

*Секция 1*

# Введение

# Работа телеметриста

Существует работа и хуже



# Зачем нужны измерения положения скважины?

---

- Для того чтоб поразить геологические цели
- Для избежания столкновений с соседними скважинами
- Для определения положения скважины в случае необходимости проводить аварийные работы
- Для получения более точных геологических данных о резервуаре, что позволяет оптимизировать добычу
- Для выполнения требований законодательства

# Что делают замеры?

---

- Измеряют значение угла и азимута в скважине для определения куда ведется скважина
- Определяется положение отклонителя
- Вычисляют координаты скважины по глубине для оценки профиля скважины и текущего положения ее в пространстве
- Определяют интенсивности изменения угла и азимута, что позволяет вычислить пространственную интенсивность самой скважины

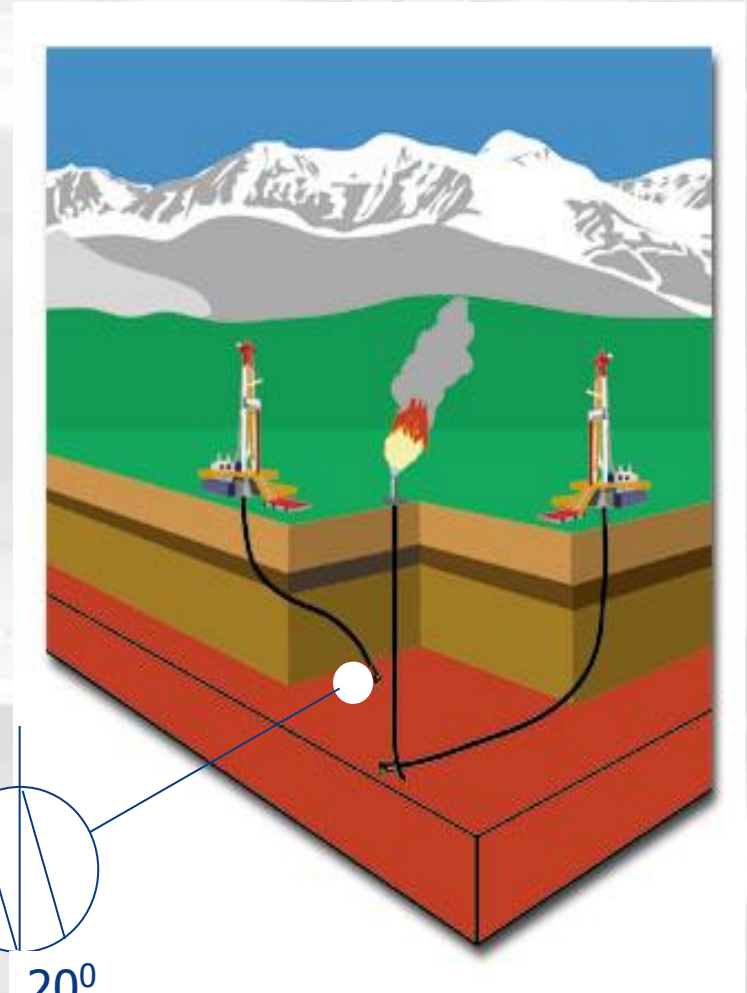
# Что же меряется ?

---

- Угол наклона скважины
- Направление (Азимут)
- Глубина

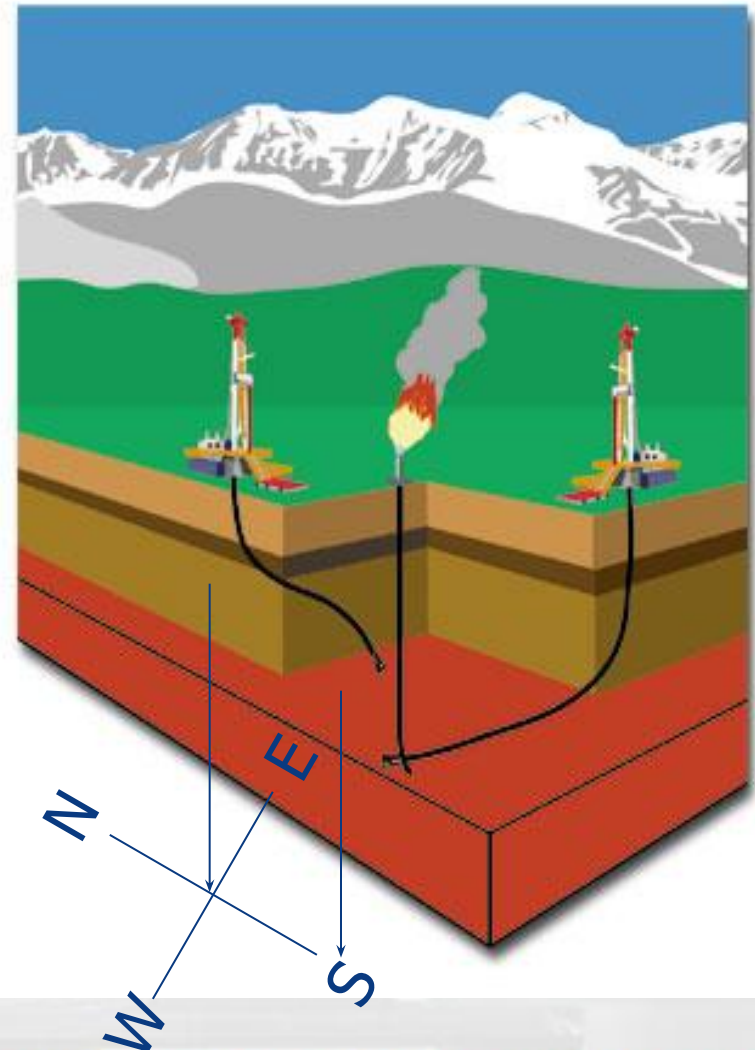
# Угол наклона скважины

- Число от 0 до  $180^{\circ}$
- $0^{\circ}$  это вертикальный ствол
- $90^{\circ}$  горизонтальный
- «Угол между осью скважины и вертикалью взятый в данной точке»



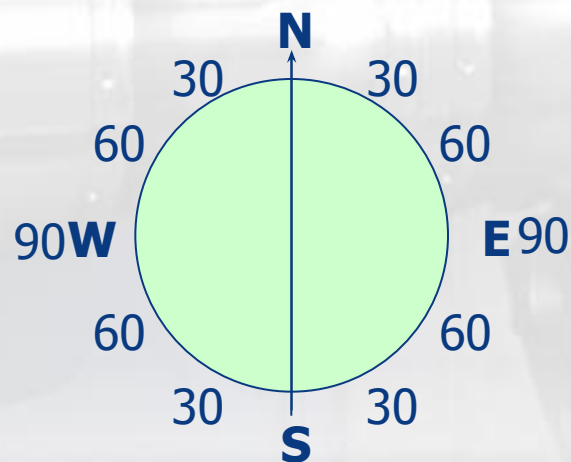
# Направление (Азимут)

- В каком направлении идет скважина?
- «Направление это угол между выбранным направлением и касательной к горизонтальной проекции скважины в данной точке»



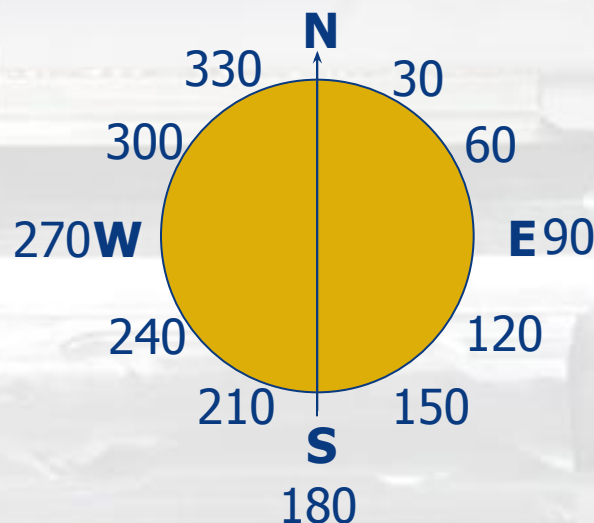
- **Квадрант**

- Число от 0 до 90°  
измеряемое на восток или  
запад от юга или севера
- *например* ЮгоЗапад 40°
- Устаревшая система



- **Азимут**

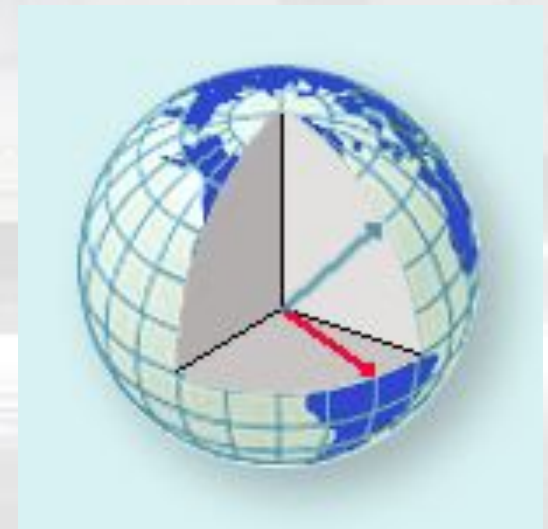
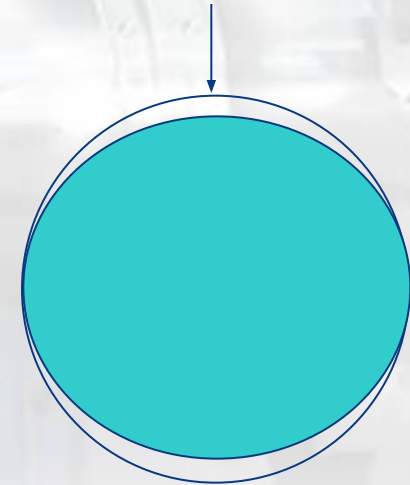
- Более широко  
используется
- Число от 0 до 360°,  
измеряемое от севера по  
часовой стрелке
- *например* 220°



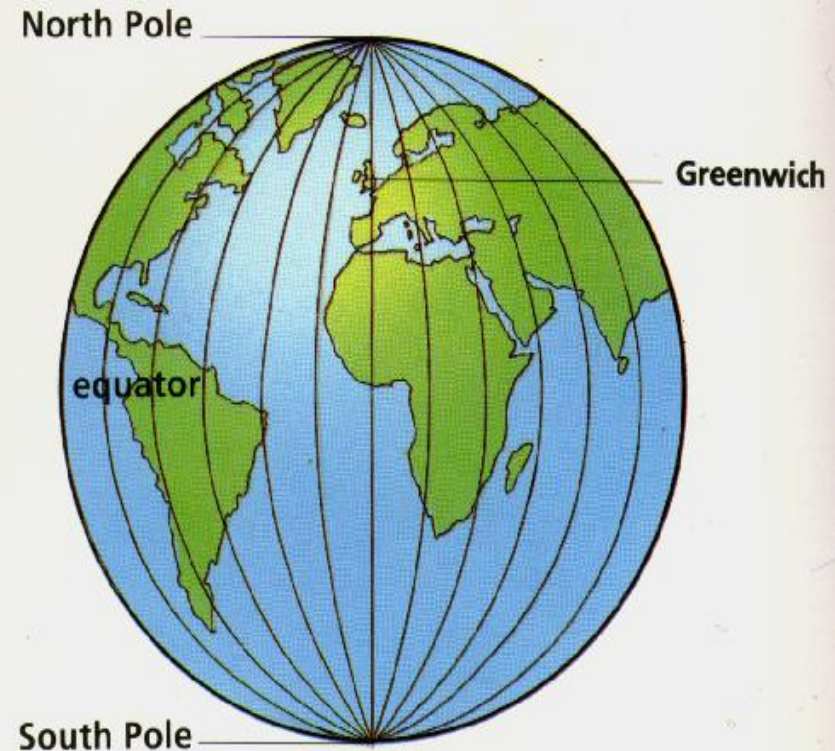


# Картографическая проекция

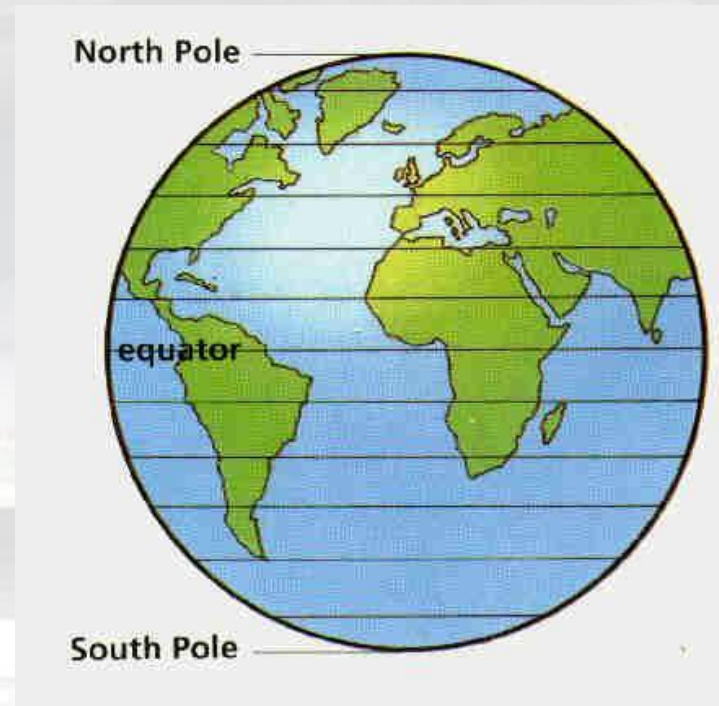
- Самая близкая к реальности форма земного шара это сфера сплюснутая с полюсов
- Положение точки на поверхности может быть описано двумя углами.
  - **Широта** это угол между линией связывающей центр сферы с точкой и экватором
  - **Долгота** это угол между плоскостью содержащей точку и ось вращения и другой плоскостью содержащей точку начала отсчета и ось вращения



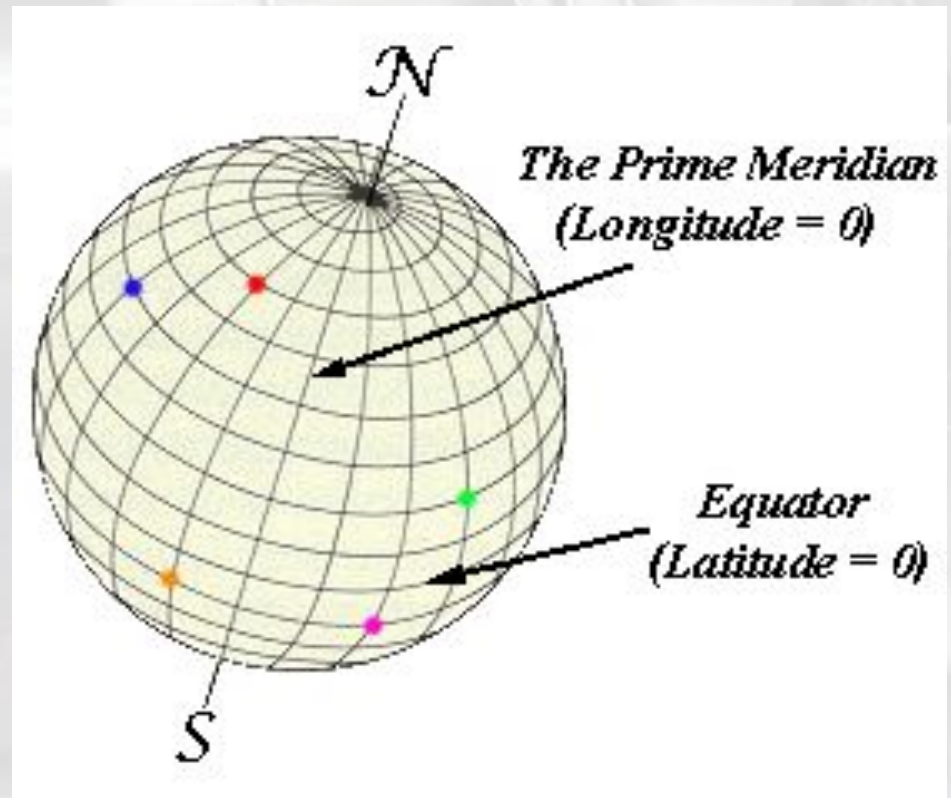
- Линии долготы проведенные через полюса называются меридианами.
- Они измеряют расстояние на Запад или Восток от основного меридиана за который был принят меридиан проходящий через город Гринвич, Англия.
- Основной меридиан имеет долготу  $0^{\circ}$ . Долгота изменяется от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  на восток и от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  на запад
- Восточная и западные гемосферы встречаются при  $180^{\circ}$  – это линия смены дат



- Линии широты опоясывают Землю и параллельны экватору, они называются параллелями.
- Аналогично долготе расстояние между ними измеряется в градусах.
- Экватор на широте  $0^{\circ}$ , а полюса имеют широту  $90^{\circ}$ .



- Широты показаны через каждые 10 градусов от экватора; долгота показана каждые 15 градуса от нулевого меридиана.
- Каковы координаты зеленой точки?



Ответ:

20N

45E

# Картографические проекции

---

- Картографические проекции используются для отображения сферы или ее части на плоскости. Все проекции имеют ту или иную погрешность.
- Каждый метод проецирования имеет свои достоинства и недостатки. Пока не существует оптимального метода проецирования.
- При использовании определенного метода нужно ориентироваться на тот метод который позволяет минимизировать ошибку в данном конкретном случае.

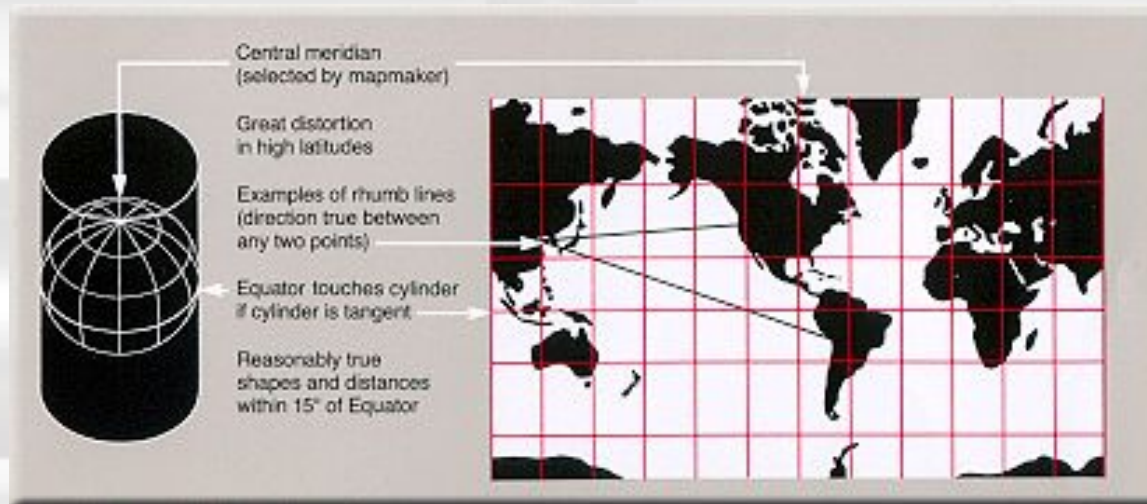
- Существуют различные методы – Меркатор, Конический и т.д.
- Меркатор – основан на проецировании сферы на цилиндрическую поверхность, но точен только на экваторе, используется при навигации
- Конический используются в основном военными.

- Конический метод проецирования или конформный метод Ламберта основан на проецировании сферы на конус.
- «Конформный» значит что карта отображает форму отдельных частей очень точно
- Используется для отображения частей поверхности Земли на запад или восток от выбранной долготы



# Проекция Меркатора

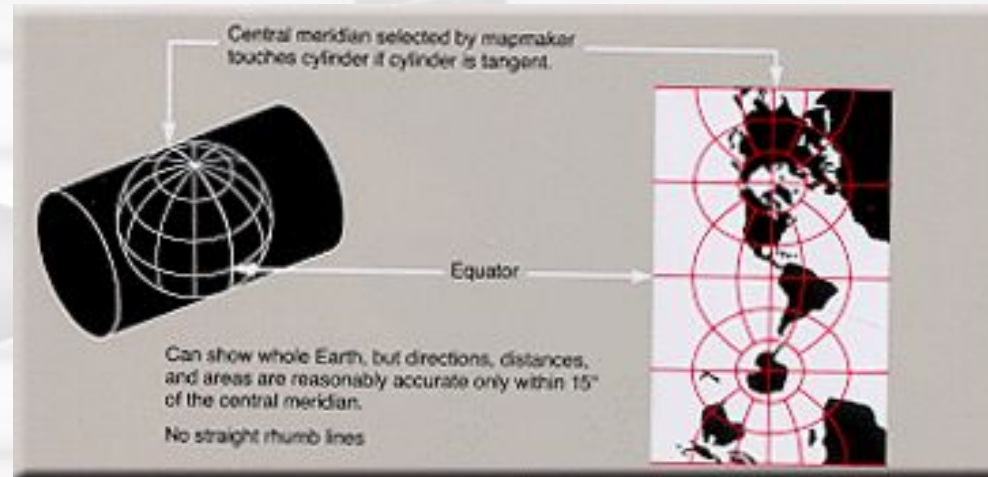
- Метод Меркатора широко используется
- Для зон вблизи экватора, карта имеет довольно точное отображение.
- Имеет большую погрешность при продвижении к полюсам, например Аляска выглядит как половина Южной Америки, хотя на самом деле Южная Америка в 11 раз больше





## Проекция поперечного Меркатора (Universal Transverse Mercator)

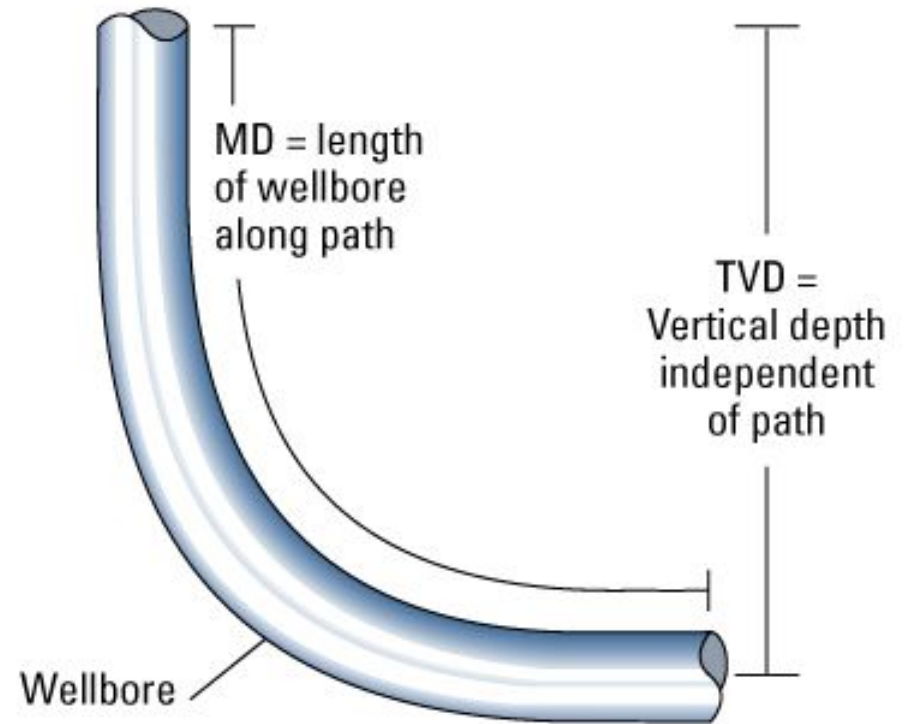
- Похожа на проекцию Меркатора, но ориентация цилиндра другая
- Используется довольно часто при бурении
- Universal Transverse Mercator UTM это набор из 60-ти проекция Меркатора, каждая из которой покрывает  $6^{\circ}$  долготы.



## *Секция 2*

# Основные определения

- **Измеряемая глубина**
  - Расстояние измеряемое вдоль ствола скважины от поверхности до точки замера. Значение получаемое из меры инструмента.
- **Абсолютная глубина TVD**
  - Расстояние по вертикали от точки отсчета вертикали до точки расположенной на профиле скважины. Вычисляемое значение.



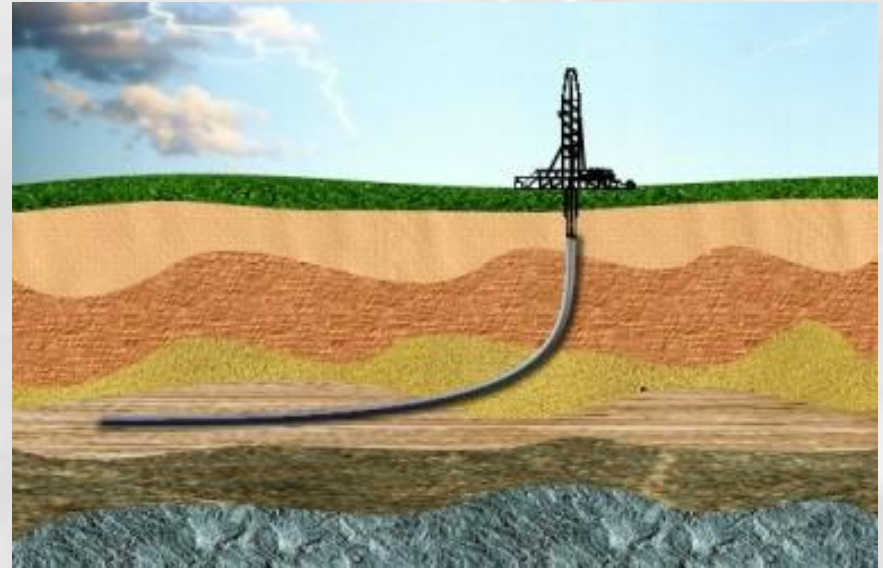
- При бурении удобно использовать отсчет глубины от стола ротора.
- При бурении на нефтяной платформе иногда используют отсчет глубины от уровня моря
- На плавающих буровых в основном используют отсчет от стола ротора



Стол ротора

# Угол наклона скважины

- Угол между осью скважины и вертикалью взятый в данной точке
- При угле  $0^{\circ}$  ствол считается вертикальным при  $90^{\circ}$  горизонтальным
- Для ряда горизонтальных скважин угол может быть и больше  $90^{\circ}$
- Иногда используется определение дрифт или зенитный угол



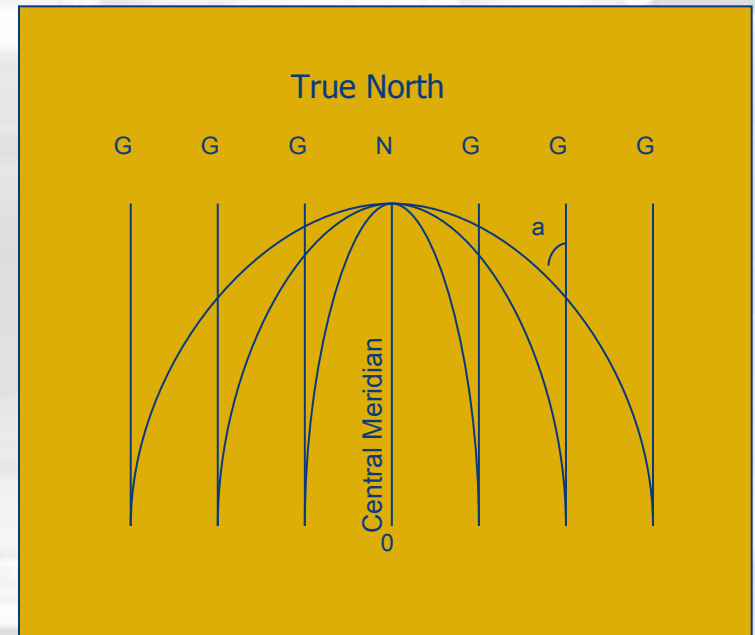
- Различные типы полюсов
  - Магнитный
  - Истинный
  - Дирекционный
- Все приборы магнитного типа изначально измеряют азимут относительно магнитного севера
- Магнитный север постоянно меняется поэтому в окончательных вычислениях используются направление относительно истинного или географического севера для постоянства величин.

- **Истинный Север:** это направление линии от любой точки на поверхности Земли на северный полюс, все линии долготы направлены на Истинный Север.



# Дирекционный Север

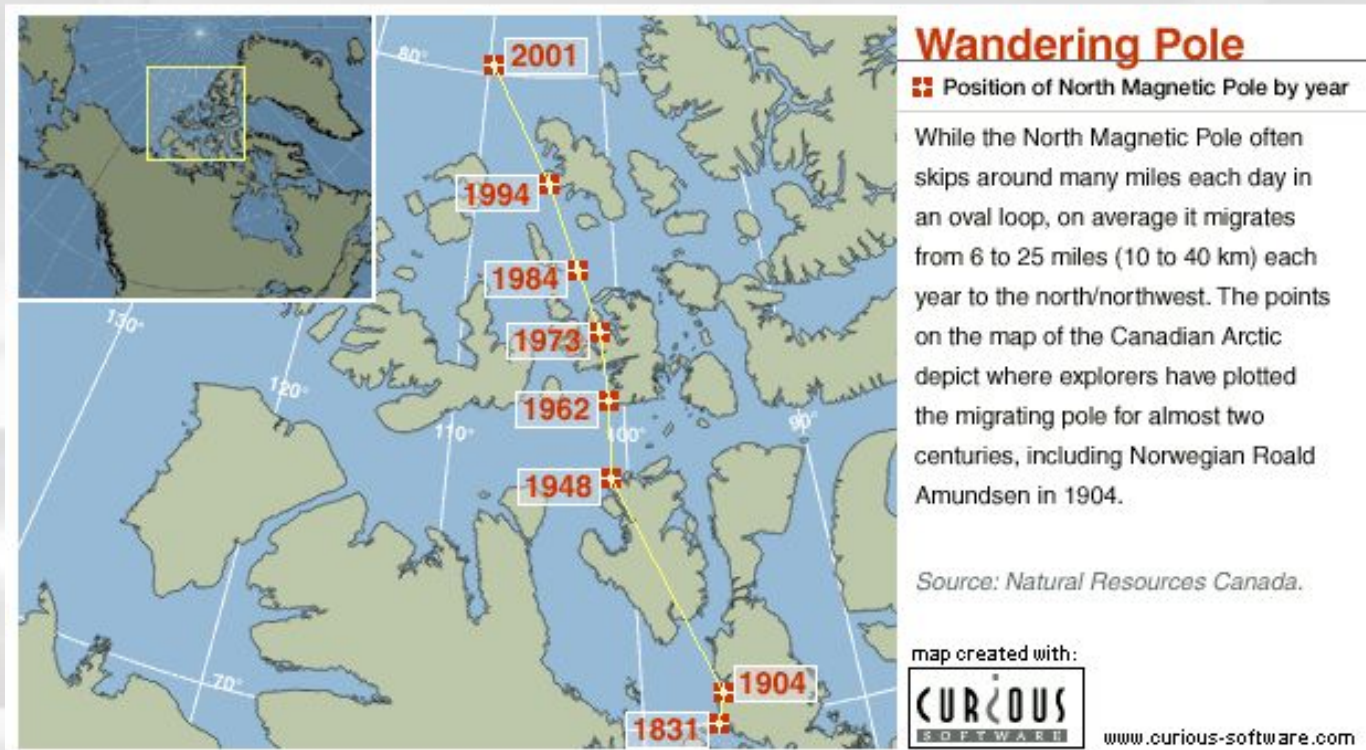
- **Дирекционный Север:** это направление на север на карте
- Дирекционный Север совпадает с Истинным только по отдельным меридианам.
- Все другие точки должны быть с поправкой на схождение меридианов (угол между направлением на истинный и дирекционный Север в конкретной точке).





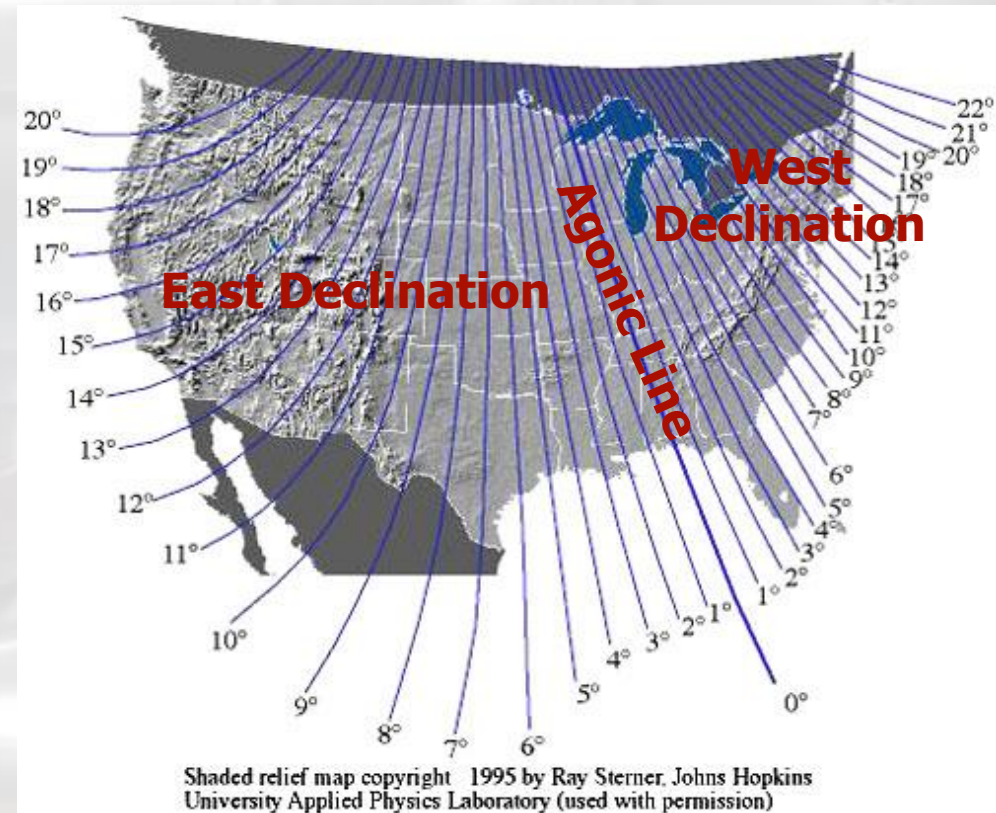
# Магнитное склонение

- Магнитное склонение это угол между направлениями на истинный и магнитный полюса в любой точке на земной поверхности
- Магнитный север постоянно мигрирует.



# Магнитное склонение

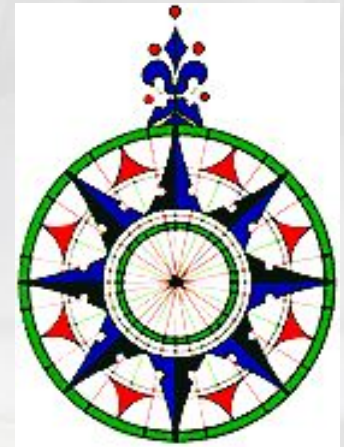
- Склонение меняется в зависимости от положения на земной поверхности и времени
- Для определения склонения нужно знать где находится магнитный север относительно истинного на запад или восток в конкретной точке
- Измеряется как угол в градусах на восток или запад



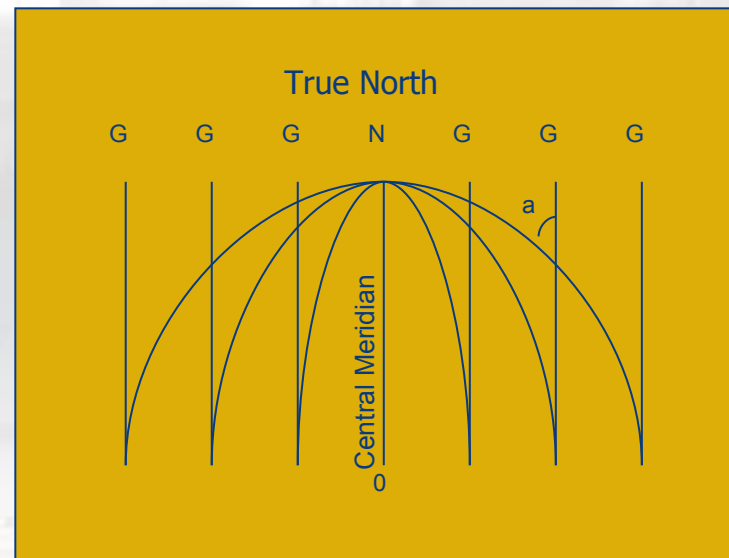
# Магнитное склонение

---

- Существуют различные математические модели позволяющие вычислить значение магнитного склонения в любой точке на поверхности земли и для любой даты, например IGRF или VGGM

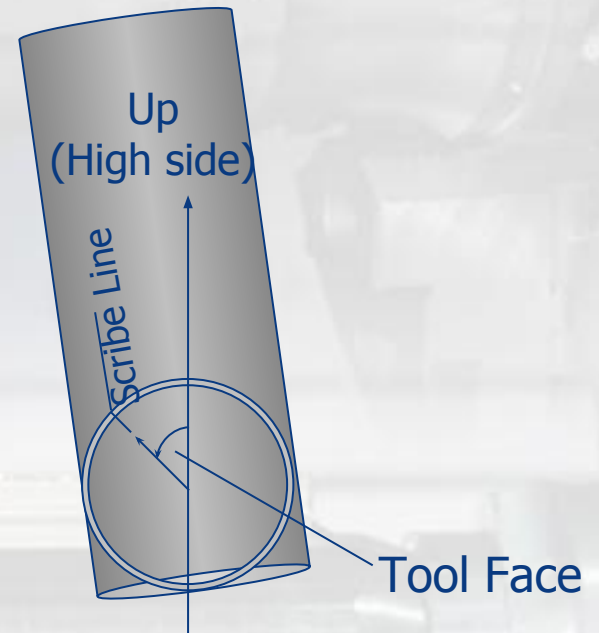


- При создании карты координаты необходимо перевести со сферы на плоскость
- В зависимости от используемого метода проецирования возникает погрешность между положением Истинного Севера и севера на карте
- Поправка на схождение меридианов это угол между направлением на истинный север и дирекционным севером в данной точке.



- Используется при направленном бурении, как мотором так и роторными компоновками
- Положение отклонителя это угловая мера положения инструмента относительно его нуля (верха) или относительно севера

- Показывает положение отклонителя влево или вправо относительно его нуля (верха) на любой угол от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ .
- Используется при угле скважины более  $3-15^{\circ}$



- Используется только при малых углах скважины в основном менее  $4^{\circ}$
- Используется при срезках с вертикального ствола.
- Показывает положение отклонителя относительно магнитного севера.

# Поправка на положение ~~отклонителя~~

- Измерительные приборы иногда имеют разницу между их нулевым значением и реальным нулевым значением отклонителя. Эта разница и называется поправкой или Offset Tool Face
- Обычно меряется на буровой при сборке компоновки.

$$\text{OTF} = \left[ \frac{\text{Разница}}{\text{Диаметр}} \right] \times 360$$



$$In = \tan^{-1} \left[ \frac{\sqrt{g_x^2 + g_y^2}}{g_z} \right]$$

- При вычислении угла используются показания только акселерометров.

# Вычисление Азимута

$$Az = \tan^{-1} \left[ \frac{TGF \cdot (h_x \cdot g_y - h_y \cdot g_x)}{\sqrt{h_z \cdot (g_x^2 + g_y^2) + g_z \cdot (h_x \cdot g_x + h_y \cdot g_y)}} \right] + MagDecl.$$

Где напряженность гравитационного поля, TGF, определяется как:

$$TGF = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$$

- При вычислении азимута используются показания всех датчиков, так же необходимо учитывать поправку на истинный или дирекционный север.

## Гравитационного ТФ

$$GTF = \tan^{-1} \left( \frac{g_x}{g_y} \right) + OTF$$

- При вычислениях учитываются показания только акселерометров по осям x и y
- Для получения действительного значения положения отклонителя необходимо учесть поправку на положение отклонителя OTF.

# Вычисление магнитного ТФ

$$MTF = \tan^{-1} \left[ \frac{TGF \cdot h_x + g_x \cdot h_z}{TGF \cdot h_y + g_y \cdot h_z} \right] + OTF + MagDecl$$

- При вычислениях используются показания всех сенсоров
- Для получения истинного значения необходимо учитывать ОТФ (поправка на положение отклонителя)
- Так же если необходимо необходимо учесть поправку на азимут

- Результирующая магнитного поля (TMF) вычисляется как:

$$TMF = \sqrt{h_x^2 + h_y^2 + h_z^2}$$

- Для вычисления используются показания всех магнитометров
- Может быть оценен в зависимости от даты
- Единица измерения [Тесла]

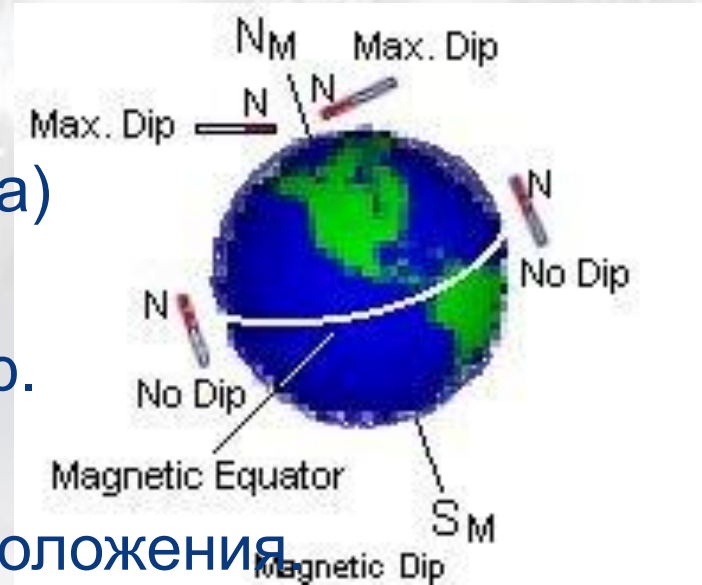
- TGF = Напряженность гравитационного поля

$$TGF = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$$

- Для вычисления используются значения всех акселерометров
- Изменяется незначительно по миру.

# Угол наклона магнитных линий (Dip)

- Так как линии магнитного поля не параллельны поверхности Земли (за исключением магнитного экватора) в северном полушарии компас имеет тенденцию указывать в землю.



- Магнитный Dip угол изменяется в зависимости от местоположения. Например в районе Нижневартовска он около  $77^{\circ}$

- Угол между касательной к поверхности земли и результирующим вектором магнитного поля в данной точке

## *Секция 3*

# Основные определения при бурении скважин



# Вертикальная скважина

---

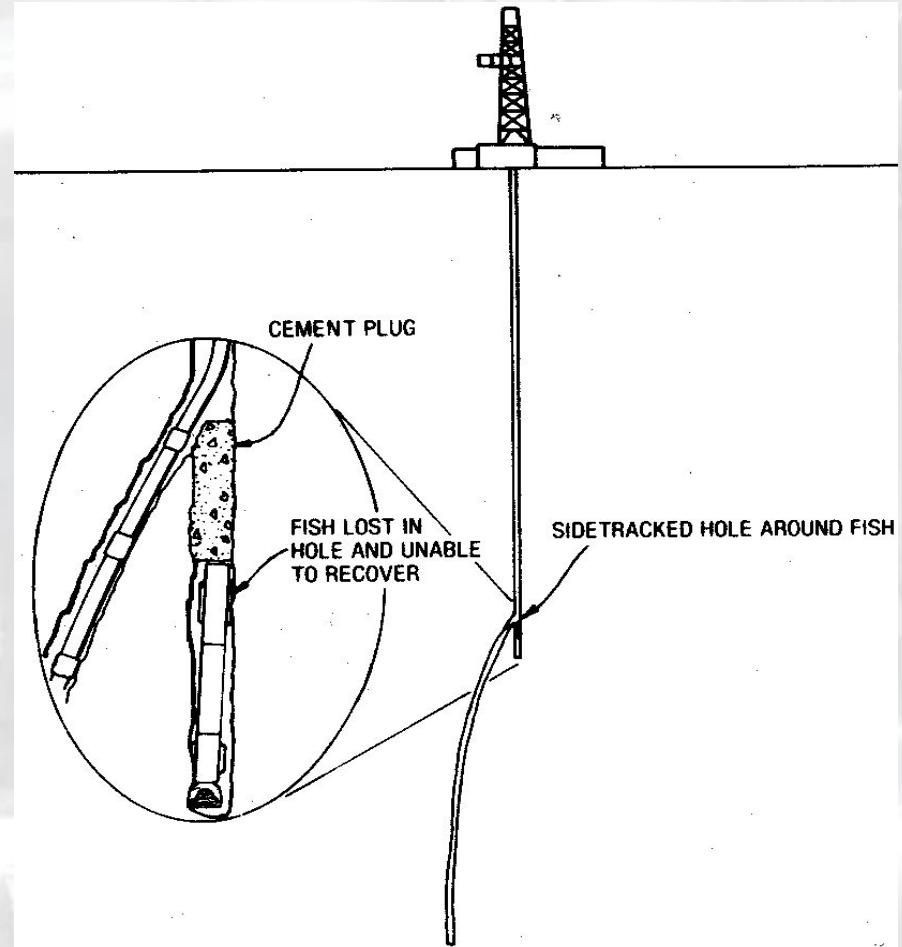
- Невозможно пробурить скважину точно вертикально
- Поэтому принято считать скважину вертикальной если она находится в пределах конуса с углом в 3 градуса

# Направленное бурение

---

- Определение
- Технологический процесс направления траектории скважины к заданной цели

- Если координаты цели изменились, но координаты устья скважины остаются неизменными, новая скважина называется боковым стволом или геологическим боковым стволом
- Если боковой ствол получается в результате непредвиденных обстоятельств, но координаты устья и цели остались неизменными то это механический боковой ствол



$$D.L. = \cos^{-1}[\sin I_1 \sin I_2 \cos(A_2 - A_1) + \cos I_1 \cos I_2]$$

$I_1$  и  $I_2$  два показания угла в различных точках  
 $A_1$  и  $A_2$  два показания азимута в различных точках

- Кривизна это степень искривления ствола скважины (изменения угла и направления) между двумя точками замера
- Кривизна измеряется в градусах

$$D.L.S = \frac{D.L. \times 10}{C.L.}$$

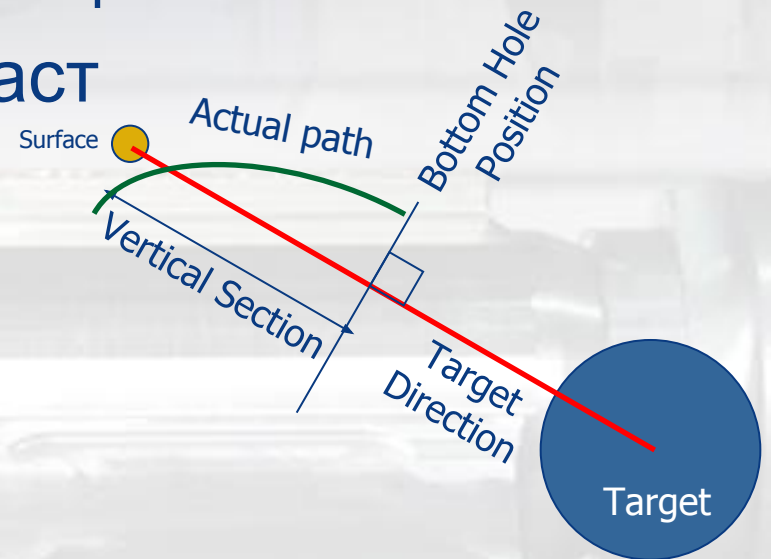
D.L. Кривизна посчитанная между двумя точками замера  
C.L. Расстояние по стволу между двумя точками замера

- Пространственная интенсивность это мера кривизны на определенный интервал, обычно 10 метров
- Измеряется в градусах на 10 метров.
- Интенсивность стараются держать как можно более низкой для избежания проблем при бурении и спуске колонны

- Расстояние от точки лежащей на траектории скважины до вертикальной линии проходящей через устье, измеряемое в метрах
- Например если координаты точки 643 метра на Север и 962 метра на Восток то отход может быть вычислен по формуле Пифагора



- Длина проекции отхода на вертикальную плоскость, проходящую через прямую соединяющую устье с центром цели
- Направление этой прямой называется азимутом вертикальной секции или азимутом входа в пласт



# Tie-in. Точка привязки

---

- Используется как точка начала отсчета если скважина начинается не с поверхности. Служит для вычисления координат скважины и включает в себя

## **TIE -IN**

- Глубина по стволу
- Азимут
- Угол
- Глубина по вертикали
- Координаты С/Ю
- Координаты В/З
- Вертикальная секция



## *Секция 4*

# Контроль качества замеров

- Все приборы использующие магнитометры реагируют не только на магнитное поле Земли, но и на любое другое магнитное поле
- Стальные моторы, долотья даже части немагнитных УБТ могут намагничиваться и создавать помехи в определении азимута и магнитного положения отклонителя
- Для снижения этого влияния приборы помещают внутри немагнитных УБТ достаточной длины
- Длина необходимого количества немагнитного материала зависит от местоположения скважины, угла и направления бурения. Она тем больше чем больше угол скважины, Dip угол и чем ближе азимут к 90 или 270-ти градусам.

- Кроме стальных частей компоновки существуют другие источники помех:
  - Колонна – все колонны намагничены и прибор использующий магнитометры для вычисления азимута внутри колонны и вблизи ее не работает
  - Когда срезка происходит вблизи зацементированной компоновки
  - Некоторые растворы, например гематитовые или металлическая стружка в растворе
  - Некоторые породы, например пириты увеличивают погрешность измерений.
  - Магнитные бури на солнце и т.д.

- Существует множество способов ошибиться с глубиной измерения
- Кроме человеческого фактора существуют и инструментальные ошибки связанные с растяжением и сжатием бурильной колонны, искривлением компоновки и т.д.
- Некоторые приборы записывают текущие данные измерений в память поэтому необходимо знать когда были сделаны замеры и какая глубина была на этот момент.

Как же оценить что полученный нами замер соответствует действительности. Если следующие параметры находятся в допустимых пределах то замер считает правильным:

- Напряженность гравитационного поля  $G_{total}$  в пределах  $\pm 0.003$  от эталонной (в большинстве случаев 1.0000)
- Напряженность магнитного поля  $B_{total}$  в пределах  $\pm 500$ нТ от значения напряженности магнитного поля в данной точке.
- Угол наклона магнитных линий к поверхности земли  $Dip$  в пределах  $\pm 0.5$  от значения этого угла в данной точке

## *Секция 5*

# Расчет профиля скважины

- Замеры дают нам угол и азимут на определенной глубине. Эта информация используется для вычисления положения скважины в пространстве
- Необходимо знать расстояние между двумя точками замера
- Координаты точки находящейся на траектории скважины вычисляются относительно устья

## Потребность в создании модели

---

- Зенитный угол и азимут в каждой точке определяют вектор касательный к траектории скважины. Зенитный угол дает его вертикальную проекцию, а азимут горизонтальную
- Расстояние между точками это длина траектории скважины между двумя точками замера
- Необходимо иметь представление о траектории скважины между двумя точками замера.
- Для этого существуют различные модели



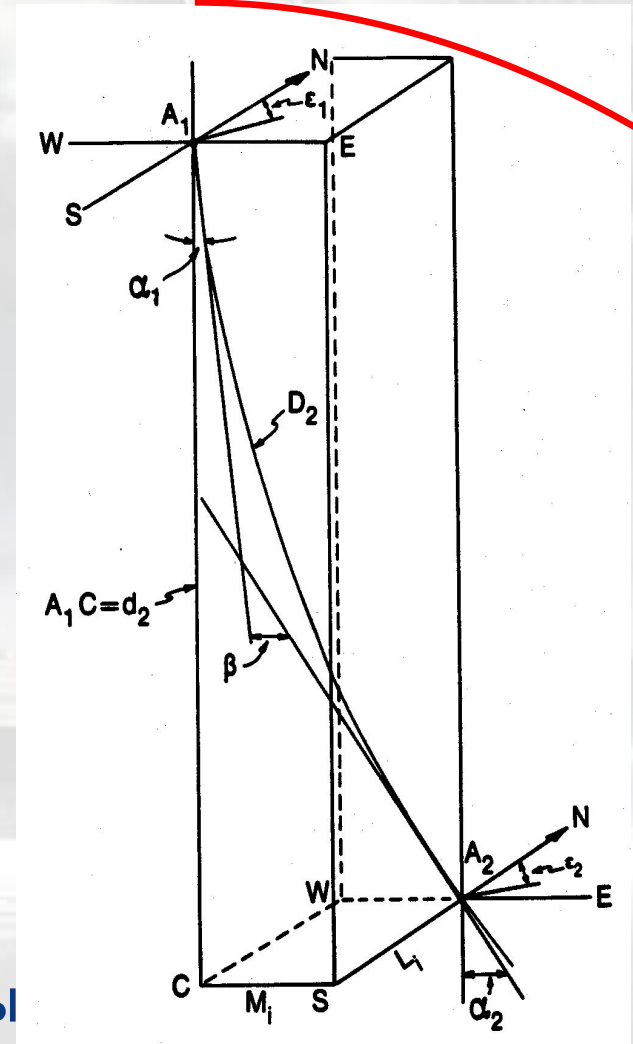
## Часто используемые модели

---

- По среднему углу
- По радиусу кривизны
- По минимальному радиусу кривизны

# Минимальный радиус кривизны

- Этот метод предполагает, что траектория скважины представляет собой самую гладкую из дуг окружностей вписанных между точками замера 1 и 2
- Это достигается применением коэффициента, основанного на кривизне скважины между двумя этими точками, или другими словами интенсивности
- Этот метод наиболее точный
- В данное время это самый распространенный метод так как все вычисления легко могут быть сделаны с помощью персонального компьютера



# Вычисление методом наименьшего радиуса кривизны

- Входные параметры
  - Углы в точках 1 и 2
  - Азимуты в точках 1 и 2
  - Глубины замеров в точках 1 и 2
- Выходные параметры
  - Интенсивность
  - Вертикальная глубина
  - Координаты точки
  - Отход
  - Вертикальная секция