут. Уменьшение этого интервала путём наращивания числа спутников невозможно, потому что все спутники излучали сигналы на одной и той же частоте. Гораздо более гибкой и эффективной была следующая система позиционирования - GPS.

Система GPS в целом состоит из трех сегментов - космического, управляющего и пользовательского.

Космический сегмент состоит из сети 24 спутников, находящихся примерно на 12-часовых орбитах, на борту каждого из которых имеются атомные часы. Орбитальный радиус спутников - приблизительно равен четырем Земным радиусам (26 600 км). Орбиты почти круговые, с типичным эксцентриситетом, меньшим чем 1%. Наклон орбиты к экватору Земли - обычно 55 градусов. Спутники имеют орбитальные скорости около 3,9 км/с в системе координат с началом в центре Земли и не вращающейся относительно отдаленных звезд. Расчетные орбиты спутников лежат в шести равноотстоящих плоскостях. В каждой плоскости находится по четыре спутника, а угловое расстояние между спутниками в каждой плоскости равно примерно 90 градусам. Орбитальные периоды спутников приблизительно равны 11 часам и 58 минутам так, что проекция траектории спутника на поверхность Земли повторяется день за днем, потому что Земля делает один оборот относительно звезд каждые 23 часа и 56 минут. Четыре дополнительных минуты требуются, чтобы точка на Земле возвратилась в положение непосредственно под Солнцем, потому что Солнце перемещается приблизительно на один градус в день относительно звезд.

На борту каждого спутника имеется 4 стандарта частоты (два цезиевых и два рубидиевых - для целей резервирования), солнечные батареи, двигатели корректировки орбит, приемно-передающая аппаратура, компьютер.



### Структура сигналов L1 и L2.

Передающая аппаратура спутника излучает синусоидальные сигналы на двух несущих частотах: L1=1575,42 МГц и L2=1227,6 МГц. Перед этим сигналы модулируются так называемыми псевдослучайными цифровыми последовательностями. Эта процедура называется фазовой манипуляцией. Причём частота L1 модулируется двумя видами кодов: C/A-кодом (код свободного доступа) и P-кодом (код санкционированного доступа), а частота L2- только P-кодом. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются навигационным сообщением, в котором содержатся данные об орбитах ИСЗ, информация о параметрах атмосферы, поправки системного времени.

Срок службы каждого спутника составляет около 10 лет, их заменяют по мере выхода из строя.

**Управляющий сегмент** содержит главную станцию управления - авиабаза Фалькон в штате Колорадо, пять станций слежения, расположенных на американских военных базах на Гавайских островах, островах Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн и Колорадо-Спрингс и три станции закладки: острова Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн. Кроме того, имеется сеть государственных и частных станций слежения за ИСЗ, которые выполняют наблюдения для уточнения параметров атмосферы и траекторий движения спутников. Собираемая информация обрабатывается в суперкомпьютерах и периодически передается на спутники для корректировки орбит и обновления навигационного сообщения.

**Пользовательским сегментом** являются все, кто пользуются данными, посылаемыми спутниками. Если раньше пользователями в основном являлись военные и некоторые правительственные и научные учреждения, то на в настоящее время, за счёт доступности этой технологии, количество пользователей стремительно растёт. Путешествия, транспорт, слежение за животными и даже детьми, охранные системы - вот далеко не полный перечень применений системы GPS. Приёмники сигналов GPS представляют собой специализированный компьютер. По анализу сигналов, поступающих со спутников, он рассчитывает своё текущее местоположение. Если это положение меняется, то становится возможным расчёт дополнительных параметров - скорость, направление, время прибытия к целевому пункту назначения и т.п. Для отслеживания спутников нужно быть под открытым небом - под крышей или в тесном окружении высотных домов сигналы от спутников частично или полностью гасятся препятствиями. Облачность и осадки влияния на качество сигнала практически не оказывают, стекло и пластик - тоже не помеха.

Помимо системы GPS сегодня существует её российский аналог. Называется он ГЛОНАСС, что означает Глобальная навигационная спутниковая система. Она стала разрабатываться в СССР также, как и GPS, в середине 70-х гг. и в 1993 г. была официально принята в эксплуатацию МО РФ. Американская GPS и отечественная ГЛОНАСС концептуально аналогичны и отличаются некоторыми аспектами технической реализации. Но, в отличие от американской, система ГЛОНАСС предназначена пока только для военного применения. Кроме того, из запланированных 24 спутников, их реальное количество составляет всего 10. Таким образом практического интереса для нас с Вами эта система в настоящее время не представляет.

Гораздо более интересно скорое появление другой навигационной спутниковой системы. Её название - Galileo. Эта система создаётся в тесном сотрудничестве множества европейских стран. Интерес к ней проявляют и страны Азии. Ориентировочной датой реализации этой программы является 2008 год. Эта навигационная система также, как и GPS, ориентирована на общий доступ различных потребителей. Пока ведутся подготовительные работы и научно-технологические исследования.

Созвездие Galileo будет состоять из 27 спутников в трех орбитальных плоскостях, каждая с 9 спутниками, равномерно распределенными в пределах круговой орбиты. Ключевые параметры - орбитальный радиус 29994 километров и склонение 56 градусов. Чтобы обеспечивать необходимую избыточность на орбите и позволить быстрое восстановление в случае отказа спутников, предполагаются три активных резервных

спутника, по одному в каждой орбитальной плоскости. Кроме этого будут применены новые частотные диапазоны, сигналы и методы обработки данных, что, как предполагается, значительно повысит точность определения положения по сравнению с системой GPS. Однако существующие приёмники не смогут воспринимать данные, передаваемые навигационной системой Galileo .

### **Принцип действия GPS.**

Теперь давайте вкратце разберём принцип действия системы GPS.

Принцип определения координат точки известен человечеству давно. С течением времени он практически не изменился, совершенствовались лишь инструменты и технологии их применения. Еще во время Первой мировой войны в Российской армии для обнаружения места расположения германской артиллерии использовали примитивные датчики. Они вырабатывали электрический сигнал в момент приёма звука выстрела вражеской пушки. Датчики располагали в нескольких точках с известными координатами и на основании разницы во времени поступления на них звуковых сигналов, вычисляли место расположения батарей противника.

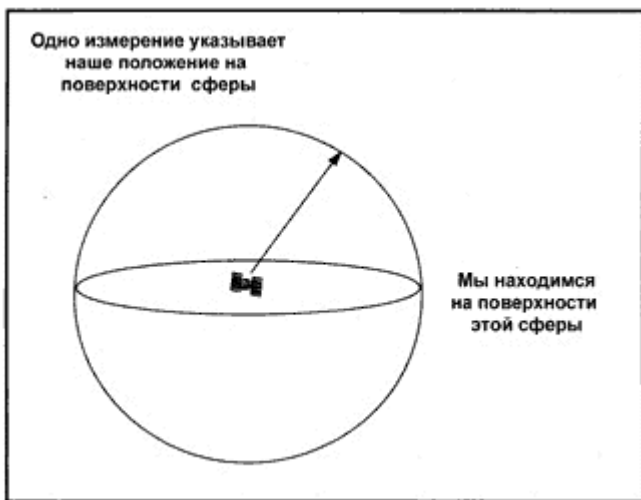
Во время Второй мировой войны англичане пошли дальше. Методы определения координат удалённой точки они использовали для наведения на германские цели своих бомбардировщиков. В их распоряжении были радиостанции-маяки, по функциональному назначению ничем не отличающиеся от современных космических спутников. Маяки располагались на Британских островах, а навигационные приемники - на борту бомбардировщиков. Курс самолетов корректировался по поступающим с маяков радиосигналам, и это, в значительной степени, обеспечивало высокую точность ночных бомбардировок английской авиации.

Основы системы GPS можно разбить на пять основных подпунктов:

- 1.Спутниковая трилатерация - основа системы определения положения.
- 2.Спутниковая дальнометрия – измерение расстояний до спутников.
- 3.Точная временная привязка – зачем нужно согласовывать часы в приёмнике и на спутнике и для чего требуется 4-й космический аппарат.
- 4.Расположение спутников – определение точного положения спутников в космосе.
- 5.Коррекция ошибок – учёт ошибок вносимых задержками в тропосфере и ионосфере.

### **Спутниковая трилатерация.**

Точные координаты могут быть вычислены для места на поверхности Земли по измерениям расстояний от группы спутников, если известно их точное положение в космосе. В этом случае спутники являются пунктами с известными координатами. Предположим, что расстояние от одного спутника известно и мы можем описать сферу заданного радиуса вокруг него.



Если мы знаем также расстояние и до второго спутника, то определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер.



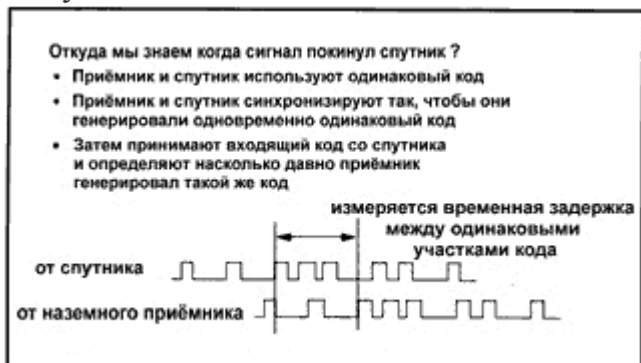
Третий спутник определяет две точки на окружности.

Теперь остаётся только выбрать правильную точку. Однако одна из точек всегда может быть отброшена, так как она имеет высокую скорость перемещения или находится на или под поверхностью Земли. Таким образом, зная расстояние до трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки.

### **Спутниковая дальнометрия.**

Расстояние до спутников определяется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приёмника умноженным на скорость света. Для того, чтобы определить время распространения сигнала нам необходимо знать когда он покинул спутник.

Для этого на спутнике и в приёмнике одновременно генерируется одинаковый псевдослучайный код.





Как уже было сказано, каждый спутник GPS передаёт два радиосигнала: на частоте  $L1=1575.42$  МГц и  $L2=1227.60$  МГц. Сигнал  $L1$  имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (PRN), P-код и C/A код. “Точный” или P-код может быть зашифрован для военных целей. “Грубый” или C/A код не зашифрован. Сигнал  $L2$  модулируется только с P-кодом. Большинство гражданских пользователей используют C/A код при работе с GPS системами. Некоторые приёмники геодезического класса работают с P-кодом.

Приёмник проверяет входящий сигнал со спутника и определяет когда он генерировал такой же код. Полученная разница, умноженная на скорость света ( $\sim 300000$  км/с) даёт искомое расстояние.

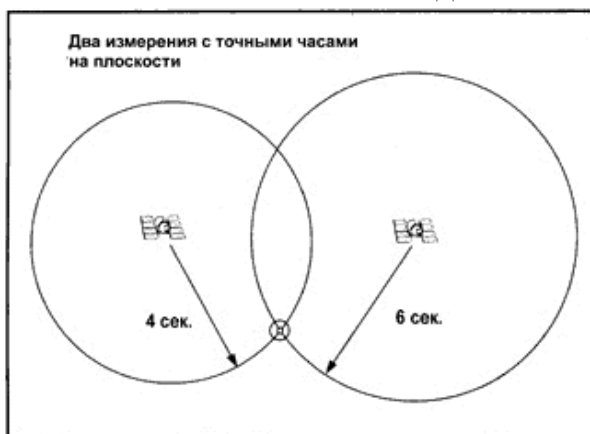
Использование кода позволяет приёмнику определить временную задержку в любое время. Кроме того, спутники могут излучать сигнал на одной и той же частоте, так как каждый спутник идентифицируется по своему псевдослучайному коду (PRN или PseudoRandom Number code).

### **Точная временная привязка.**

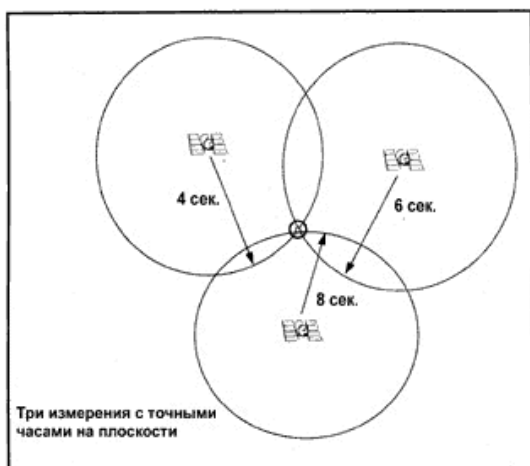
Как видно из сказанного выше, вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. На спутниках установлены атомные часы имеющие точность около одной наносекунды. Однако было бы слишком дорого устанавливать такие часы в каждый GPS приёмник, поэтому измерения от четвёртого спутника используются для устранения ошибок хода часов приёмника. На самом деле коррекция происходит с использованием всех видимых в данный момент спутников. Чем больше спутников, тем больше точность коррекции и точек пересечения сфер. всё это ведёт к повышению точности определения координат.

Эти измерения можно использовать для устранения ошибок, которые возникают если часы на спутнике и в приёмнике не синхронизированы. Для наглядности возьмём пример с четырьмя спутниками. Иллюстрации, приведённые ниже, рассматривают ситуацию на плоскости, так как только три спутника необходимо для вычисления местоположения объекта.

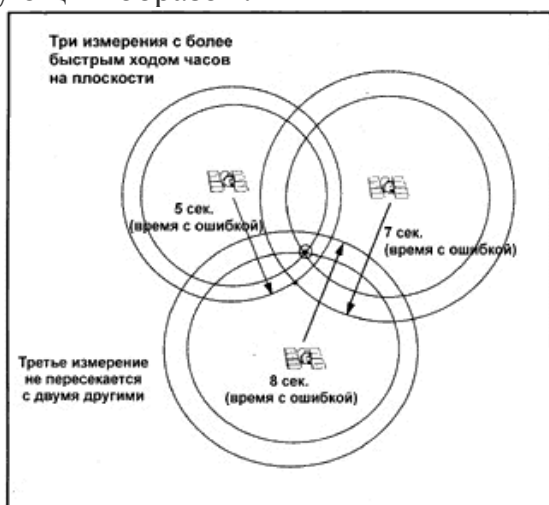
Если часы на спутнике и в приёмнике имеют одинаковую точность хода, то точное местоположение может быть найдено по измерениям расстояния до двух спутников.



Если получены измерения с трёх спутников и все часы точные, то круг описанный радиус-вектором от третьего спутника будет пересекаться как показано на рисунке.

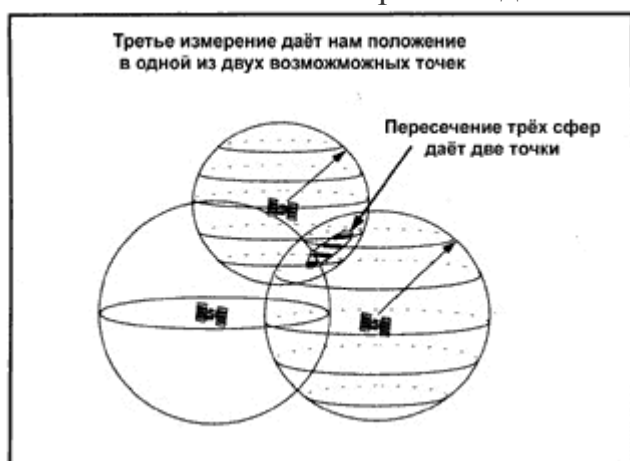


Однако, если часы в приёмнике спешат на 1 секунду, то картина будет выглядеть следующим образом.

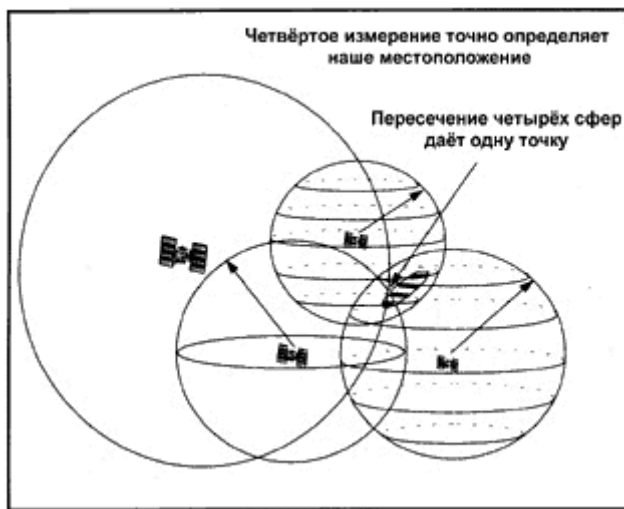


Если сделать замер до третьего спутника, то полученный радиус-вектор не пересечётся с двумя другими как показано на рисунке.

Когда GPS приёмник получает серию измерений которые не пересекаются в одной точке, то компьютер в приёмнике начинает вычитать (или добавлять) время методом последовательных итерации до тех пор, пока не сведёт все измерения к одной точке. После этого вычисляется поправка и делается соответствующее уравнивание.



Если вам требуется третье измерение или, иначе говоря, данные о Вашей текущей высоте, то необходим четвёртый спутник для устранения ошибок хода часов в приёмнике. Таким образом, при работе в поле вам необходимо иметь минимум четыре спутника, чтобы определить трёхмерные координаты объекта.



## **Расположение спутников**

Как уже было сказано выше, система GPS имеет 24 рабочих спутника с орбитальным периодом в 12 часов на высоте примерно 20200 км от поверхности Земли. Указанная высота необходима для обеспечения стабильности орбитального движения спутников и уменьшения фактора влияния сопротивления атмосферы.

Министерство Обороны США (DoD) осуществляет непрерывное слежение за спутниками. На каждом спутнике расположено несколько высокоточных атомных часов и они непрерывно передают радиосигналы с собственным уникальным идентификационным кодом. МО США имеет 4 станции слежения за спутниками, три станции связи и центр осуществляющий контроль и управление за всем наземным сегментом системы. Станции слежения непрерывно отслеживают спутники и передают данные в центр управления. В центре управления вычисляются уточнённые элементы спутниковых орбит и коэффициенты поправок спутниковых шкал времени, после чего эти данные передаются по каналам станций связи на спутники по крайней мере один раз в сутки.

## **Источники ошибок.**

*Неточное определение времени.* При всей точности временных эталонов, установленных на спутниках, существует некоторая погрешность шкалы времени их аппаратуры. Она приводит к возникновению систематической ошибки определения координат. Типичное значение погрешности составляет около 0,6м.

*Ошибки вычисления орбит.* Появляются вследствие неточностей прогноза и расчета орбит спутников, выполняемых в аппаратуре приемника. Эта погрешность также носит систематический характер и приводит к ошибке измерения координат около 0,6м.

*Инструментальная ошибка приемника.* Обусловлена, прежде всего, наличием шумов в электронном тракте приемника. Отношение сигнал/шум приемника определяет точность процедуры сравнения принятого со спутника и опорного сигналов, т.е. погрешность вычисления расстояний. Наличие данной погрешности может привести к возникновению координатной ошибки порядка 1,2м.

*Отражения сигнала.* Появляется в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препятствий, расположенных в непосредственной близости от приемника. При этом возникает явление интерференции, и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Аналитически данную погрешность оценить доста-

точно трудно, а наилучшим способом борьбы с нею считается рациональное размещение антенны приемника относительно препятствий. Данный эффект может присутствовать в случаях, когда около приёмника находится достаточно большой и высокий объект. Типичным случаем являются улицы городов, каньоны или гористая местность. В данном случае может наблюдаться кратковременная ошибка в десятки метров.

*Ионосферные задержки сигнала.* **Ионосфера** – это ионизированный атмосферный слой в диапазоне высот 50 – 500 км, который содержит свободные электроны. Наличие этих электронов вызывает задержку распространения сигнала спутника, которая прямо пропорциональна концентрации электронов и обратно пропорциональна квадрату частоты радиосигнала. Для частичной компенсации этой погрешности может быть использована модель коррекции, которая аналитически рассчитывается с использованием информации, содержащейся в навигационном сообщении. При этом величина остаточной немоделируемой ионосферной задержки может вызывать погрешность определения расстояний около 5м.

*Тропосферные задержки сигнала.* Тропосфера – самый нижний от земной поверхности слой атмосферы (до высоты 8 – 13 км). Она также обуславливает задержку распространения радиосигнала от спутника. Величина задержки зависит от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Необходимые для этого коэффициенты содержатся в навигационном сообщении. Тропосферные задержки вызывают ошибки измерения расстояний в 1 м.

*Геометрическое расположение спутников.* При вычислении суммарной ошибки необходимо еще учесть взаимное положение приёмника и спутников рабочего созвездия. Для этого вводится специальный коэффициент геометрического ухудшения точности PDOP (Position Dilution Of Precision). Величина коэффициента PDOP зависит от взаимного расположения спутников и приемника. Она обратно пропорциональна объему фигуры, которая будет образована, если провести единичные векторы от приемника к спутникам. Самым неблагоприятным будет считаться такое расположение, когда спутники выстраиваются в одну линию или расположены очень близко друг к другу. Это бывает исключительно редко и, учитывая их орбитальную скорость, длится не более 15-30 минут. Наилучшим считается такое расположение, когда спутники расположены равномерно по всей видимой небесной сфере.

*Избирательный доступ.* Раньше существовал ещё один источник ошибок – это Избирательный Доступ (Selective Availability или S/A), искусственное снижение точности спутникового сигнала вводимое МО США. Это приводило к тому, что точность полученных координат с помощью GPS снижалась до 100 метров. Однако 1 мая 2000 года по решению президента США "Избирательный Доступ" был отключен. С этого момента реальная точность определения координат составляет 5-10м при получении сигналов с четырёх и более спутников. Однако известно, что МО США включало режим избирательного доступа над территорией боевых действий армии США для дезориентации противника. Однако, учитывая глобальное распространение навигационной техники во многих отраслях народного хозяйства всего мира, представляется нереальным возврат к принудительной генерации ошибки в системе GPS.

Теперь, когда нам понятен смысл понятия и принцип действия системы GPS, давайте перейдём к следующему пункту нашей лекции.

## **Географические информационные системы (ГИС).**

В том, что владение точной и достоверной информацией есть важнейшее условие достижения успеха, уже никого не нужно убеждать. Но еще более важно уметь работать с имеющейся информацией. Методы работы с данными постоянно совершенствуются, и теперь уже привычно видеть документы, таблицы, графики, чертежи и картинки на экране компьютера. При помощи компьютера мы создаем и изменяем, извлекаем и анализируем данные. Одним из типов документов, в который компьютер вдохнул новую жизнь, стала и географическая карта.

Существуют виды деятельности, в которых карты - электронные, бумажные или хотя бы представляемые в уме - незаменимы. Ведь многие дела невозможно начать, не выяснив предварительно, где именно находится точка приложения наших усилий. Даже в быту, мы ежечасно и иногда даже ежеминутно работаем с информацией о географическом положении объектов - магазин, детский сад, метро, работа, школа... Пространственное мышление естественно для нашего сознания.

Последние десятилетия ознаменовались бумом в области применения карт, и связано это с возникновением Географических Информационных Систем, воплотивших принципиально новый подход в работе с пространственными данными.

Географическая Информационная Система - или ГИС - это компьютерная система, позволяющая показывать необходимые данные на электронной карте. Карты, созданные с помощью ГИС, можно смело назвать картами нового поколения. На карты ГИС можно нанести не только географические, но и статистические, демографические, технические и многие другие виды данных и применять к ним разнообразные аналитические операции. ГИС обладает уникальной способностью выявлять скрытые взаимосвязи и тенденции, которые трудно или невозможно заметить, используя привычные бумажные карты. Мы видим новый, качественный, смысл наших данных, а не механический набор отдельных деталей.

Электронная карта, созданная в ГИС, поддерживается мощным арсеналом аналитических средств, богатым инструментарием создания и редактирования объектов, а также базами данных, специализированными устройствами сканирования, печати и другими техническими решениями, средствами Интернет - и даже космическими снимками и информацией со спутников.

Вся информация, полученная благодаря использованию технологий ГИС, используются не специалистами-географами, а обычными людьми - учеными, бизнесменами, врачами, адвокатами, чиновниками, маркетологами, строителями, экологами - и даже домохозяйками, если не они желают зря тратить время на обход магазинов.

С помощью ГИС природоохранные организации следят за состоянием лесов, рек и почв. Коммунальные службы планируют и проводят мероприятия по обслуживанию городских сетей. Спасатели, пожарники и ремонтники оперативно рассчитывают оптимальные маршруты.

ГИС все шире применяются в бизнесе. Так, например, владелец сети магазинов, поместив на карту потенциальных покупателей своей продукции, может обнаружить, в каких районах города они преимущественно живут. Перевозчики грузов повышают на-

дежность доставки, экономят время и горючее за счет оптимизации маршрутов. Продавцы и покупатели недвижимости не могут без них принимать решения. Внимательный взгляд на карту - и обнаруживаются резервы в обслуживании, незамеченные конкурентами, намечаются оптимальные места для размещения рекламных щитов, планируются новые торговые точки и многое другое.

## **Как работает ГИС**

В отличие от обычной бумажной карты, электронная карта, созданная в ГИС, содержит скрытую информацию, которую можно «активизировать» по необходимости. Эта информация организуется в виде слоев, которые можно назвать тематическими, потому что каждый слой состоит из данных на определенную тему. Например, если вы изучаете определенную территорию, то один слой карты может содержать данные о дорогах, второй - о водоемах, третий – о проживающем там населении, четвертый о больницах и так далее.

Вы можете просматривать каждый слой-карту по отдельности, а можете совмещать сразу несколько слоев, или выбирать отдельную информацию из различных слоев и выводить ее на карту. Вы также можете моделировать различные ситуации, всякий раз получая изображения в соответствии с поставленной задачей, причем без необходимости создавать новую карту.

Из широкого круга вопросов, на которые ГИС может дать ответ, можно выделить следующие:

Что находится на...?

Где находится...?

Что изменилось с...?

Что если..?

Давайте рассмотрим самый простейший пример того, как с помощью ГИС вы можете прийти к оптимальному решению.

Например, вы решили построить сеть закусочных. Прежде всего, вам нужно будет выяснить ситуацию со спросом и предложением на рынке быстрого питания. То есть вы можете изучить количество и расположение уже существующих сетей быстрого питания и выделить для себя не охваченные предложением зоны.

Затем нужно будет проанализировать возможные зоны обслуживания. Вероятно, вы захотите, чтобы они располагались в местах наибольшей концентрации потенциальных клиентов. Вы можете провести целенаправленный демографический анализ интересующих вас зон. Это могут быть учреждения, школы, станции метро, вокзалы, автостанции и так далее.

Как только вы выяснили ситуацию с расположением потенциальных конкурентов и наличием достаточного количества клиентов, вы можете начать планировать расположение своих точек. При этом придется учитывать не только спрос и предложение, но и многие другие факторы. Например, нужно будет убедиться в наличие коммуникаций в местах предполагаемого размещения точек. Ведь вам необходимы будут вода и газ, иначе строительство собственных коммуникаций может принести дополнительные расходы. Налог на землю – тоже немаловажный фактор при расчете общих инвестиций в новый бизнес. Эту информацию вы также можете получить в базе данных ГИС.

Конечным этапом вашей работы будет выведенная на экран компьютера карта, которая наглядно представит вам результаты вашего анализа. Первым слоем вашей карты будет карта города. Вторым слоем будет отражать расположение сети закусочных конкурентов. Третий слой - учреждения. Четвертый слой - станции метро, пятый - школы, шестой - автодороги и так далее. Таким образом вы составляете многослойную карту, слои которой вы можете “листать” по очереди, накладывая друг на друга и использовать вместе, получая более сложную картину, позволяющую вам видеть ситуацию в целом. Кроме того, данные, которые вы используете можно обновлять, что автоматически будет отражено на карте. И для этого вам не придется составлять десятков отдельных карт и выводить их на печать - ведь карты ГИС динамичные, а не статичные.

И это только малая часть того, что может ГИС. Аэропорты и нефтедобывающие компании, транспортные организации и промышленные корпорации признают эффективность, экономичность и удобство в применении ГИС. Преимущества карт, созданных в ГИС, очевидны: вы можете работать с широким спектром данных и помещать их на карту; вы можете проводить анализ данных и моделировать различные сценарии решений, что поможет избежать ошибки; вы можете видеть результат в наглядной, а значит в более понятной форме; карты ГИС интерактивны, то есть вы можете вводить и изменять данные без необходимости всякий раз составлять новые карты.

### **Какие бывают ГИС?**

Существуют самые разнообразные компьютерные системы и отдельные программы, которые принято относить к ГИС. Самые компактные и маленькие помещаются на дискетах и заменяют обычные печатные городские справочные издания. На них можно просматривать и искать информацию, но нельзя помещать свою. С другой стороны, если перед вами стоят профессиональные задачи, требующие применения картографических знаний и технологий, то в вашем распоряжении мощные специализированные рабочие станции и комплексы.

Если же вы хотите полноценно и интерактивно работать с картами, не приобретая картографического образования и разумно вкладывая средства, то лучшим решением будет выбрать ГИС, спроектированную для нужд обычного пользователя и снабженную привычным графическим интерфейсом. Такие ГИС удачно сочетают мощь и простоту в использовании. Вы можете, начав с естественных и несложных операций, постепенно подниматься до профессионального уровня, повышая на каждом шагу эффективность своей работы.

Кроме многофункциональных ГИС, существуют также узкоспециальные, применяются в отдельных областях деятельности и требуют специального оборудования и методов обработки данных.

### **Компоненты ГИС .**

При планировании использования ГИС для решения конкретных задач обычно рассматриваются следующие составляющие системы:

- Компьютер
- Программа
- Данные
- Пользователи

· Метод

### *Компьютер*

Компьютер для работы с ГИС может быть от простейших ПК и КПК до мощнейших суперкомпьютеров. Компьютер является основой оборудования ГИС и получает данные через сканер или из баз данных. Наблюдать и анализировать данные ГИС позволит монитор. Принтеры и плоттеры – наиболее распространенные средства для вывода конечных результатов проделанной на компьютере работы с ГИС.

### *Программа*

Программное обеспечение ГИС обеспечивает функции и средства, необходимые для хранения, анализа и представления географической информации. Наиболее широко используемые программы ГИС - MapInfo, ARC/Info, AutoCAD Map и другие. Тем не менее, следует помнить, что программы имеют свою специфику: если необходима недорогая и несложная в применении программа - MapInfo будет наиболее приемлемой, поскольку она проста в работе и поддерживает многие особенности ГИС. ARC/Info пригодится для более специфического и дорогостоящего анализа, а для тех, кто уже использует AutoCad и хочет использовать ГИС - AutoCad Map может быть лучшим вариантом.

### *Данные*

Выбор данных зависит от задачи и ваших финансовых возможностей. Данные могут быть использованы из различных источников – базы данных вашей организации, Интернет, коммерческие базы данных и т.д.

### *Пользователи*

Люди, пользующиеся ГИС, условно могут быть разделены следующие группы: операторы ГИС, чья работа заключается в размещении данных на карте, инженеров/пользователей ГИС, чья функция заключается в анализе и дальнейшей работе с этими данными и теми, кому на основании полученных результатов нужно принять решение. Кроме того, ГИС могут пользоваться широкие слои населения через готовые программные приложения или Интернет.

### *Метод*

Существует много способов создания карт в ГИС и методов дальнейшей работы с ними. Наиболее продуктивной будет та ГИС, которая работает в соответствии с хорошо продуманным планом и операционными подходами, соответствующими вашей задаче.