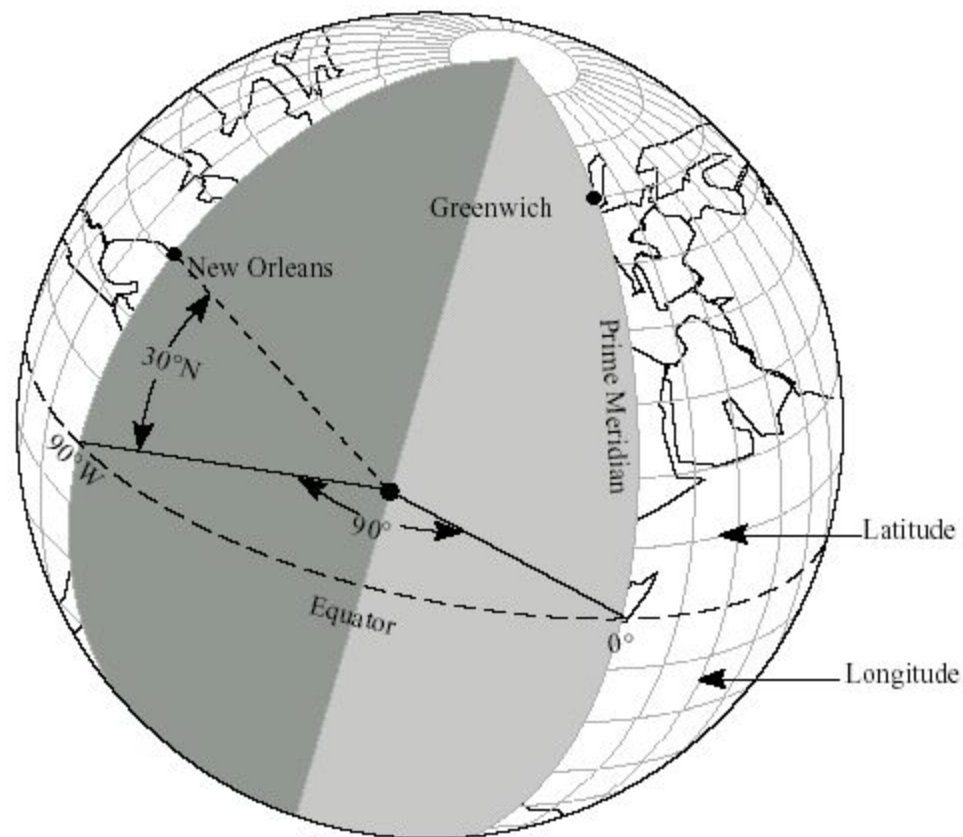


# ***ОСНОВЫ ИНКЛИНОМЕТРИИ***



# Важность данных о направлении

“Предоставление достоверных и  
точных данных  
о направлении является вашей  
*первостепенной задачей* на моей  
буровой”

- заказчик

# Важность данных о направлении

- О чем следует помнить:
  - У вас есть только один шанс вывести скважину в нужное место
  - Вы не можете предполагать, что выдаваемый компьютером ответ всегда правилен ("каков запрос, таков ответ")
  - Исправление ошибок, вызванных неправильными данными о направлении скважины, стоит компании огромных денег (и потери прибыли)

# Последствия неточных данных о направлении скважины

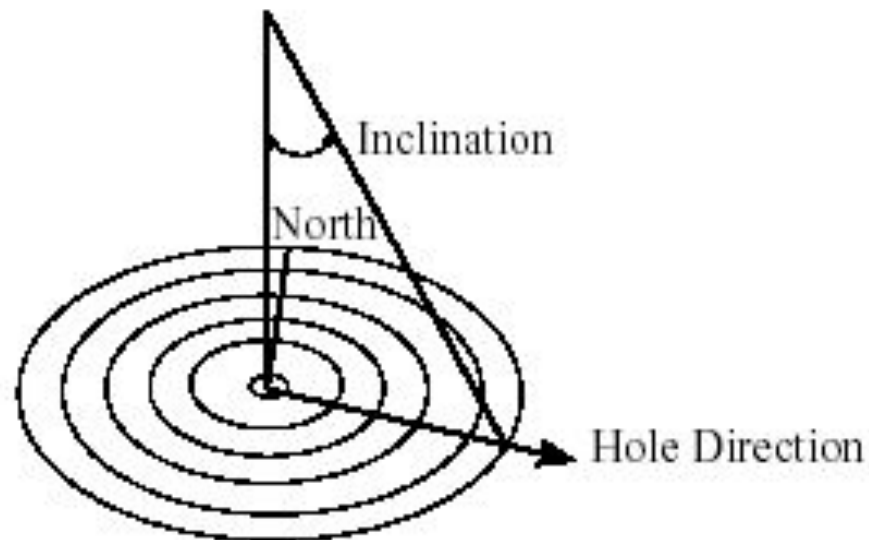
- Скважина бурится под неправильным углом или в неправильном направлении
- Пересечение с другой скважиной
- Скважина пересекается со сборным промысловым трубопроводом
- Потеря доверия заказчика
- Вы можете потерять работу

# Что такое данные исследований?

- Наивысшее качество измеряемых данных лучше всего обеспечивают статические измерения
- Данные измерений или, точнее, точки замера состоят из следующих компонентов:
  - Наклон (Зенитный угол)
  - Направление скважины (Азимут)
  - Измеренная глубина
- Данные измерений дают бурильщику информацию о положении скважины
- Наклон и направление скважины определяются при помощи скважинных датчиков направления
- Измеренная глубина определяется с поверхности при помощи системы мониторинга глубины

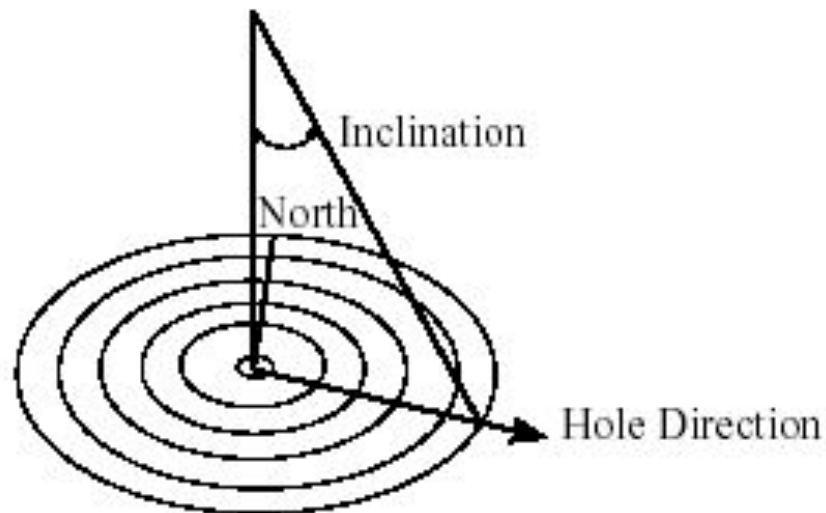
# Наклон (Зенитный Угол)

- Наклон представляет собой измеренный в градусах угол, на который ствол скважины или ось геодезического прибора отклоняется от строгой вертикали
- Наклон  $0^\circ$  соответствует строгой вертикали
- Наклон  $90^\circ$  соответствует горизонтальному направлению



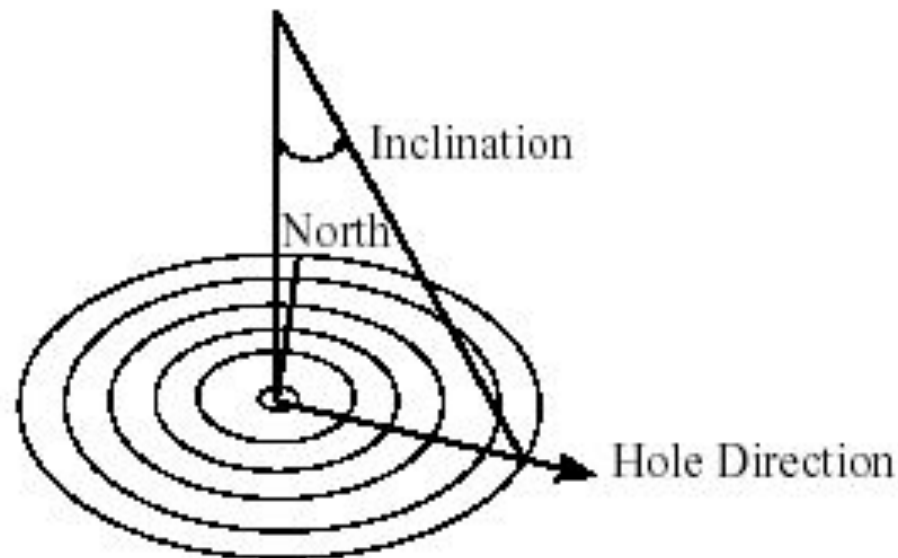
# Направление скважины

- Направление скважины определяется измеренным в градусах углом между горизонтальной проекцией скважины или оси геодезического прибора и известным контрольным направлением на север
- Это контрольное направление представляет собой истинный север или координатный север, и его принято отсчитывать по часовой стрелке
- Направление скважины измеряется в градусах и выражается либо в виде азимута (от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ ), либо в квадрантной форме (северо-восток, юго-восток, северо-запад, юго-запад)



# Измеренная глубина

- Измеренная глубина относится к фактической длине скважины, пробуренной с поверхности (от Альтитуды стола ротора буровой установки) до любой точки вдоль ствола скважины



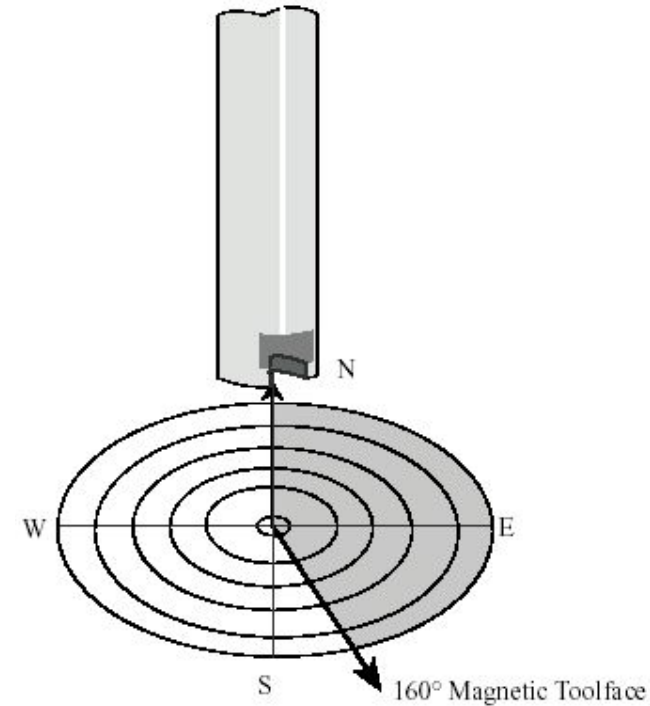


# Что такое данные управления направлением?

- Данные управления направлением, или данные ориентации, являются динамическими данными, дающими бурильщику при направленном бурении информацию о положении кривого переводника гидравлического забойного двигателя
- Устанавливая кривой переводник в нужном положении, можно управлять направлением скважины
- Существует два типа данных, об ориентации
  - Магнитные данные
  - Гравитационные данные

# Магнитные данные об ориентации

- Магнитные данные об ориентации скважинного инструмента (отклонителя) - это направление в горизонтальной плоскости, на которое указывает кривой перводник гидравлического забойного двигателя относительно направления на север
- Магнитные данные об ориентации =  
Направление по датчику магнитных данных ориентации + Общая коррекция + Отклонение
- Магнитные данные об ориентации обычно используются, когда зенитный угол не превышает  $5^\circ$
- Магнитные данные об ориентации представляет на какое магнитное направление инструмента указывает

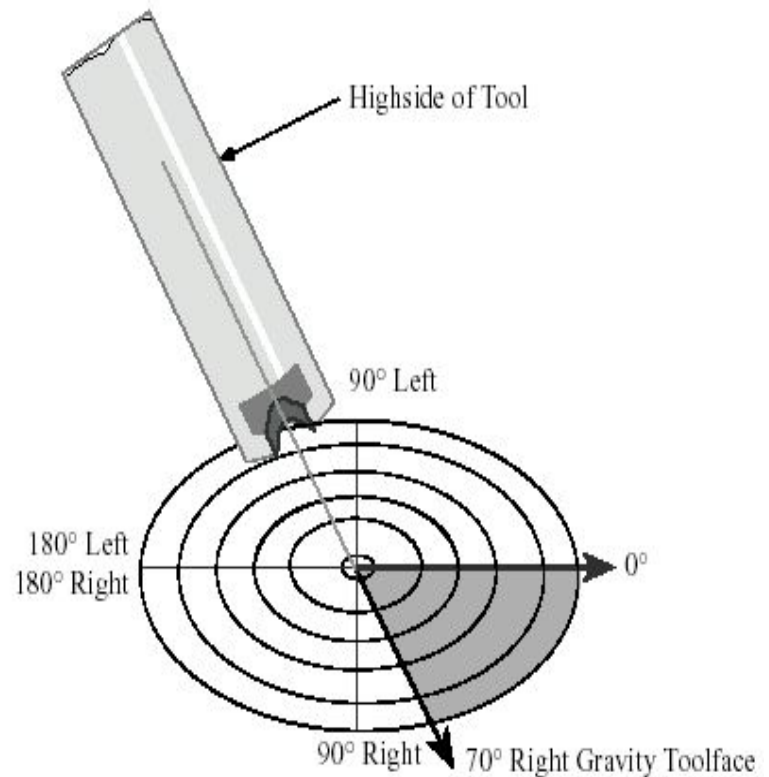


# Гравитационные данные об ориентации

- Гравитационные данные об ориентации - это угловое расстояние, на которое риска гидравлического забойного двигателя повернута вокруг его оси, отсчитанное относительно верхней стороны наклонной скважины
- Гравитационные данные об ориентации = Направление датчика гравитационных данных ориентации + Отклонение
- Гравитационные данные об ориентации могут использоваться, если зенитный угол превышает  $5^\circ$
- Показания привязываются к верхней стороне измерительного инструмента независимо от направления прибора в скважине в данный момент
- Данные представляются в виде определенного угла в градусах вправо или влево от верхней стороны прибора

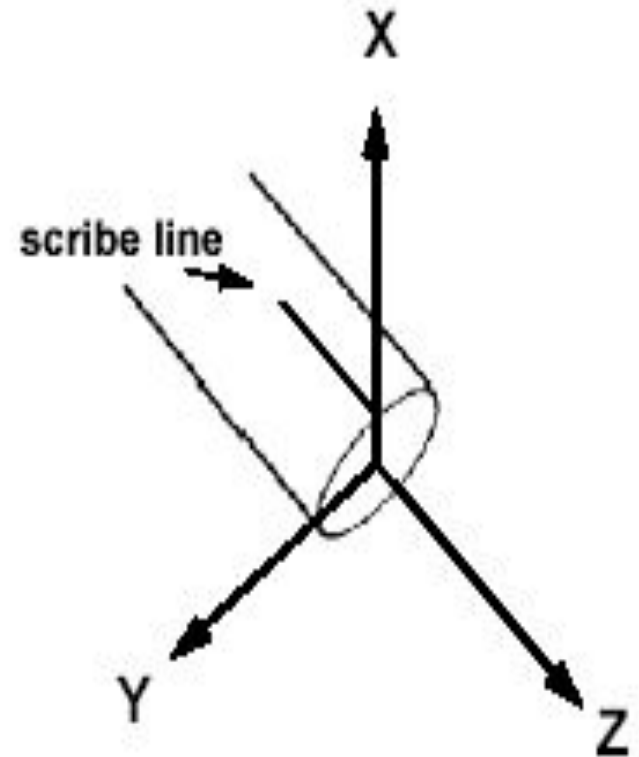
# Гравитационные данные об ориентации

- Например, в случае направления к верхней стороне (highside) измерительного прибора, значение гравитационных данных равно  $0^\circ$
- В случае направления к нижней стороне измерительного прибора, значение гравитационных данных равно  $180^\circ$
- Если точка на верхней стороне зонда была повернута вправо от верхней стороны, то значение гравитационных данных составляет  $70^\circ$  вправо



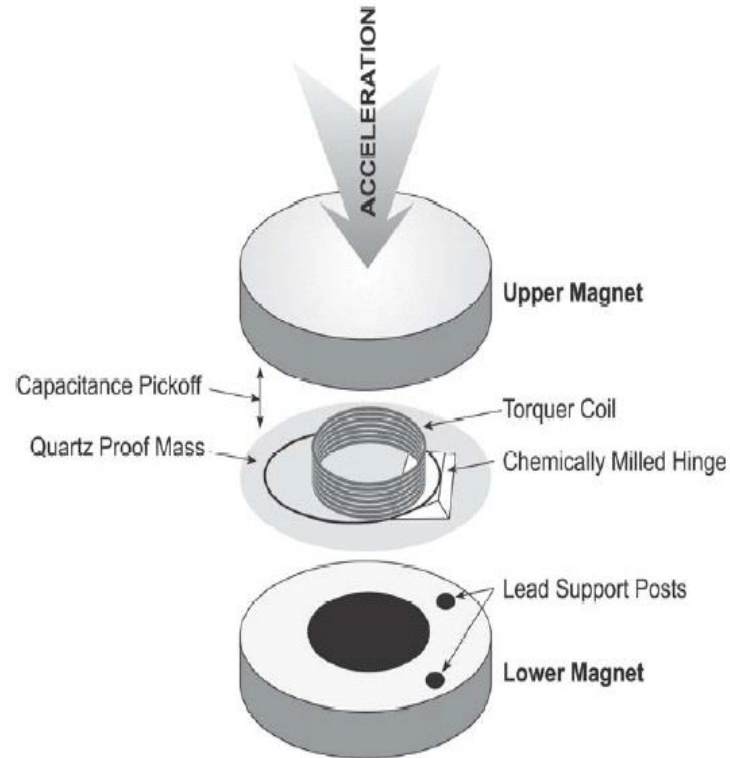
# Оси электронного акселерометра и магнетометра

- Ось “Z” направлена вдоль длины зонда (лежит в осевой плоскости)
- Оси “X” и “Y” лежат в плоскости, перпендикулярной к осевой, и ортогональны друг к другу и к оси “Z”
- “Верхняя сторона” совмещена с осью “X”
- Все три оси ортогональны друг к другу



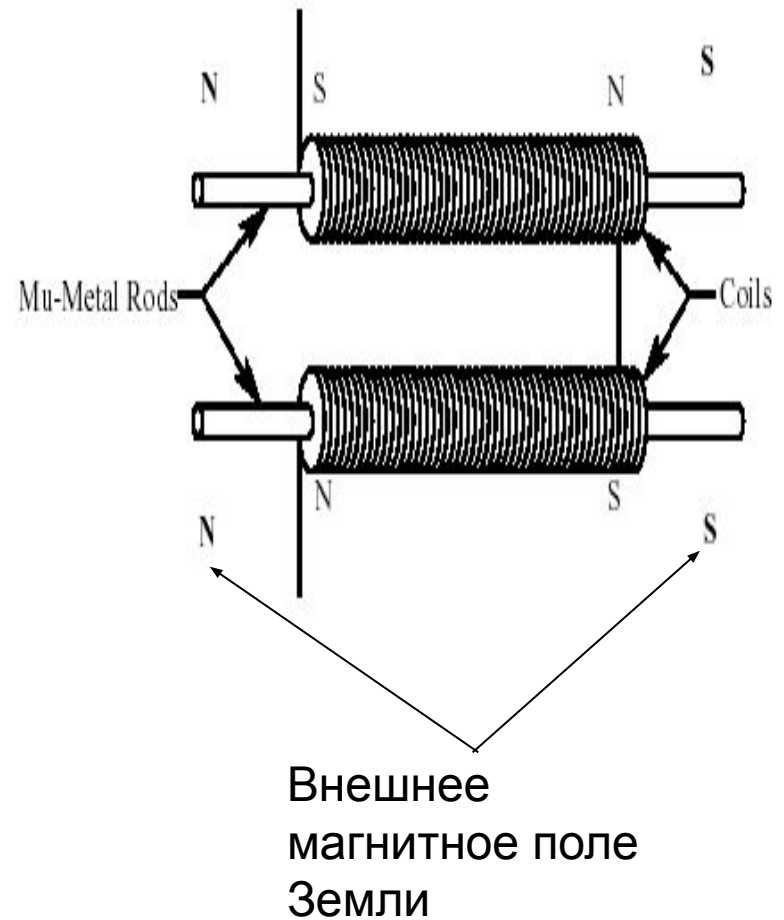
# Шарнирные кварцевые акселерометры

- Реагируют на воздействие гравитационного поля Земли в каждой плоскости
- Для поддержания чувствительной массы кварца в заданном положении при перемещении акселерометра в поле силы тяжести используется переменный ток
- Сила “поддерживающего” тока зависит от гравитационной силы, испытываемой акселерометром



# Индукционные магнетометры

- Реагируют на воздействие магнитного поля Земли в каждой плоскости
- Магнетометр содержит две катушки, намотанные в противоположных направлениях на стержни, изготовленные из материала с высокой магнитной проницаемостью
- При пропускании через катушки переменного тока создается переменное магнитное поле, намагничивающее стержни
- Появление любого внешнего магнитного поля, направленного параллельно катушке, приведет к ускоренному насыщению одной из катушек по сравнению с другой
- Разность времени насыщения определяет напряженность внешнего магнитного поля



# Калибровочные коэффициенты

- Инклинометрические датчики должны быть откалиброваны для компенсации:
  - Физического смещения осей X, Y, и Z по отношению друг к другу
  - И**
  - Различий в отклике датчика в связи с изменениями рабочей температуры



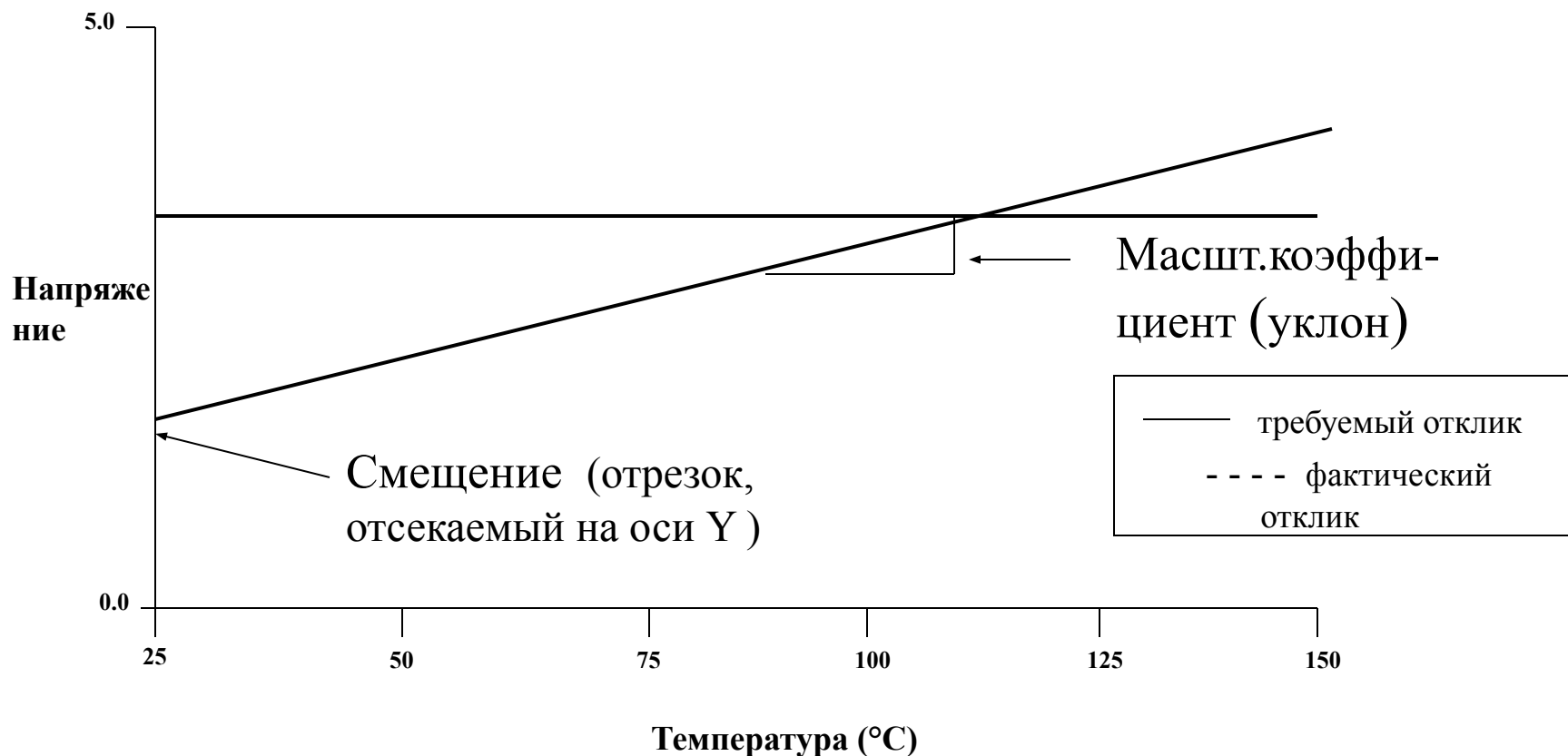
# Факторы смещения

- Оси должны располагаться ортогонально по отношению друг к другу ( $90^\circ$  между ними)
- Во время калибровки, выполняемой либо поставщиком или техническим специалистом, данные величины определяются и загружаются в инклинометрический датчик
- Корректировки обычно небольшие и практически оказывают небольшое влияние на скорректированные величины акселерометра и магнитометра

## Коэффициенты поправки на температуру (Масштабный коэффициент и смещение)

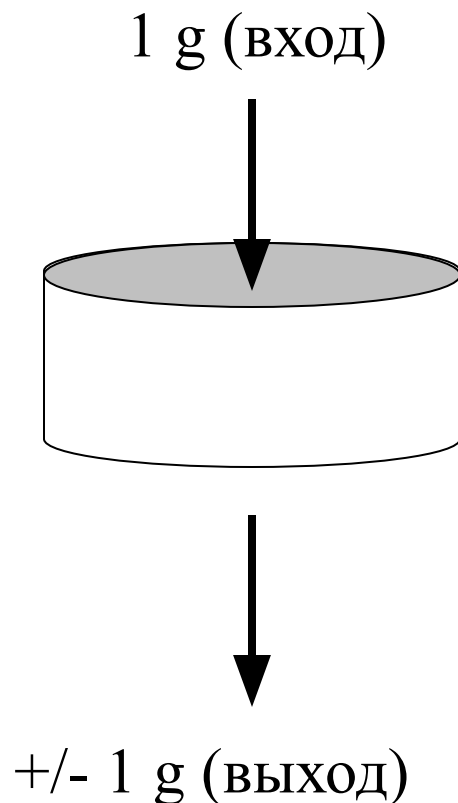
- Обеспечивает, чтобы отклик инклинометрического зонда был идентичным фиксированной позиции зонда, безотносительно к температуре на забое
- Поправки осуществляются посредством размещения зонда в известном направлении и выборки при повышении температуры с 25 °C (77 °F) до 150 °C (300 °F) максимум
- Коэффициенты загружаются в инклинометрический зонд и применяются на забое зондом по

# Масштабный коэффициент и смещение



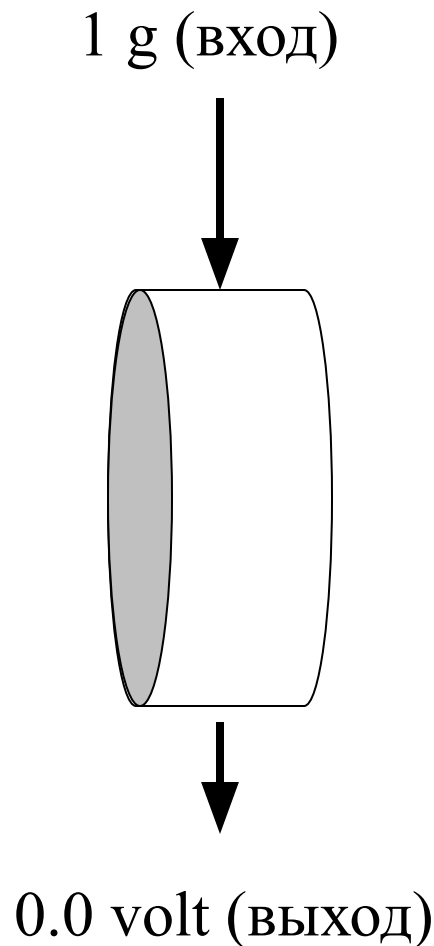
# Отклик акселерометра в зависимости от ориентации

- Акселерометр масштабирован таким образом, что гравитация в +/- 1 равняется +/- 4.5 вольт
- Угол, под которым сила гравитации действует на «плоскую область» акселерометра будет определять его отклик
- Если гравитация действует перпендикулярно ( $90^\circ$ ) на верхнюю часть акселерометра, то отклик на выходе будет составлять +4.5 вольт



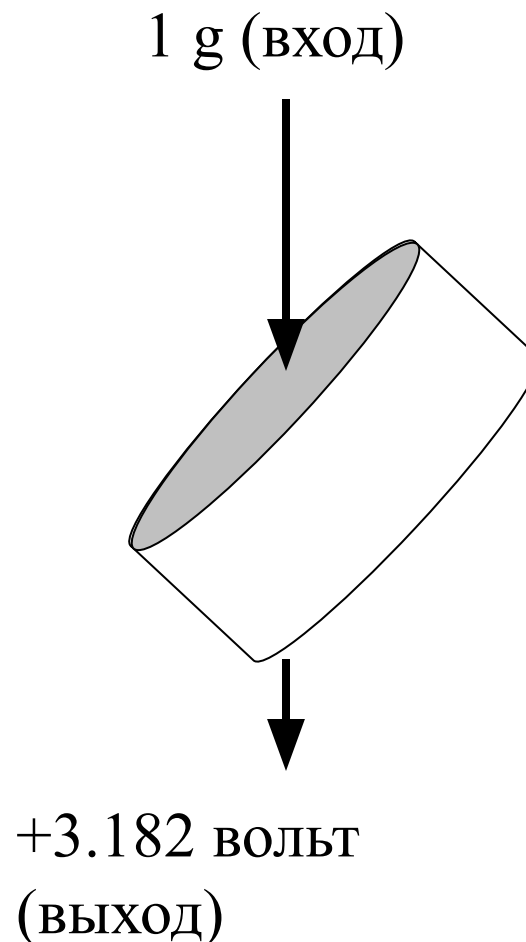
# Отклик акселерометра в зависимости от ориентации

- Если сила гравитации действует параллельно ( $0^\circ$ ) по отношению к верхней части акселерометра, то отклик на выходе будет равняться 0.0 вольт



# Отклик акселерометра в зависимости от ориентации

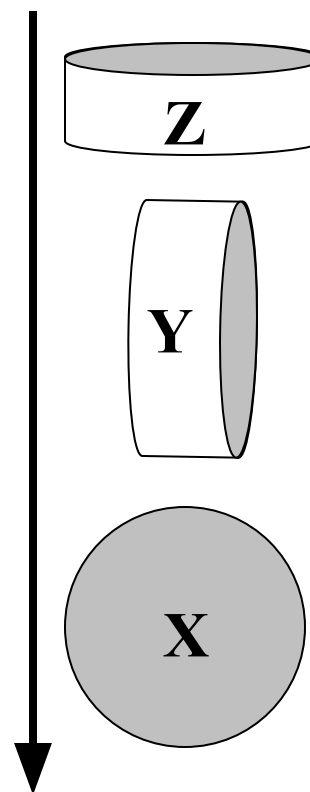
- Если сила гравитации действует под каким-то другим углом (то есть,  $45^\circ$ ) на верхнюю часть акселерометра, отклик на выходе будет равняться  $+3.182$  вольт ( $1g \times \cos 45^\circ$ )



# Отклик акселерометра в зависимости от ориентации

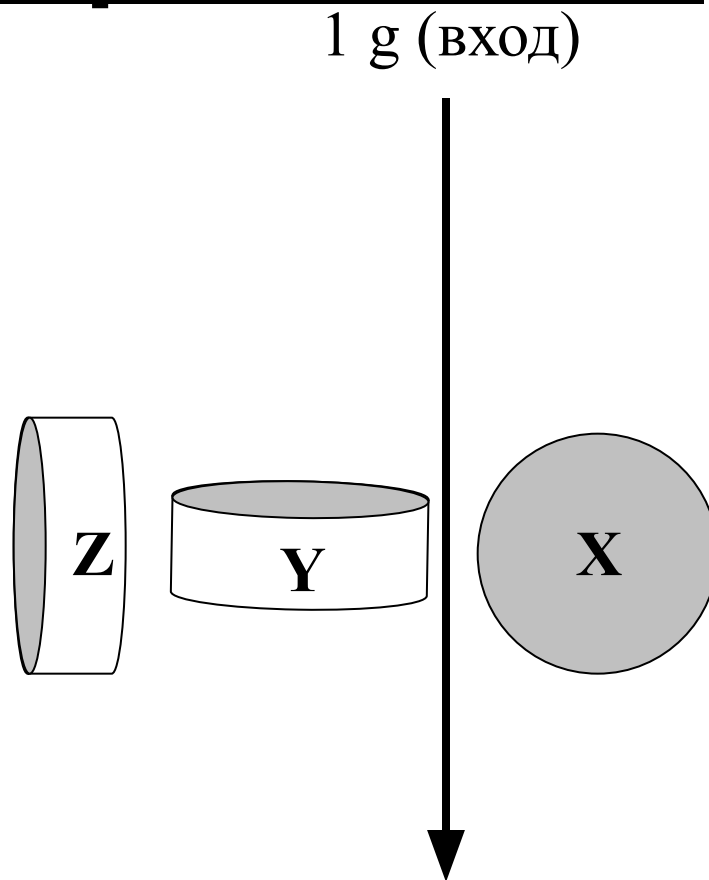
- Какие величины ожидается получить от акселерометров  $G_x$ ,  $G_y$ , и  $G_z$ , если инклинометрический зонд находится в вертикальном положении?
- $G_z = +1.0 \text{ g}$
- $G_x = 0.0 \text{ g}$
- $G_y = 0.0 \text{ g}$

1 g (вход)



# Отклик акселерометра в зависимости от ориентации

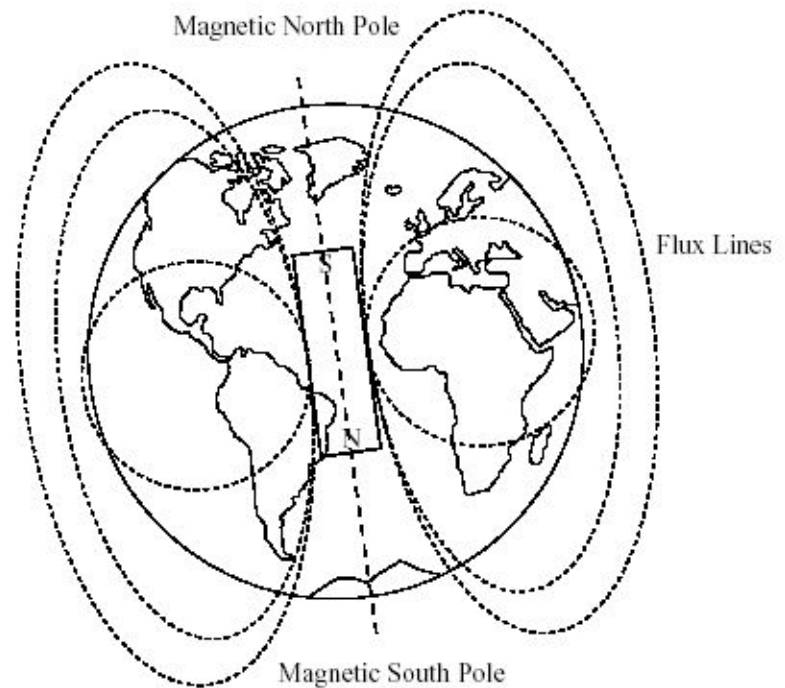
- Какие величины ожидается получить от акселерометров  $G_x$ ,  $G_y$ , and  $G_z$  в случае, если инклинометрический зонд находится в горизонтальном положении и в положении «highside» ?
- $G_z = 0.0 \text{ g}$
- $G_x = 0.0 \text{ g}$
- $G_y = +1.0 \text{ g}$





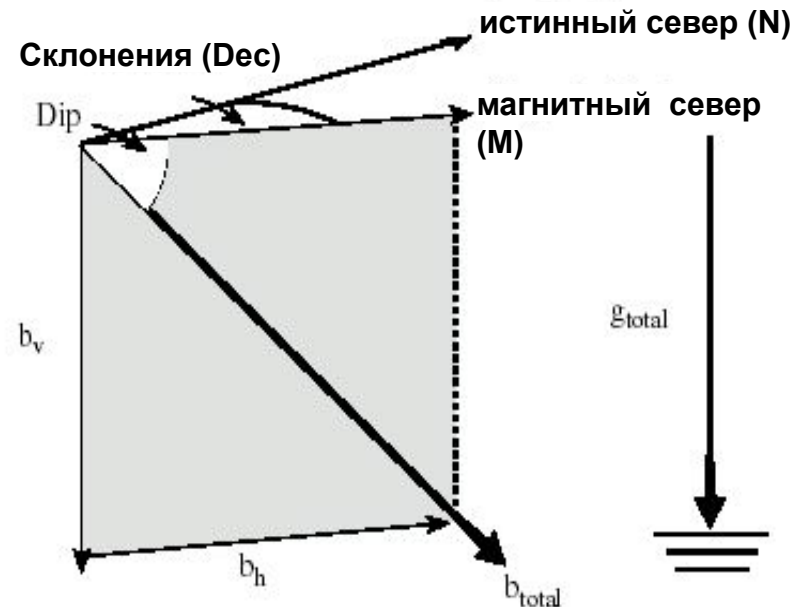
# Магнитное поле Земли

- Внешнее ядро Земли содержит железо, никель и кобальт и является ферромагнитным
- Землю можно представить, как имеющую в центре большой стержневой магнит, направленный (почти) вдоль проходящей с севера на юг оси вращения
- Хотя поле направлено в сторону магнитного севера, силовые линии поля параллельны поверхности Земли в районе экватора и круто входят в Землю вблизи северного полюса



# Составляющие магнитного поля Земли

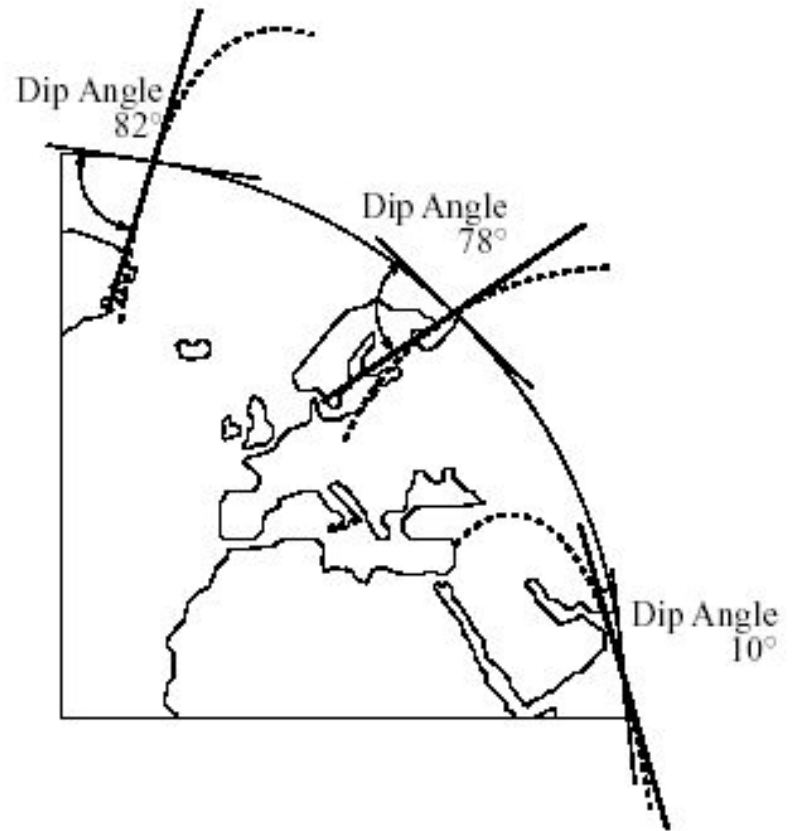
- $M$  = Направление на северный магнитный полюс
- $N$  = Направление на истинный северный полюс
- $B_{total}$  = Полная напряженность локального магнитного поля
- $B_v$  = Вертикальная составляющая локального магнитного поля
- $B_h$  = Горизонтальная составляющая локального магнитного поля
- $Dip$  = Угол магнитного наклона локального магнитного поля относительно горизонтали
- $Dec$  = Отклонение горизонтальной составляющей локального магнитного поля от направления на истинный север
- $G_{total}$  = Полная напряженность гравитационного поля Земли



Компоненты изменяются с географическим размещением

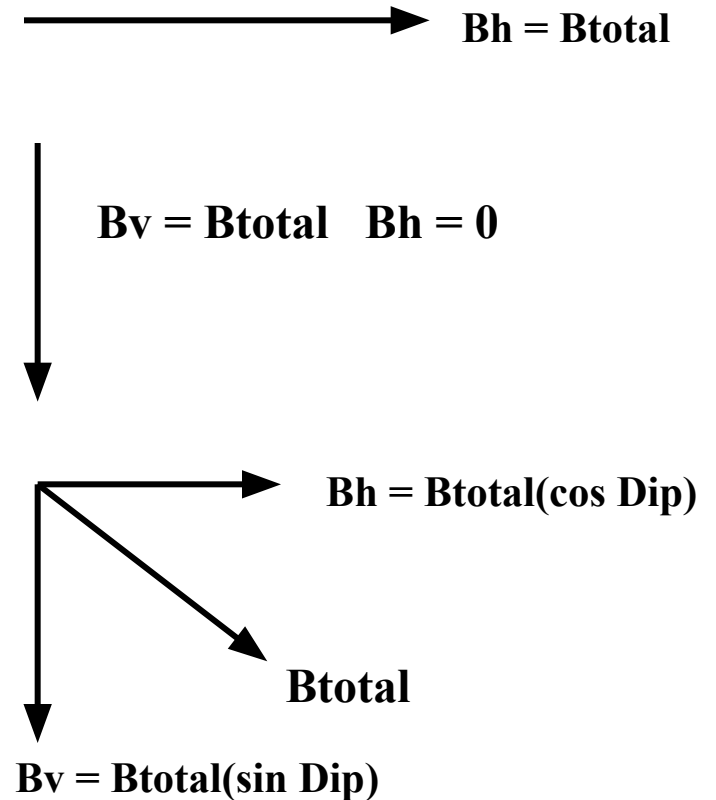
# Зависимость угла магнитного наклонения от географической широты

- В районе магнитных полюсов линии магнитного потока проходят перпендикулярно (под углом  $90^\circ$ ) к поверхности Земли
- В районе экватора линии магнитного потока проходят параллельно (под углом  $0^\circ$ ) поверхности Земли
- Угол магнитного наклонения увеличивается с возрастанием географической широты
- По мере возрастания угла магнитного наклонения величина горизонтальной составляющей магнитного поля Земли уменьшается



# Зависимость угла магнитного наклонения от географической широты

- На магнитном экваторе  
 $B_h = B_{total}$ ,  $B_v = 0$
- На магнитных полюсах  $B_h = 0$ ,  
 $B_v = B_{total}$
- $B_h$  является проекцией  
(с использованием угла  
магнитного наклонения) вектора  
 $B_{total}$  на горизонтальную  
плоскость



# Гравитационный отклонитель

- Гравитационный отклонитель находится в зависимости от  $G_x$ ,  $G_y$ , Масшт.коэффициента, Смещения и температуры, DC TFO

$$HSTF = ATAN (G_y / -G_x)$$

- Данные по гравитационному отклонителю обычно используются в наклонных скважинах (более  $5^\circ$ ) для ориентирования метки двигателя для достижения необходимой интенсивности набора угла и поворота в стволе скважины
- Базовая точка для гравитационного отклонителя  $0^\circ$  представляет собой акселерометр оси  $X$ , считывающий полномасштабную отрицательную величину (то есть верхнюю сторону зонда, направленную вверх или по направлению к верхней стороне ствола скважины).

# Магнитный отклонитель

- Магнитный отклонитель находится в зависимости от  $V_x$ ,  $V_y$ , Масштабного коэффициента, Смещения, температуры и общей коррекции

$$MGTF = \text{ATAN} (V_y / -V_x)$$

- Данные магнитного отклонителя обычно используются в полого-направленных скважинах ( менее  $5^\circ$ ) для ориентирования двигателя по риску с целью отклонения скважины в необходимом направлении.
- Базовый ориентир для магнитного отклонителя – это магнитный север.

# Точка перехода MTF (магн.отклонитель) – GTF (гравитац. отклонитель)

- Величины по умолчанию -  $5^\circ$  при переходе от MTF GTF, и  $4^\circ$  при переходе с GTF к MTF
- Более реалистичные цифры  $5.0^\circ$
- Исключительно важно немедленно предупредить технолога, если положение отклонителя меняется с MTF на GTF и наоборот!!!
- Relate kickoff in South direction anecdote (???)

# Наклон (зенитный угол)

- Зенитный угол представляет собой функцию  $G_x$ ,  $G_y$ ,  $G_z$ , scale, смещения и температуры
- Его можно рассчитать при использовании тригонометрических функций, однако, функция ТАНГЕНСА является наиболее точной, и она применяется как для программного обеспечения наземного оборудования, так и забойных инструментов

$$\sin ( \text{INC} ) = G_{xy} / G_{\text{total}}$$

$$\cos ( \text{INC} ) = G_z / G_{\text{total}}$$

$$\text{INC} = \text{ATAN} ( G_{xy} / G_z )$$

Где:  $G_{xy} = (G_x^2 + G_y^2)^{1/2}$   
 $G_{\text{total}} = (G_x^2 + G_y^2 + G_z^2)^{1/2}$



# Направление скважины (азимут)

Направление скважины – это функция:

$B_x$  = вектор магнитного поля по направлению оси X

$B_y$  = вектор магнитного поля по направлению оси Y

$B_z$  = вектор магнитного поля по направлению оси Z

GTF = Гравитационный отклонитель

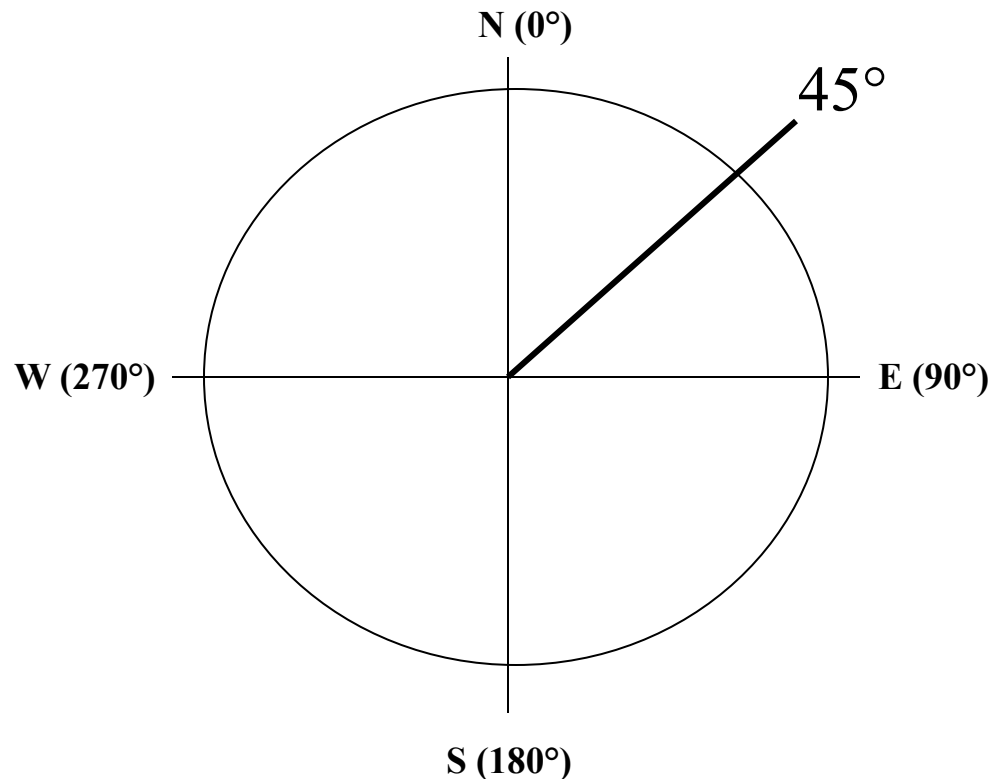
INC =  $\text{ATAN} ( G_{xy} / G_z )$

СУММАРНАЯ ПОПРАВКА

$$\text{Азимут} = \text{ATAN} \left( - \frac{B_x \sin (GTF) + B_y \cos (GTF)}{[B_x \cos (GTF) - B_y \sin (GTF)] \cos(INC) + B_z \sin (INC)} \right)$$

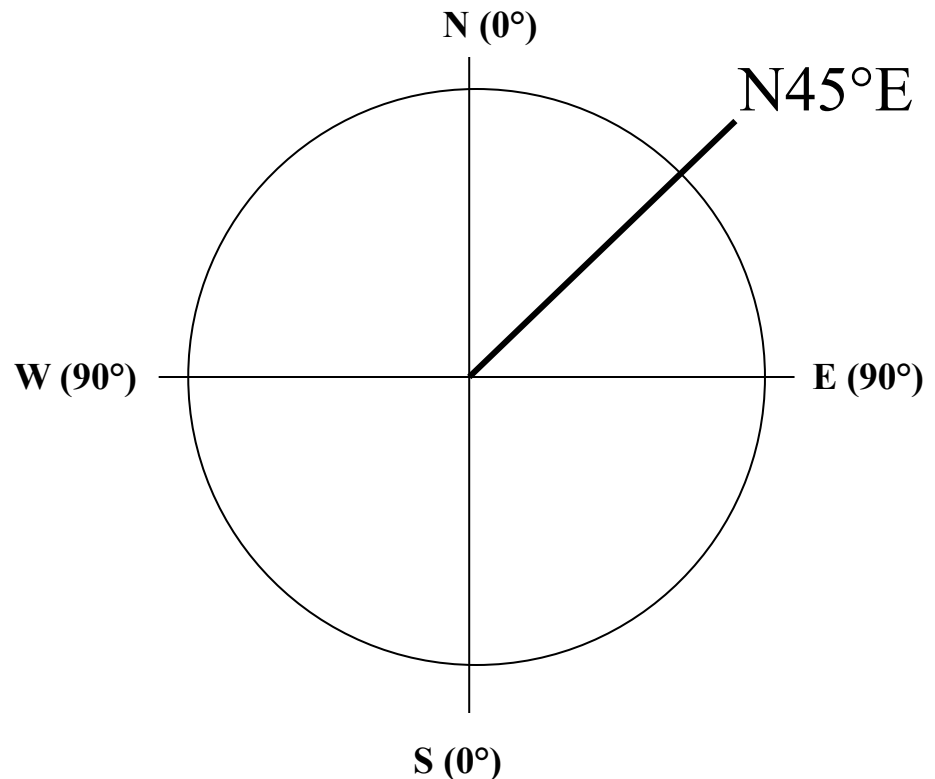
# Формат азимута

- Формат азимута берет начало на Севере ( $0^\circ$ ) и затем перемещается по часовой стрелке (Восток  $90^\circ$ , Юг  $180^\circ$ , Запад  $270^\circ$ )



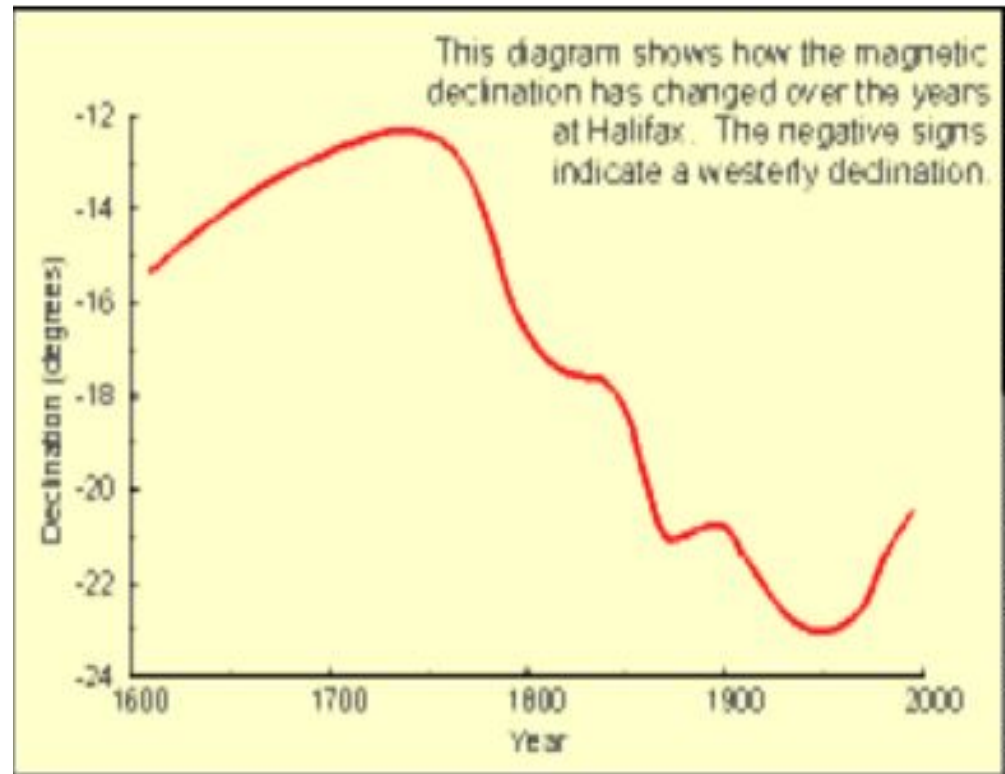
# Формат квадранта

- В случае Формата квадранта окружность  $360^\circ$  делится на 4 квадранта по  $90^\circ$
- Север и Юг – это большие оси, а Восток и Запад – малые оси
- Движение всегда выполняется от больших осей к малым осям под углом, замеренным между направлением ствола скважины и самой ближайшей большой осью.



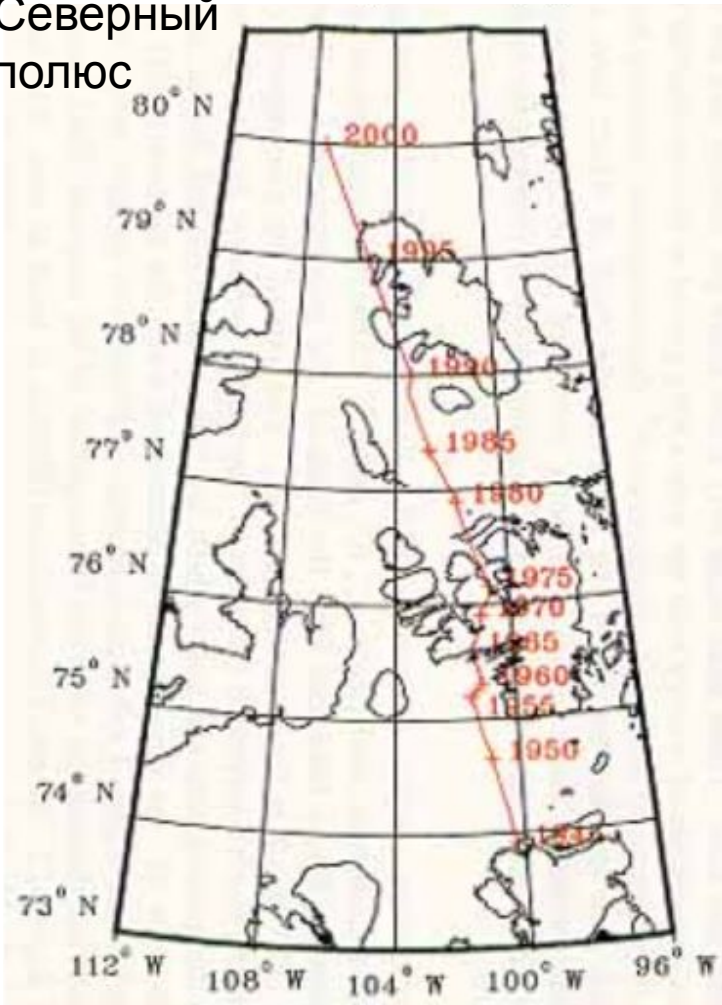
# Магнитное склонение

- Сложное движение текучей среды в наружном ядре Земли вызывает медленные и непредсказуемые изменения магнитного поля с течением времени (вековые вариации)
- Положение магнитных полюсов также со временем изменяется
- Однако мы можем компенсировать эту изменчивость путем ввода поправки (склонения) в магнитные измерения, привязывающей их к направлению на истинный север

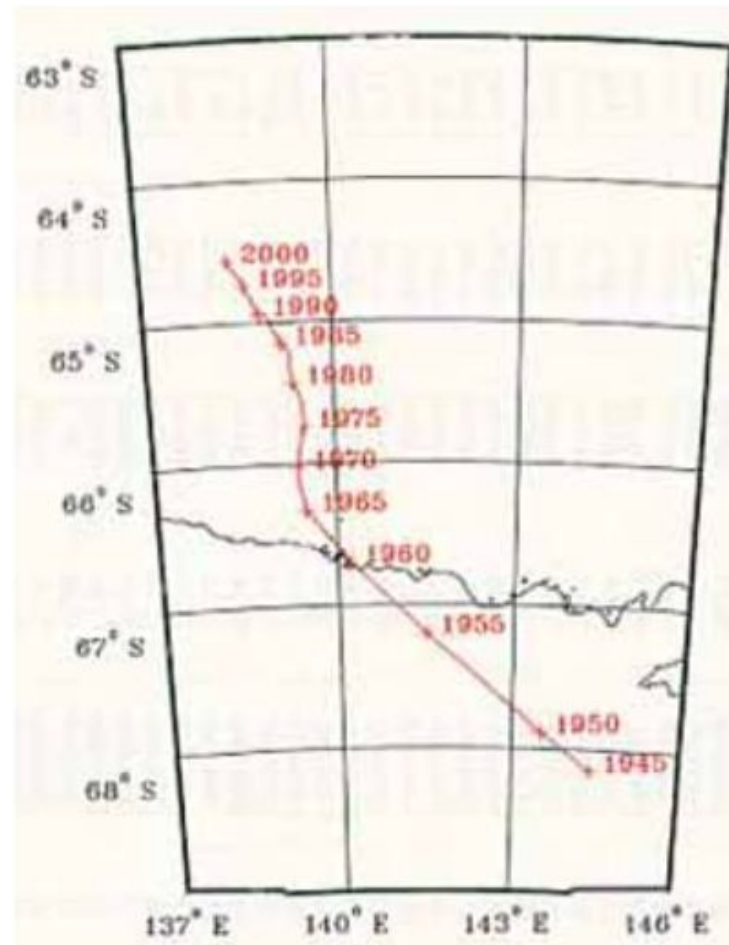


# Движение магнитных полюсов (1945 – 2000)

Северный  
полюс

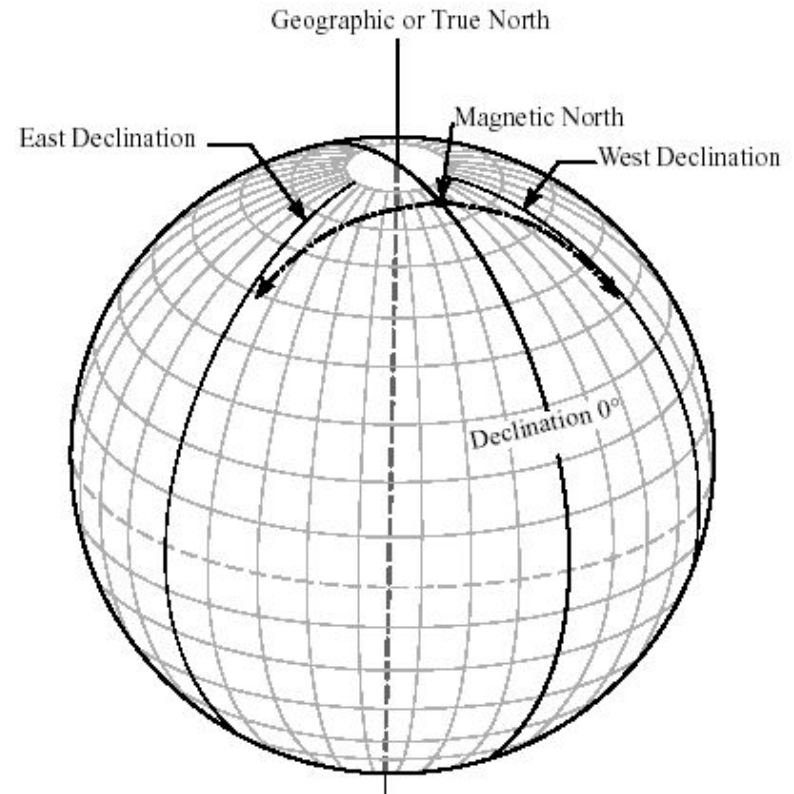


Южный  
полюс



# Истинный север

- Истинный или географический север совпадает с осью вращения Земли
- Истинный север не смещается, что делает его надежным репером
- Результаты изысканий, привязанные к истинному северу, будут действительны как сегодня, так и в любом обозримом будущем
- Поправка, вводимая для преобразования направления относительно магнитного севера в направление относительно истинного севера, называется склонением



# Применение склонения

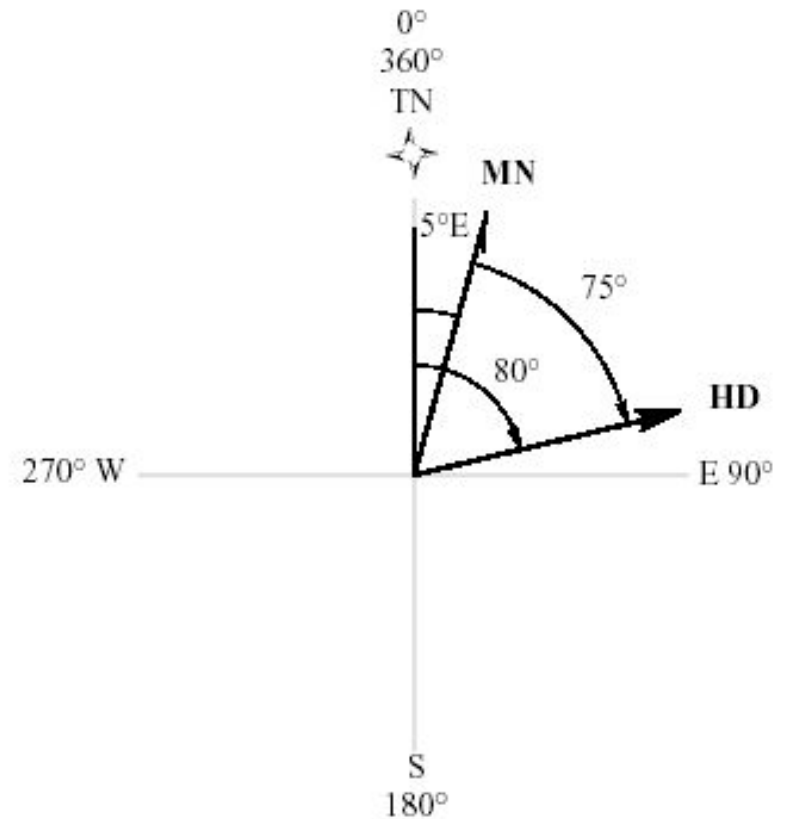
- Для преобразования направления относительно магнитного севера в направление относительно истинного севера к нему следует прибавить величину склонения:

**Истинное направление = Направление  
относительно магнитного севера +  
Склонение**

- Важное примечание
  - Восточное склонение является положительным, а Западное склонение – отрицательным как в северном, так и в южном полушарии

# Применение восточного СКЛОНЕНИЯ

- Восточное склонение означает, что магнитный север находится к востоку от истинного севера
- Например, если направление скважины относительно магнитного севера составляет  $75^\circ$ , а склонение равно  $5^\circ$  (восточное), то направление относительно истинного севера вычисляется следующим образом:  
Истинное направление =  
Направление относительно магнитного севера + Склонение  
 $80^\circ = 75^\circ + (+5^\circ)$

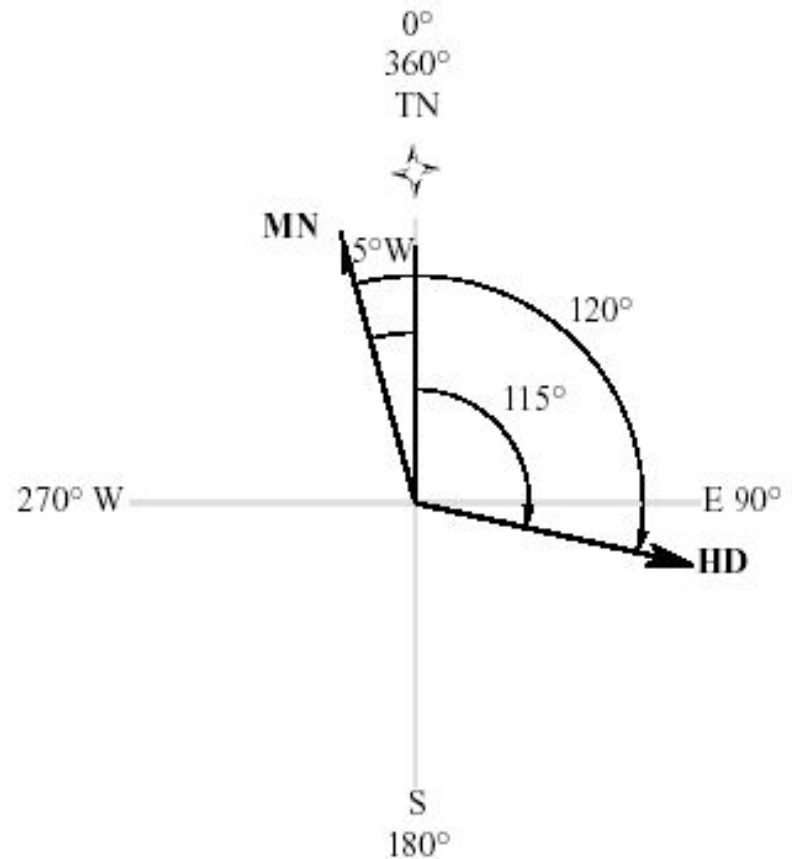




# Применение западного СКЛОНЕНИЯ

- Западное склонение означает, что магнитный север находится к западу от истинного севера
- Например, если направление скважины относительно магнитного севера составляет  $120^\circ$ , а склонение равно  $5^\circ$  (западное), то направление относительно истинного севера вычисляется следующим образом:

Истинное направление =  
Направление относительно  
магнитного севера + Склонение  
 $115^\circ = 120^\circ + (-5^\circ)$

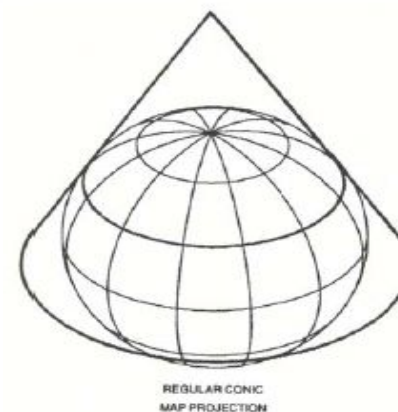
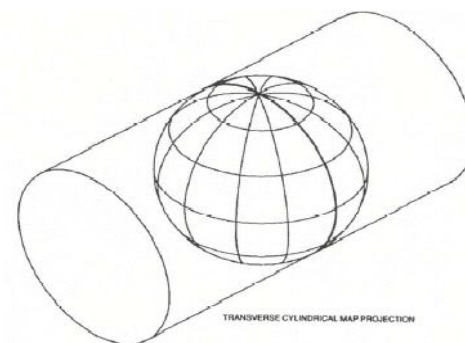


# Последствия применения неправильного склонения

- Поскольку склонение представляет собой добавление некоторого поправочного количества градусов к величине направления скважины относительно магнитного полюса, любые ошибки в склонении имеют серьезные последствия
- Например, если вы намереваетесь применить склонение  $+18^\circ$ , но вместо этого вводите значение  $-18^\circ$ , ошибка в направлении скважины составит  $36^\circ$ !
- Эта ошибка может оказаться необнаруженной до тех пор, пока не будет произведено сравнение этих данных с данными независимых геофизических исследований

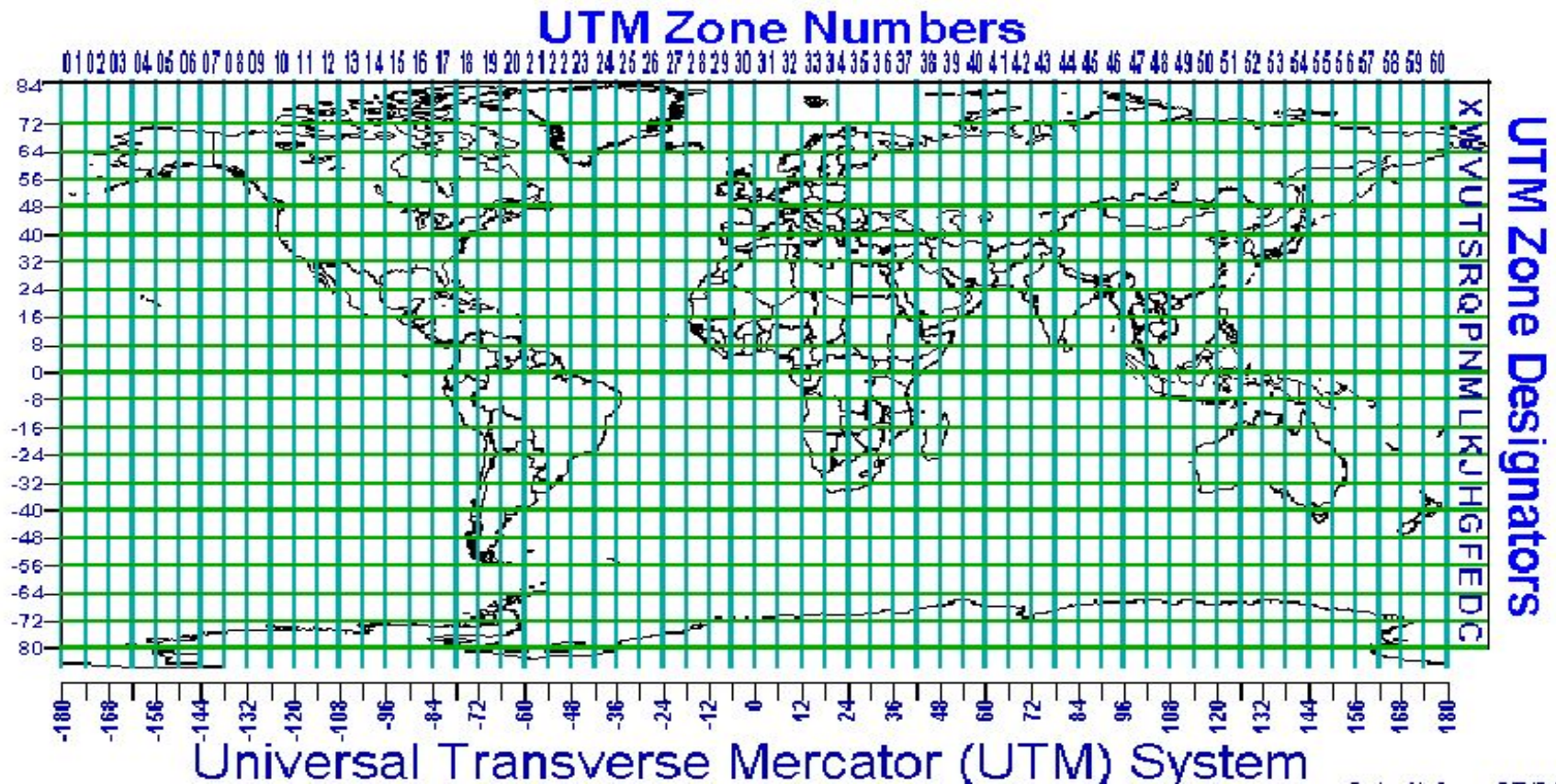
# Схождение меридианов

- Служит для коррекции искажений, возникающих при проекции криволинейной поверхности Земли на плоскость
- Величина поправки возрастает при движении от экватора к полюсам
- Существуют два распространенных метода проекции: поперечная Меркатора и коническая Ламберта



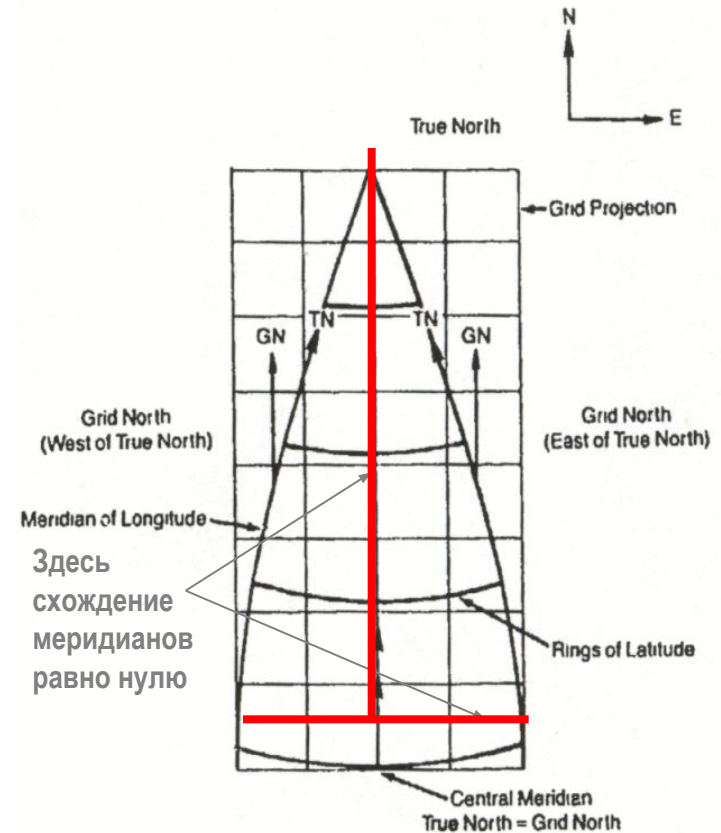
# Универсальная поперечная проекция Меркатора

- В координатной сетке Универсальной поперечной проекции Меркатора Земля разделена на 60 зон координатной сетки по 6° каждая



# Зоны координатной сетки

- Центральный меридиан делит пополам каждую  $6^\circ$  зону
- Каждый центральный меридиан имеет направление на истинный север
- Непосредственно на центральном меридиане и на экваторе величина коррекции координатной сетки равна НУЛЮ



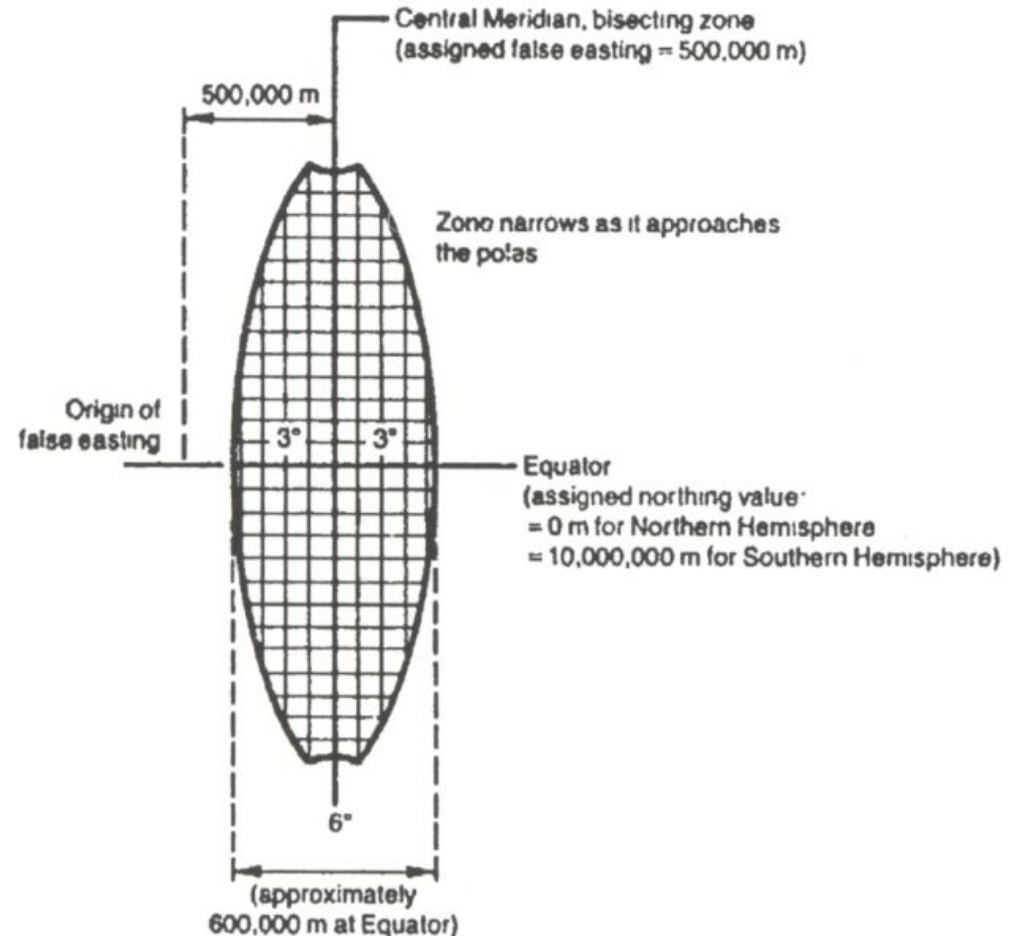
# Зоны координатной сетки

- Величина коррекции схождения возрастает по мере удаления точки от экватора и от центрального меридиана
- Величина схождения не должна превышать  $\pm 3^\circ$ , в противном случае имеет место неправильный выбор центрального меридиана



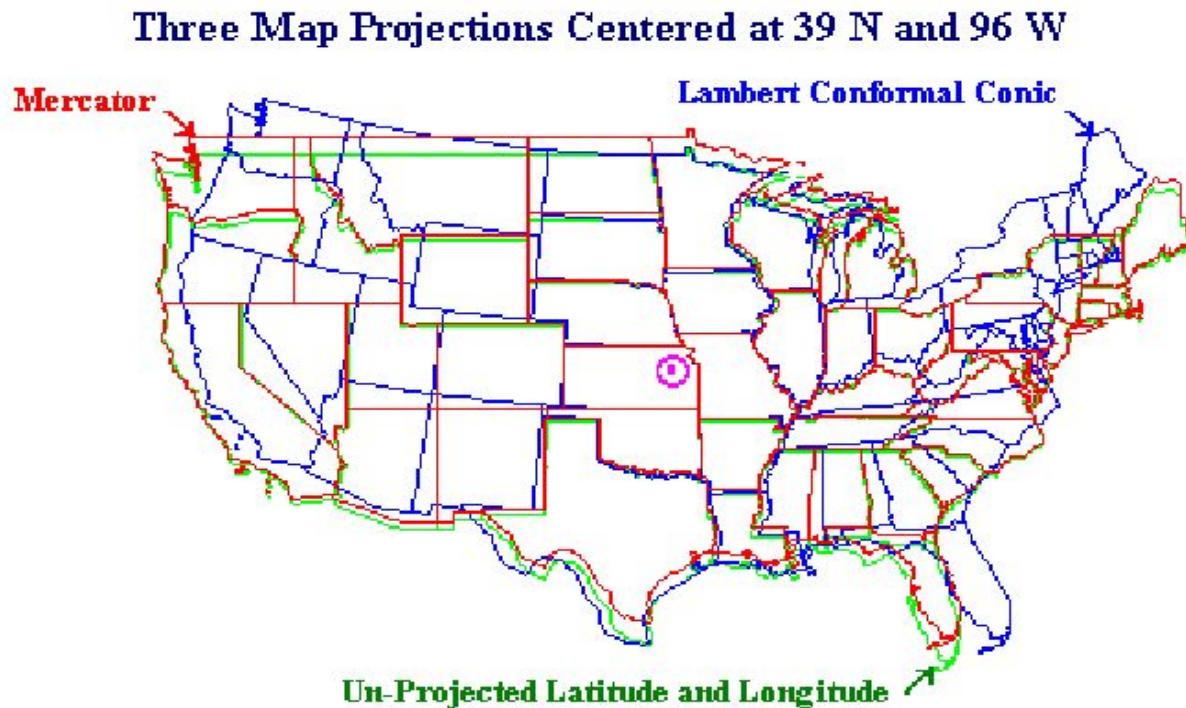
# Зоны координатной сетки

- Для прямоугольных координат в пределах каждой координатной сетки устанавливаются произвольные значения



# Сравнение проекций координатной сети

- Различные проекции дают различные результаты в отношении расстояния, формы, масштаба и площади





# Применение схождения

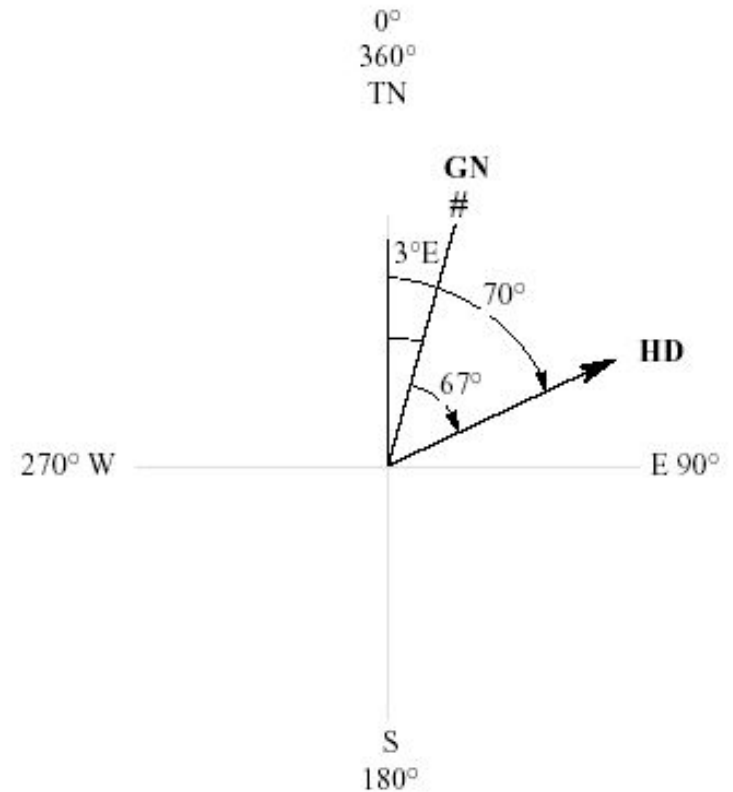
- Для преобразования направления относительно координатного севера в направление относительно истинного севера значение схождения следует вычесть:

**Направление в координатной сетке = Истинное направление - Схождение**

- Важное примечание
  - В северном полушарии восточное схождение является положительной величиной, а западное схождение - отрицательной
  - В южном полушарии восточное схождение является отрицательной величиной, а западное схождение – положительной

# Применение восточного схождения

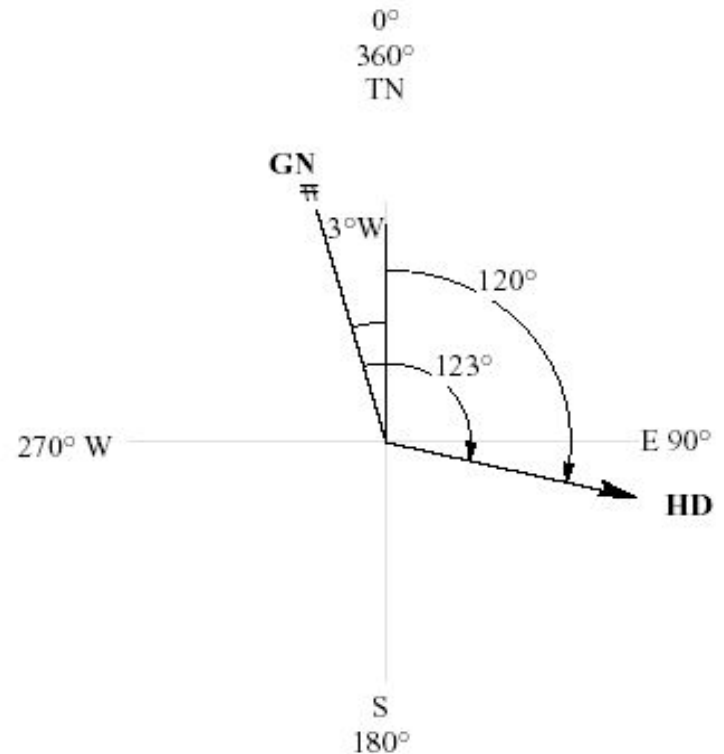
- Восточное схождение означает, что север координатной сетки находится к востоку от истинного севера
- Например, если направление скважины относительно истинного севера составляет  $70^\circ$ , а схождение равно  $3^\circ$  (восточное), то направление относительно координатной сетки вычисляется следующим образом:  
Направление в координатной сетке = Истинное направление - Схождение  
 $67^\circ = 70^\circ - (+3^\circ)$



# Применение западного схождения

- Западное схождение означает, что север координатной сетки находится к западу от истинного севера
- Например, если направление скважины относительно истинного севера составляет  $120^\circ$ , а схождение равно  $3^\circ$  (западное), то направление относительно координатной сетки вычисляется следующим образом:

Направление в координатной сетке =  
Истинное направление - Схождение  
 $123^\circ = 120^\circ - (-3^\circ)$



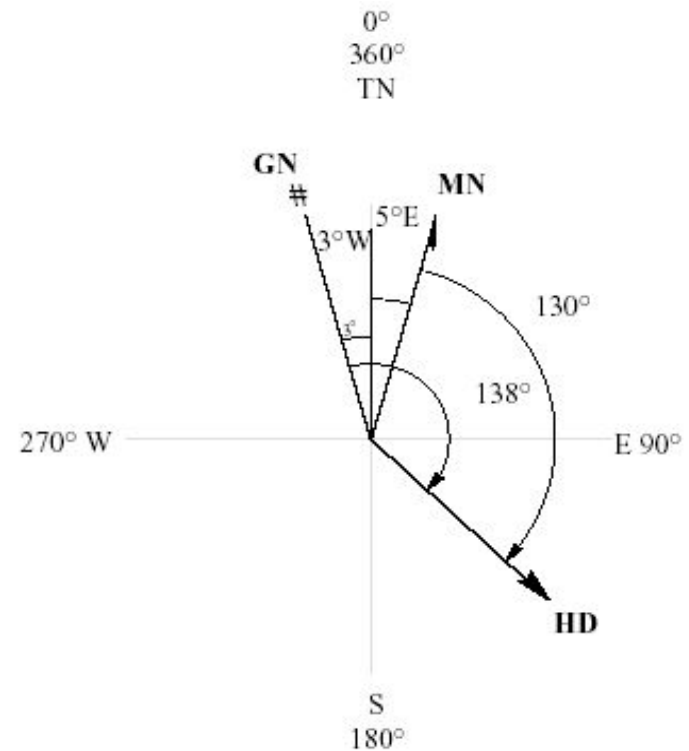
# Одновременное применение склонения и схождения

- Подстановка выражения для направления относительно истинного севера в уравнение для вычисления направления относительно координатной сетки дает следующую формулу:

Направление в координатной сетке =  
Направление относительно магнитного  
севера + Склонение - Схождение

Величина (Склонение - Схождение)  
называется Общей коррекцией

- Если магнитное склонение равно  $5^\circ$  (восточное), схождение равно  $3^\circ$  (западное), а направление относительно магнитного севера равно  $130^\circ$ , то направление в координатной сетке вычисляется следующим образом:  
 $138^\circ = 130^\circ + (+5^\circ) - (-3^\circ)$



# Пример Geodes

- **150 6-я Авеню, Калгари, Альберта**
- **Широта = 51.04794 N, Долгота = 114.0821 W**
- **Рассчитайте локальное гравитационное поле, магнитное поле, магнитное наклонение, склонение, горизонтальную составляющую и вертикальную составляющую**
- **Сравните величины сближения меридианов при использовании зон 11N и 12N в универсальной поперечной проекции Меркатора (UTM)**

# Геодезические величины

The screenshot shows the GeoDec v3.1.000 software interface. It features two panels for geodetic data, two panels for magnetic data, and a central section for file and elevation settings. The geodetic data panels are titled 'Geodetic Latitude / Longitude' and 'Geodetic Latitude / Longitude'. The magnetic data panels are titled 'Coordinate Point 1' and 'Coordinate Point 2'. The central section includes a 'Magnetic Model File' field, an 'Elevation' field, and a 'Calculate' button. The results of the calculation are displayed in a table format.

**Geodetic Latitude / Longitude**  
System: Latitude / Longitude  
Projection: Geodetic Latitude and Longitude  
Datum: WGS 1984  
Ellipsoid: WGS 1984

**Geodetic Latitude / Longitude**  
System: Latitude / Longitude  
Projection: Geodetic Latitude and Longitude  
Datum: WGS 1984  
Ellipsoid: WGS 1984

Coordinate System   Inverse >>   Convert >>   << Convert   << Inverse   Coordinate System

**Coordinate Point 1**  
Latitude: 51.0479 DEG  
Longitude: -114.0821 DEG  
Units^

**Coordinate Point 2**  
Latitude: 51.0479 DEG  
Longitude: -114.0821 DEG  
Units^

Magnetic Model File: C:\Program Files\GeoDec3\Mag Models\bggm2001.COF   Browse...

Elevation: 0 Meters   [Spud Date] Epoch: May 24, 2002

Total Gravity Field: 1.0005 g   X: 15328 nT  
Total Magnetic Field: 57744 nT   Y: 4722 nT  
Magnetic Declination: +17.122 °   Z: 55472 nT  
Dip: 73.874 °   H: 16039 nT

Calculate

# Зона 11N UTM

**GeoDec v3.1.000**

File Utilities Help

**Geodetic Latitude / Longitude**

System: Latitude / Longitude

Projection: Geodetic Latitude and Longitude

Datum: WGS 1984

Ellipsoid: WGS 1984

**Universal Transverse Mercator**

System: Zone 11N (120 W to 114 W)

Projection: Transverse Mercator/Gauss Kruger

Datum: WGS 1984

Ellipsoid: WGS 1984

Coordinate System   Inverse >>   Convert >>   << Convert   << Inverse   Coordinate System

**Coordinate Point 1**

Latitude:  DEG

Longitude:  DEG

**Coordinate Point 2**

North/South:  M

East/West:  M

Scale Factor:

Convergence:  °

Total Correction:  °

Magnetic Model File:

Elevation:  Meters   [Spud Date] Epoch:  ▾

Total Gravity Field:	<input type="text" value="1.0005"/> g	X:	<input type="text" value="15328"/> nT	<input type="button" value="Calculate"/>
Total Magnetic Field:	<input type="text" value="57744"/> nT	Y:	<input type="text" value="4722"/> nT	
Magnetic Declination:	<input type="text" value="+17.122"/> °	Z:	<input type="text" value="55472"/> nT	
Dip:	<input type="text" value="73.874"/> °	H:	<input type="text" value="16039"/> nT	

# Зона 12N UTM

**GeoDec v3.1.000**

File Utilities Help

<b>Geodetic Latitude / Longitude</b> System: Latitude / Longitude Projection: Geodetic Latitude and Longitude Datum: WGS 1984 Ellipsoid: WGS 1984	<b>Universal Transverse Mercator</b> System: Zone 12N (114 W to 108 W) Projection: Transverse Mercator/Gauss Kruger Datum: WGS 1984 Ellipsoid: WGS 1984
---	---

Coordinate System   Inverse >>   Convert >>   << Convert   << Inverse   Coordinate System

<b>Coordinate Point 1</b> Latitude: <input type="text" value="51.0479"/> DEG Longitude: <input type="text" value="-114.0821"/> DEG <input type="button" value="Units^"/>	<b>Coordinate Point 2</b> North/South: <input type="text" value="5659672.037"/> M East/West: <input type="text" value="283974.809"/> M Scale Factor: <input type="text" value="1.00017291"/> <input type="button" value="Units^"/> Convergence: <input type="text" value="-2.39788022"/> Total Correction: <input type="text" value="+19.5202"/>
---	---

Magnetic Model File:

Elevation:  Meters [Spud Date] Epoch:

Total Gravity Field: <input type="text" value="1.0005"/> g	X: <input type="text" value="15328"/> nT	<input type="button" value="Calculate"/>
Total Magnetic Field: <input type="text" value="57744"/> nT	Y: <input type="text" value="4722"/> nT	
Magnetic Declination: <input type="text" value="+17.122"/> °	Z: <input type="text" value="55472"/> nT	
Dip: <input type="text" value="73.874"/> °	H: <input type="text" value="16039"/> nT	



# Процедура статических исследований

- Пробурите до конца звена колонны или свечи бурильных труб и остановите вращение бурильной колонны
- Поднимите и опустите трубу, чтобы снять остаточный крутящий момент в бурильной колонне
- Опустите бур до точки исследования и остановите насосы
- Подождите 30-40 секунд
- Включите насосы и передайте данные на поверхность (во время передачи данных труба может медленно перемещаться)

# Источники ошибок при определении наклона в режиме реального времени

Ошибку в значение наклона, представляемое бурильщику, могут внести следующие факторы:

- Перемещение во время исследования (осевое или вращательное)
- Отказ акселерометра или связанных с ним электронных устройств
- Неправильная калибровка с отклонением от технических характеристик
- Точность измерения датчика
- Разрешающая способность при измерении в режиме реального времени

# Проверка качества определения наклона

- Соответствует ли значение наклона действиям бурильщика?
- Находится ли значение  $G_{total}$  в пределах  $\pm 0,003$  г локальной напряженности гравитационного поля?

$$G_{total} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}$$

# Источники ошибок при определении азимута в режиме реального времени

Ошибку в значение направления скважины, представляемое бурильщику, могут внести следующие факторы:

- Магнитные возмущения (осевые или поперечные)
- Выход из строя магнетометра или сопутствующей аппаратуры
- Неправильная калибровка с отклонением от технических характеристик
- Неверные исходные данные для акселерометра (наклон и данные об ориентации относительно верхней стороны входят в расчет!)
- Математическая ошибка (при наклоне  $0^\circ$  и  $90^\circ$ )
- Точность измерения датчика
- Разрешающая способность при измерении в режиме реального времени
- Географическая широта, наклон, направление скважины
- Неправильно принятые склонение и/или схождение
- Магнитные бури

# Проверка качества определения азимута

- Соответствует ли значение азимута действиям бурильщика?
- Находится ли значение  $B_{total}$  в пределах  $\pm 350$  нТл от локальной напряженности магнитного поля?

$$B_{total} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

- Находится ли значение  $G_{total}$  в пределах  $\pm 0,003$  г локальной напряженности гравитационного поля?

# Дополнительные проверки качества исследований

- Находится ли вычисленный угол магнитного наклона в пределах  $\pm 0,3^\circ$  значения локального магнитного наклона
- Для определения угла магнитного наклона (MDIP) используются входные сигналы, поступающие с акселерометров и магнетометров, но эта величина не может служить столь же чувствительным методом проверки качества, как  $G_{total}$  и  $B_{total}$
- Значение MDIP может выходить за пределы нормативных данных, даже если значения  $G_{total}$  и  $B_{total}$  за эти пределы не выходят
- ПРИМЕЧАНИЕ: Значение MDIP не следует использовать в качестве единственного критерия отбраковки результатов исследования, если  $G_{total}$  и  $B_{total}$  находятся в нормативных пределах

$$Mdip = ASIN\left( \frac{(Bx*Gx)+(By*Gy)+(Bz*Gz)}{Gtotal * Btotal} \right)$$

# Проверки качества исследований

$$G_{total} = \sqrt{Gx^2 + Gy^2 + Gz^2}$$

$$B_{total} = \sqrt{Bx^2 + By^2 + Bz^2}$$

$$Mdip = ASIN\left( \frac{(Bx*Gx)+(By*Gy)+(Bz*Gz)}{G_{total} * B_{total}} \right)$$

# Предельные критерии при проверке качества исследований

- $G_{total}$  = Локальная напряженность гравитационного поля  $\pm 0,003 \text{ g}$
- $B_{total}$  = Локальная напряженность магнитного поля  $\pm 350 \text{ нТл}$
- MDIP = Локальный угол магнитного наклона  $\pm 0,3^\circ$



# Пример оценки качества исследований №1

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах

- Локальные базисные значения:

$G_{total} = 1,000 \text{ г}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

---

INC (наклон)	AZ (Азимут)	Gtotal	Btotal	MDip
3,72	125,01	1,0012	58236	75,25

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми?

# Пример оценки качества исследований №1

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах

- Локальные базисные значения:

$G_{total} = 1,000 \text{ г}$       $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$       $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC (наклон)	AZ (Азимут)	Gtotal	Btotal	MDip
3,72	125,01	1,0012	58236	75,25
	+0.0012	-119	-0.05	

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми? ДА / ДА

# Пример оценки качества исследований №2

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах
- Локальные базисные значения:  
 $G_{total} = 1,000 \text{ г}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC (наклон)	AZ (Азимут)	Gtotal	Btotal	MDip
5.01	127.33	1.0009	58001	74.84

---

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми?

# Пример оценки качества исследований №2

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах
- Локальные базисные значения:  
 $G_{total} = 1,000 \text{ г}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC (наклон)	AZ (Азимут)	Gtotal	Btotal	MDip
5.01	127.33	1.0009	58001	74.84
	+0.0009	-354	-0.36	

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми? ДА /НЕТ

# Пример оценки качества исследований №3

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах
- Локальные базисные значения:  
 $G_{total} = 1,000 \text{ г}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC (наклон)	AZ (Азимут)	Gtotal	Btotal	MDip
8.52	125.34	0.9953	58150	74.28

---

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми?

# Пример оценки качества исследований №3

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах
- Локальные базисные значения:  
 $G_{total} = 1,000 \text{ g}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC (наклон)	AZ (Азимут)	Gtotal	Btotal	MDip
8.52	125.34	0.9953	58150	74.28
	-0.0047	-205	-0.92	

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми? НЕТ / НЕТ

# Пример оценки качества исследований №4

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах
- Локальные базисные значения:  
 $G_{total} = 1,000 \text{ g}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC	AZ	Gtotal	Btotal	MDip
17.13	129.88	1.0120	57623	73.44

- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми?

# Пример оценки качества исследований №4

- Исходя из следующих данных определите, находятся ли результаты каждой проверки качества в допустимых пределах
- Локальные базисные значения:  
 $G_{total} = 1,000 \text{ g}$      $B_{total} = 58355 \text{ нТл}$      $M_{dip} = 75,20^\circ$

INC	AZ	Gtotal	Btotal	MDip
17.13	129.88	1.0120	57623	73.44
		+0.0120	-732	-1.76

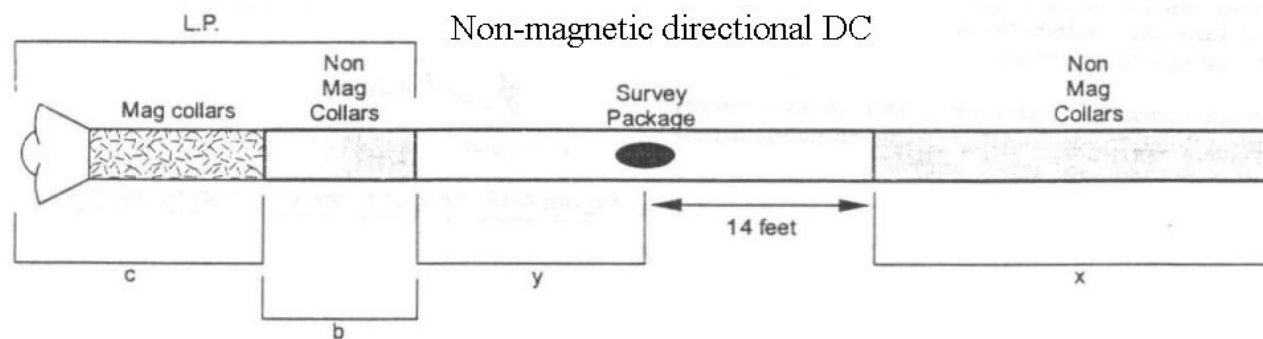
- Исходя из ваших наблюдений, являются ли значения наклона и азимута приемлемыми? НЕТ / НЕТ



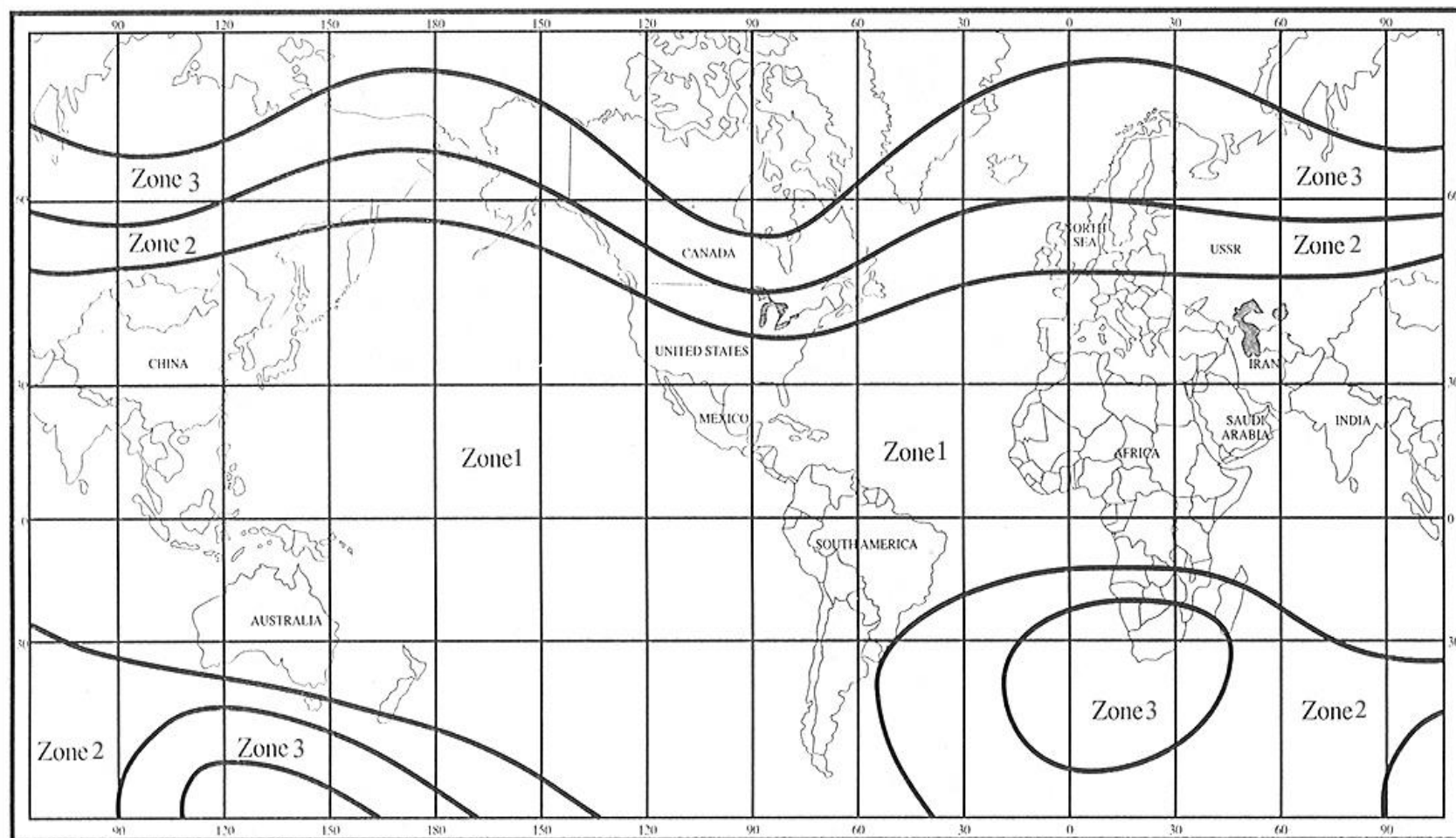
# Размещение Блока с

## Инклинометрическим датчиком в НУБТ

- Размещение датчика в НУБТ на определенном расстоянии используется для минимизации магнитной интерференции бурильной колонны



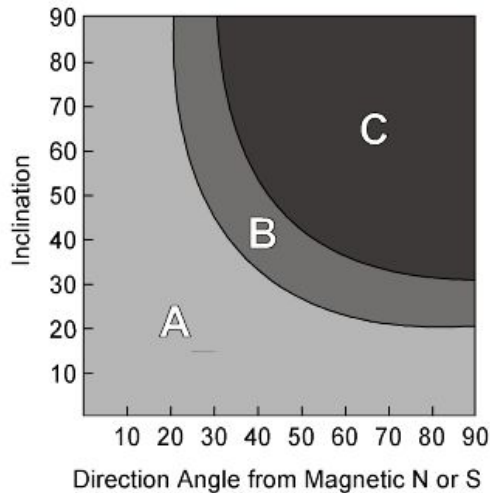
# Мировая карта зон, применяемых при выборе НУБТ



# Все зоны

## Empirical Data Charts for Nonmagnetic Drill Collar Spacing

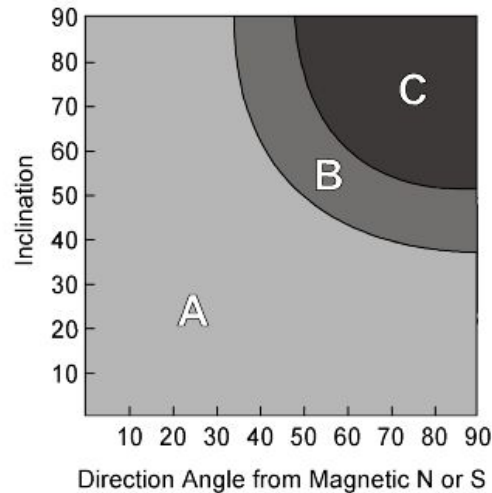
ZONE 1



### Compass Spacing

Area A 18' collar: 1' to 2' below center  
 Area B 30' collar: 3' to 4' below center  
 Area C tandem 18'+25': center of bottom collar

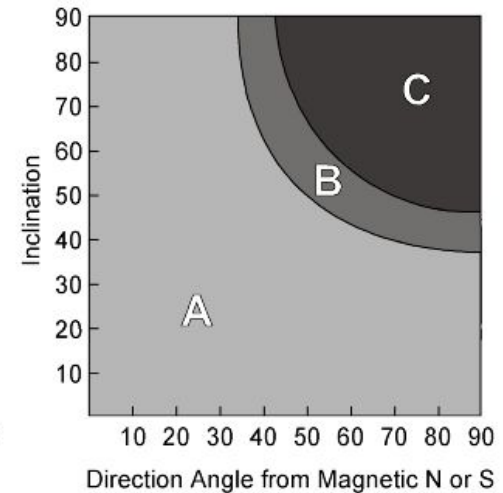
ZONE 2



### Compass Spacing

Area A 30' collar: 3' to 4' below center  
 Area B 60' collar: at center  
 Area C 90' collar: at center

ZONE 3



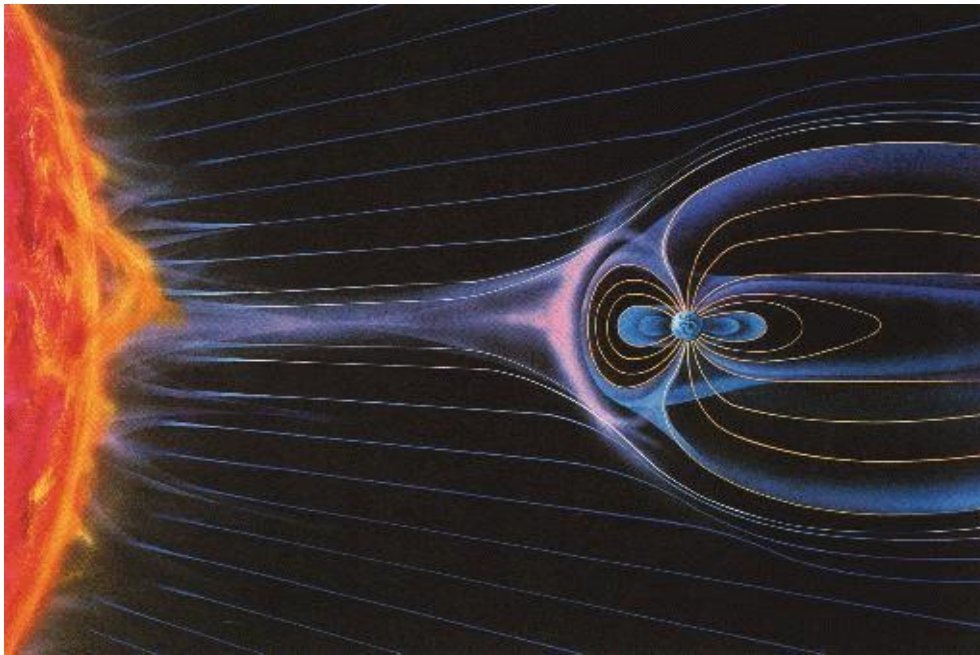
### Compass Spacing

Area A 60' collar: at center  
 Area B 60' collar: 8' to 10' below center  
 Area C 90' collar: at center

# Космический магнетизм

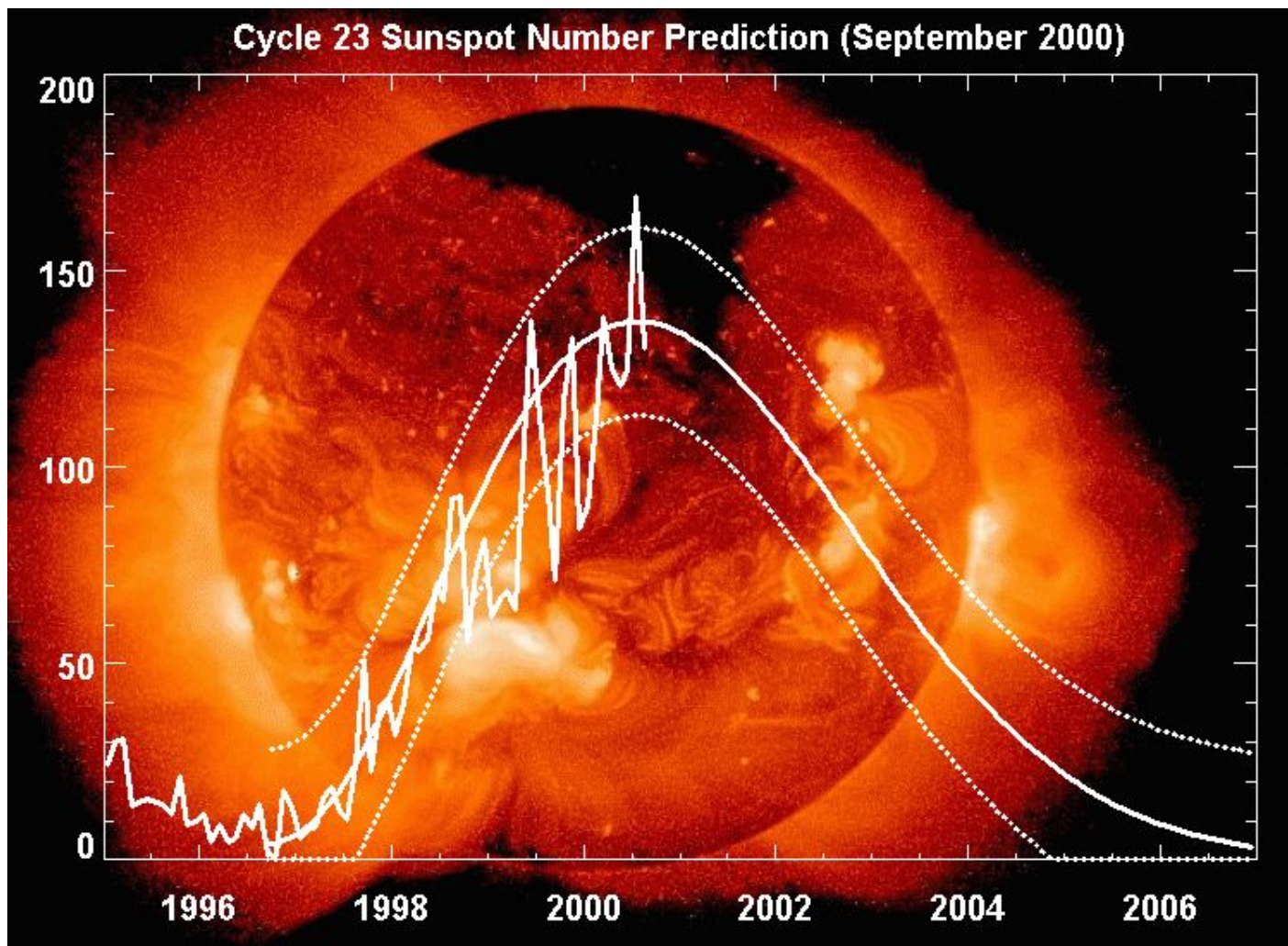
- Магнитные бури, солнечные вспышки
- Наиболее распространенный и интенсивный на более высоких широтах
- Может привести к нарушению спутниковой и сотовой связи
- Может повлиять на способность инклинометрического датчика давать точные данные

# Флуктуации магнитного поля



- Магнитные бури приводят к нарушению обычного магнитного поля земли
- Солнце является причиной многих таких нарушений

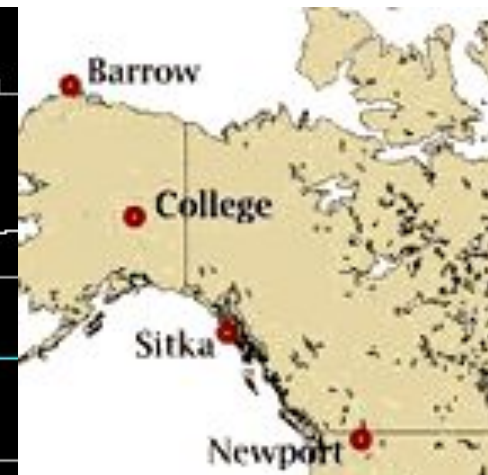
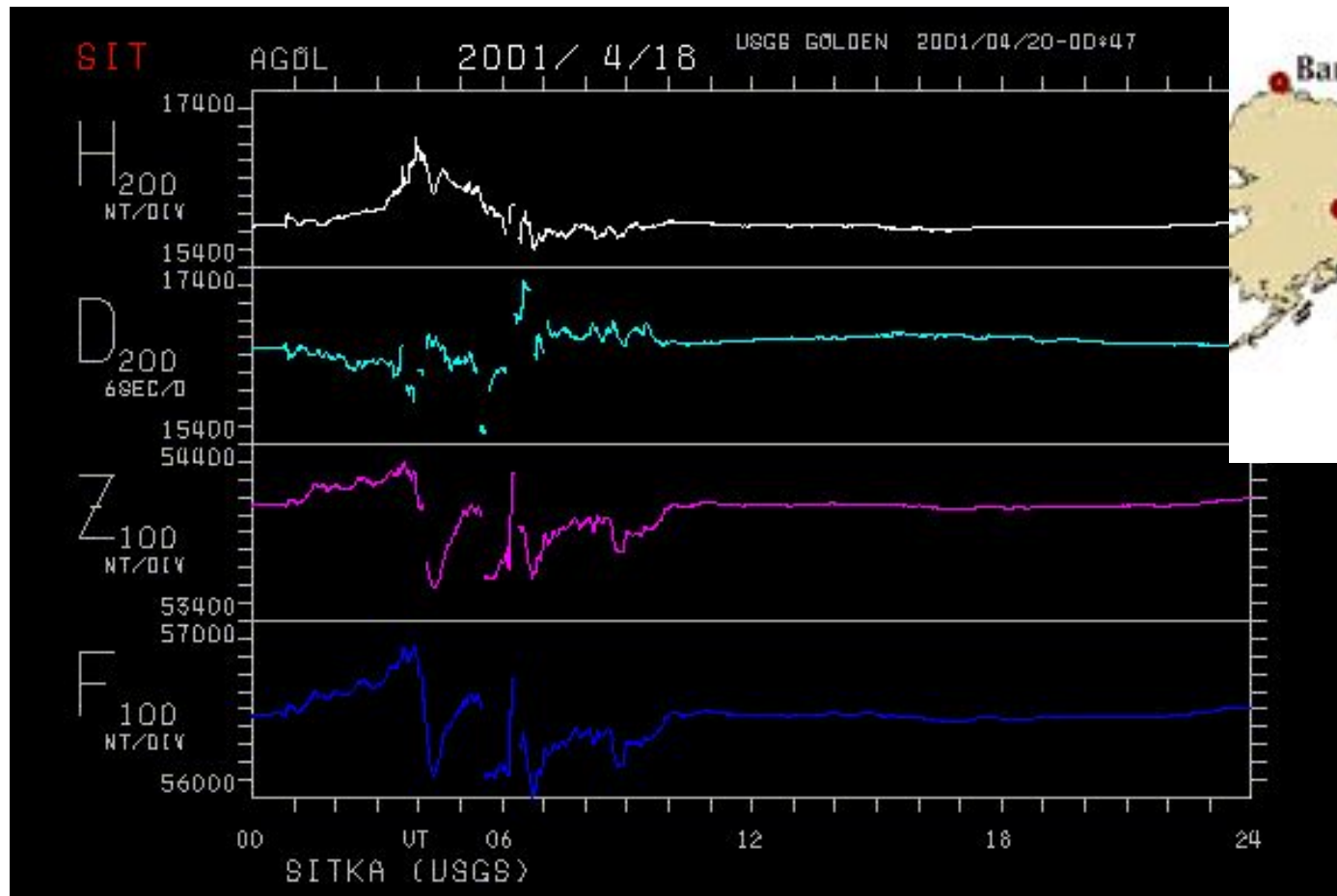
# Циклическое изменение за период в 11 лет



# In-Field Referencing (IFR)

- Если замер локального магнитного поля можно сделать в реальном времени и послать данные на наземный компьютер, то данные изменения могут быть использованы для поправки на «космическую» интерференцию

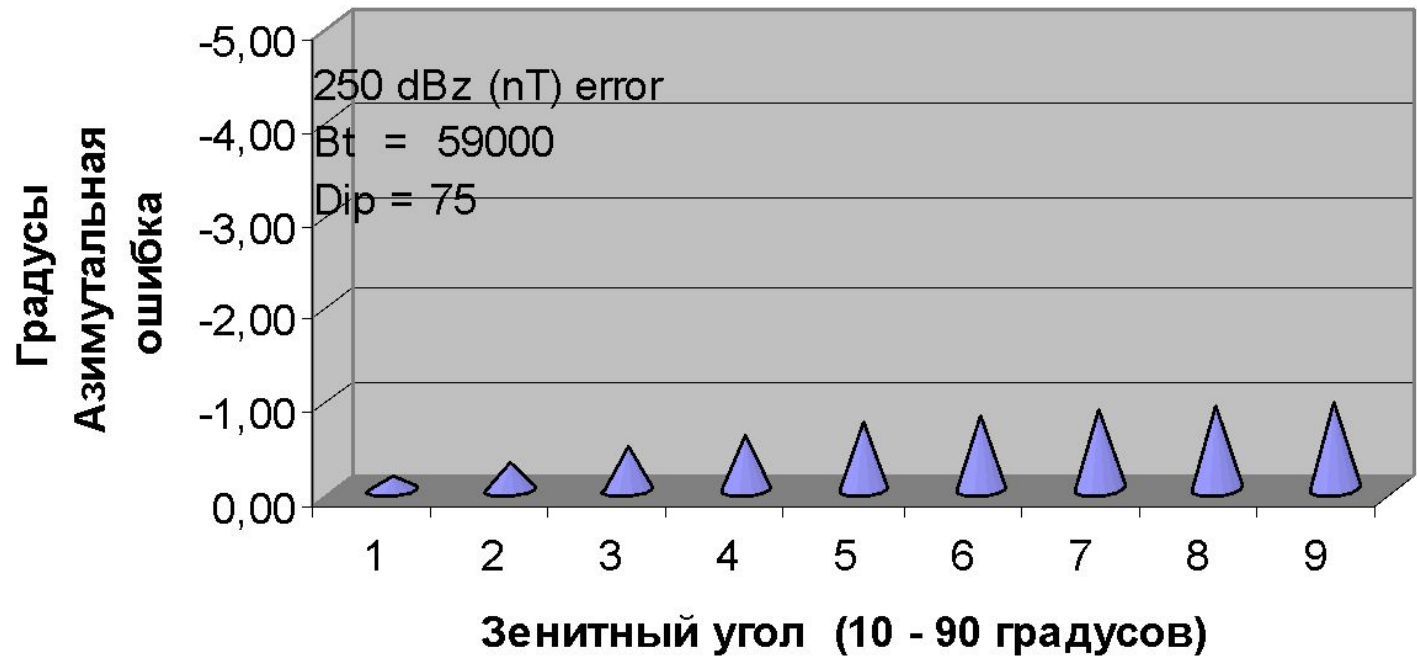
# Солнечная активность





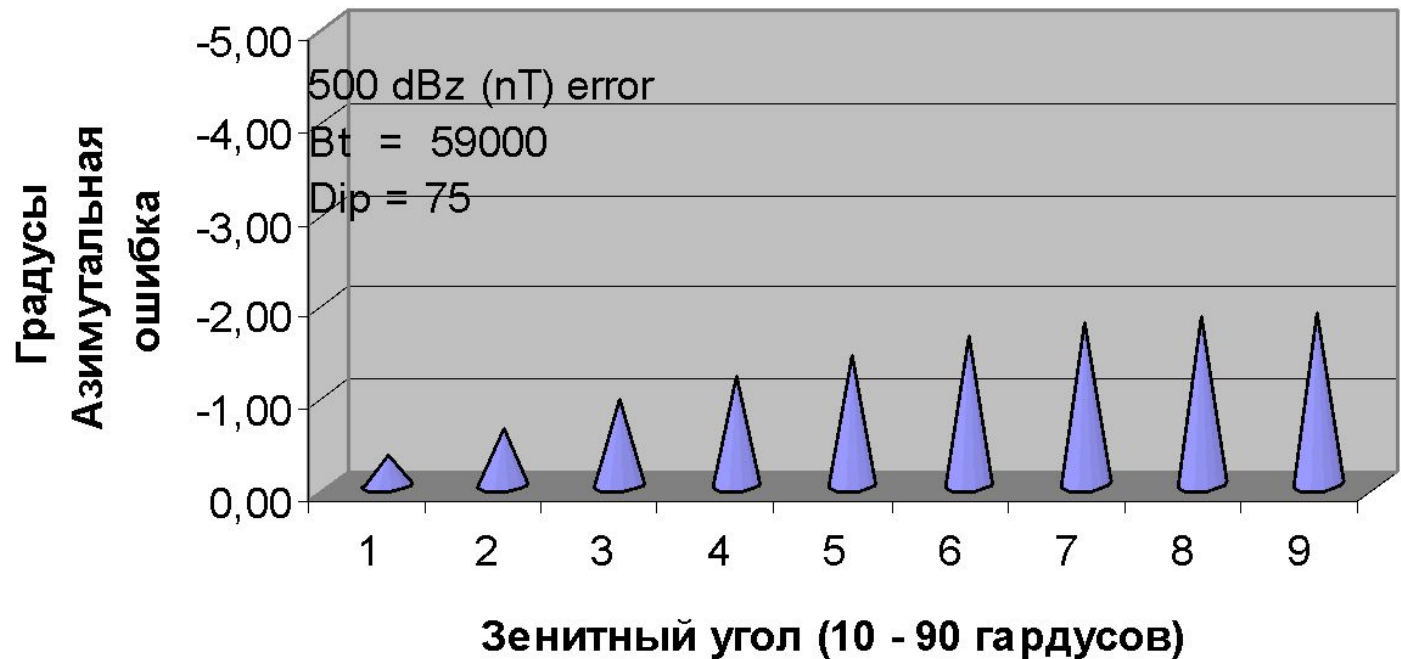
# Азимутальная ошибка - Магнитный

Аз. ошибка в длинной УБТ при 90 град. на Восток  
или Запад



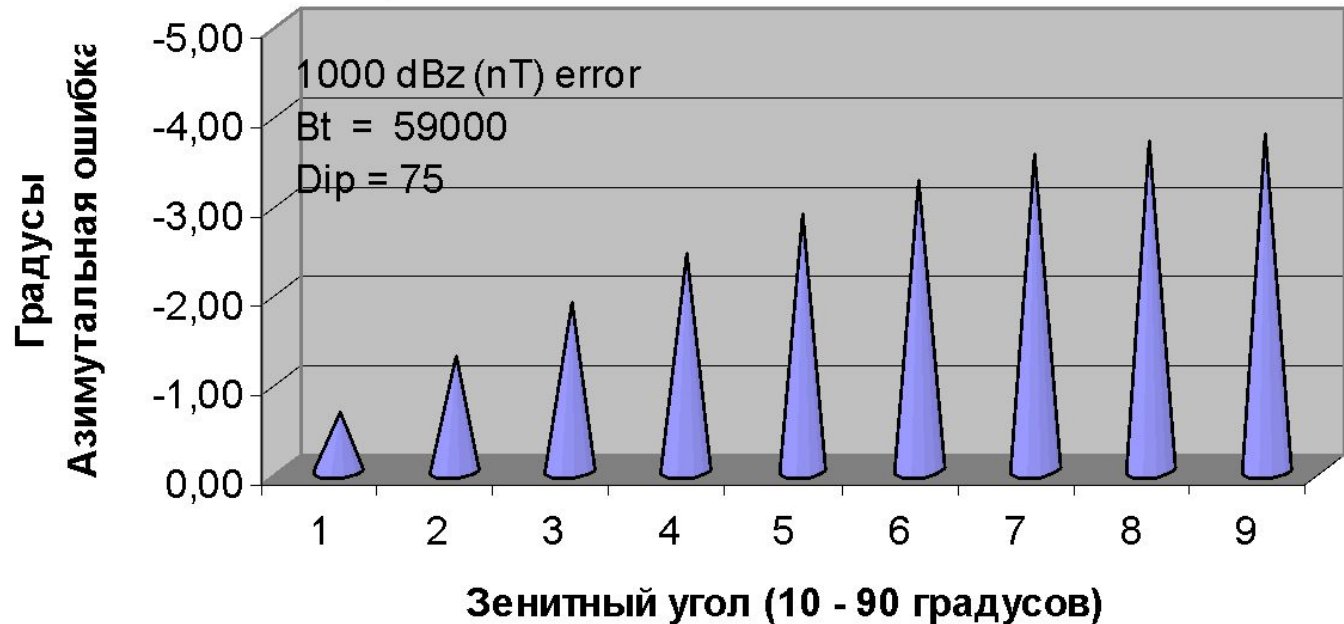
# Азимутальная ошибка - Магнитный

Азимутальная ошибка в длинной УБТ при 90 град.на  
восток или запад



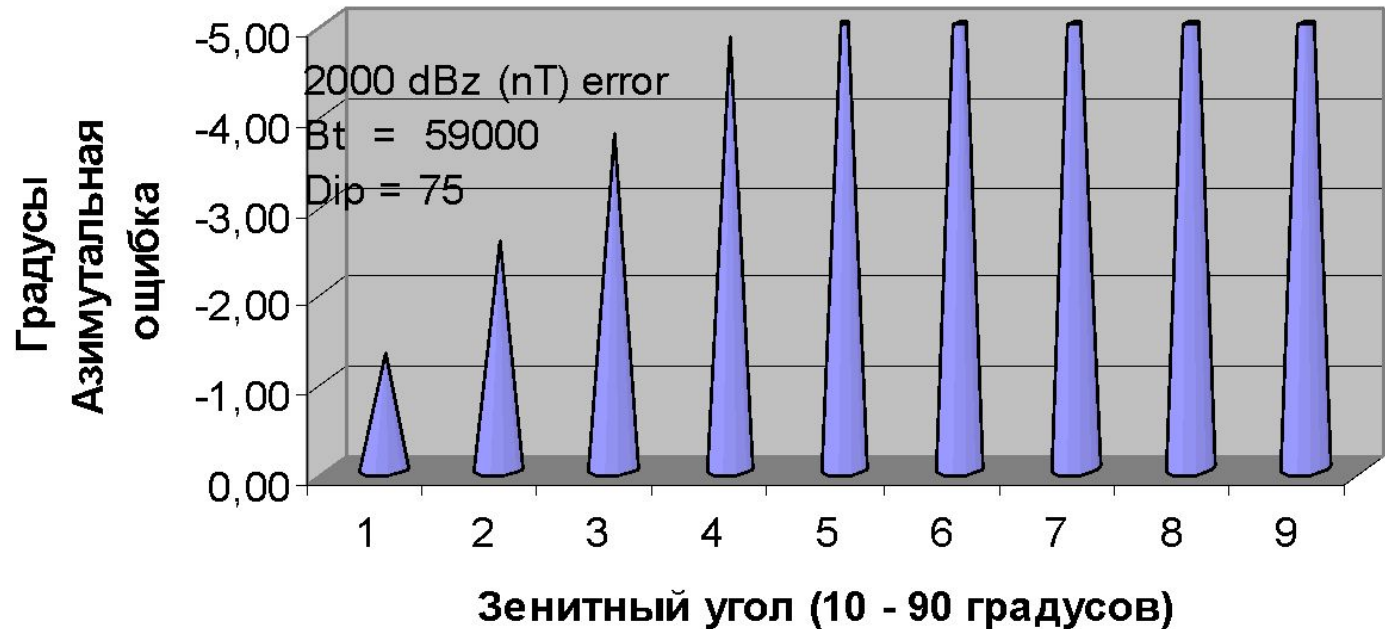
# Азимутальная ошибка - Магнитный

Азимутальная ошибка в длинной УБТ при 90 град. на Восток или Запад



# Азимутальная ошибка - магнитный

Азимутальная ошибка в длинной УБТ при 90 градусах на или Запад



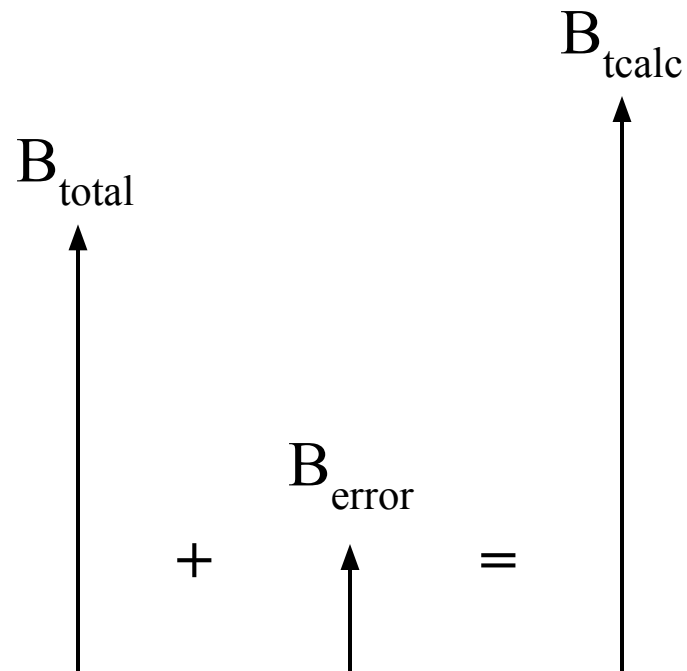
**Источники ошибок**  
**инклинометрических замеров**

**\*\*Инклинометр\*\***

# Источники ошибок

## ИНКЛИНОМЕТРИИ

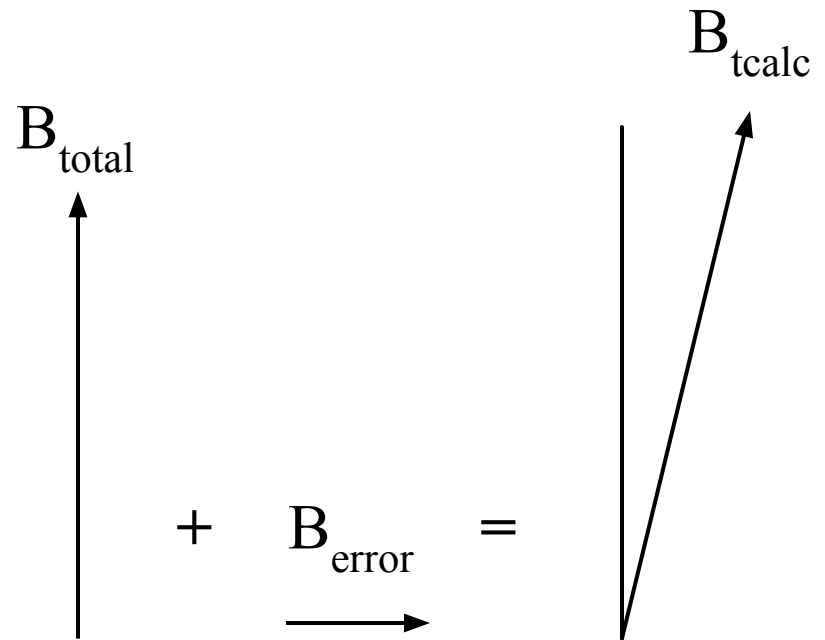
- Направление  $B_{total}$  - север-юг
- $B_{error}$  – это магнитная интерференция, влияющая на замер по оси Z; в этом случае ошибка по тому же самому направлению, что и магнитное поле земли
- Суммирование векторов дает расчетную величину  $B_{total}$ , которая больше чем теоретическое поле, однако, направления остаются без изменения



# Источники ошибок

## ИНКЛИНОМЕТРИИ

- Направление  $B_{total}$  север-юг
- $B_{error}$  – это магнитная интерференция в буровой трубе, которая влияет на замер по оси Z; в этом случае погрешность перпендикулярна магнитному полю земли
- Суммирование векторов дает расчетную величину  $B_{total}$  которая больше чем теоретическое поле, и направление, которое ошибочно



# Источники ошибок ИНКЛИНОМЕТРИИ

“Магнитная интерференция в 2000 наноТесла (нТ) от “горячего” забойного двигателя, который расположен очень близко к инклинометрическому датчику не повлияет столь сильно на расчетную величину направления скважины (азимут), если бурить в направлении на север или юг в отличие от ситуации, когда бурение осуществляется в направлении восток или запад”

**ВЕРНО ЛИ ДАННОЕ ТВЕРЖДЕНИЕ???**

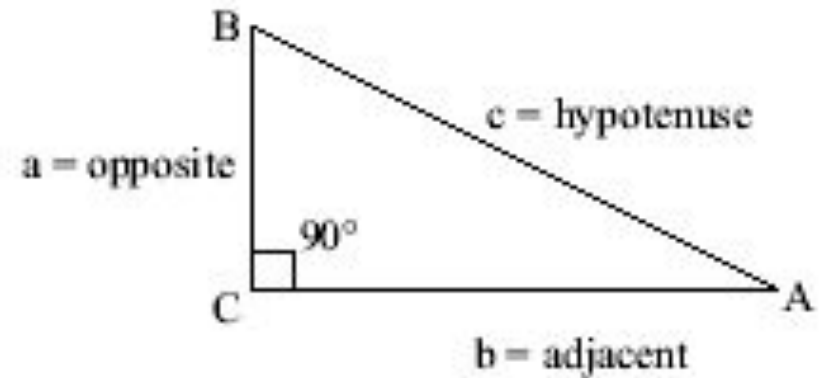
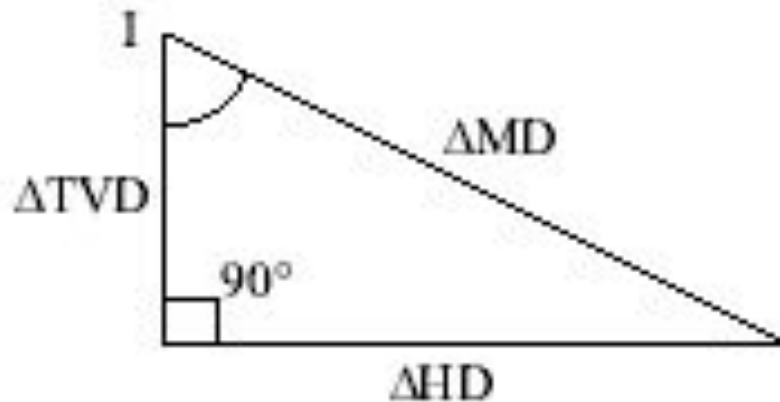


# Методы обсчета результатов исследований

- После проверки качества определения значений наклона, направления скважины и измеренной глубины в данной точке замера данные передаются бурильщику
- Обсчеты результатов исследований выполняются между точками замера для представления бурильщику изображения скважины в вертикальной и горизонтальной плоскостях
- Если исходные параметры идентичны, расчетные значения в отчете об исследовании должны соответствовать данным, полученным бурильщиком

# Методы обсчета результатов исследований

- Для облегчения понимания процедуры обсчета результатов исследований используются основные тригонометрические правила

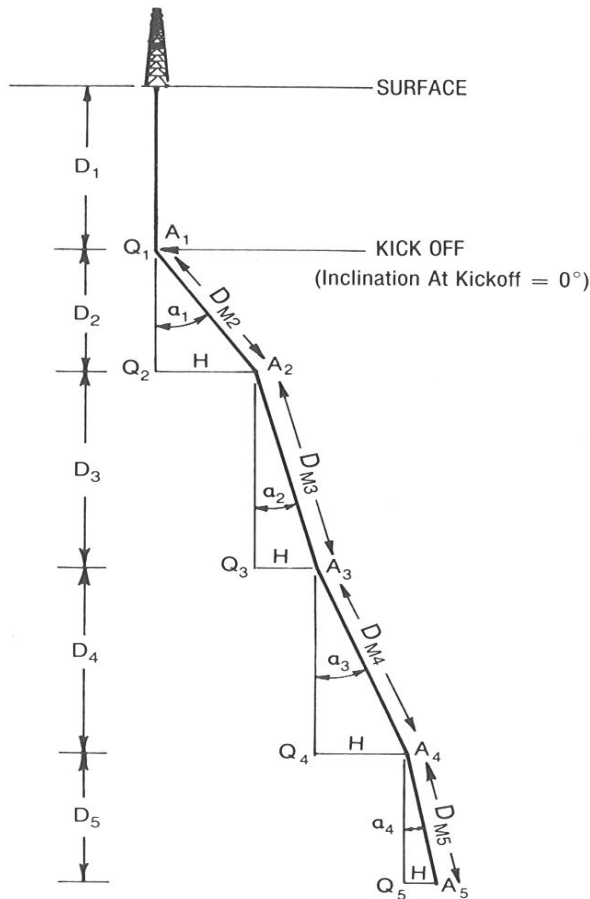


$$\sin A = \frac{a}{c} \text{ or } \sin A = \frac{\text{opposite}}{\text{hypotenuse}}$$

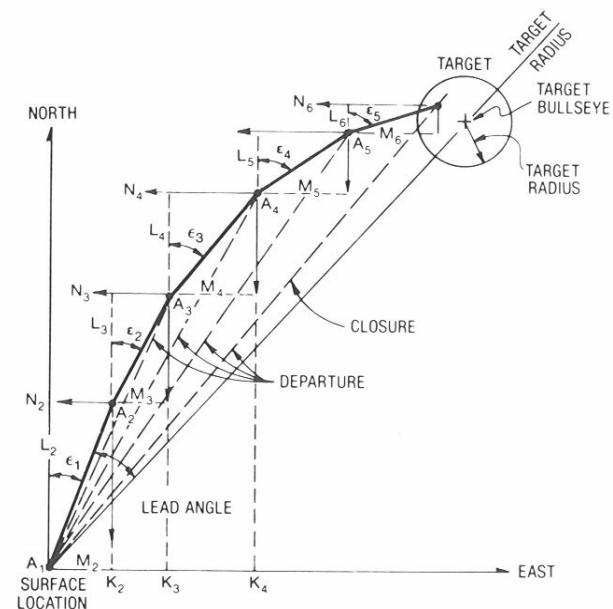
$$\cos A = \frac{b}{c} \text{ or } \cos A = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypotenuse}}$$

$$\tan A = \frac{a}{b} \text{ or } \tan A = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}}$$

# Метод вычисления среднего угла

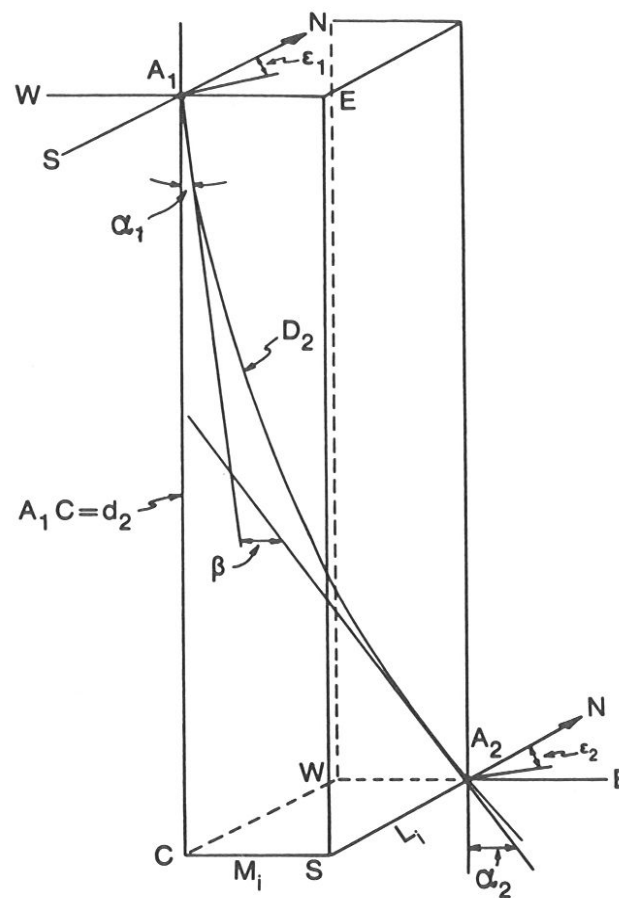


- Предполагает, что отрезки между точками измерений являются прямыми линиями
- Достаточно точный и подходящий для ручных вычислений метод



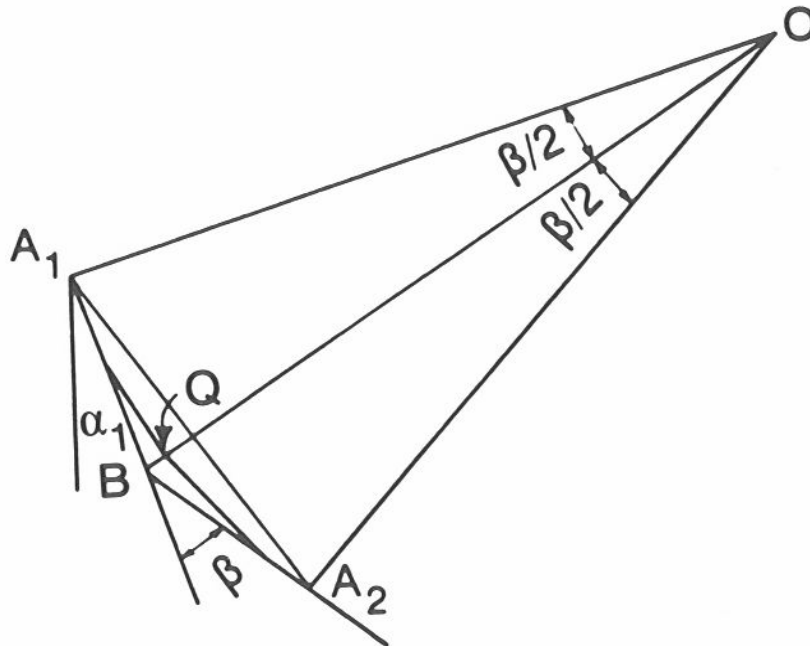
# Метод вычисления радиуса кривизны

- В качестве отрезков между точками измерений используются кривые “наилучшего соответствия” (с фиксированным радиусом кривизны)
- Более точно отражает форму ствола скважины, по сравнению с методом вычисления среднего угла



# Расчеты методом минимальной кривизны

- Метод использует несколько точек, лежащих между точками измерения, для лучшего отражения формы ствола скважины
- Имеет несколько большую точность по сравнению с методом вычисления радиуса кривизны

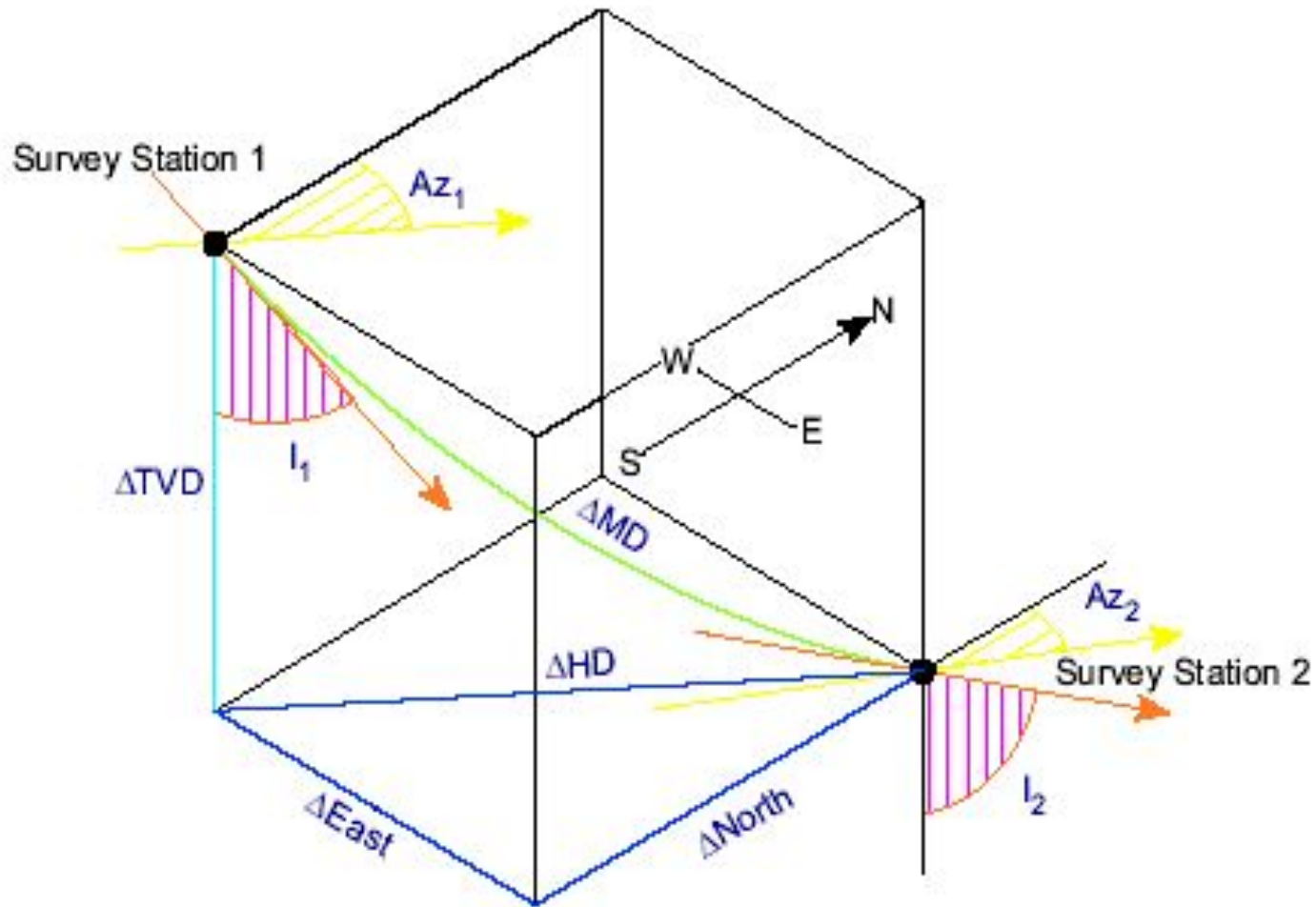


# Сравнение методов вычислений

- Общая глубина измерения 5985 футов
- Макс. угол наклона 26°
- Вертикальная скважина до глубины 4064 фута, затем ствол скважины имеет наклон 26° до 5985 футов
- Интервалы измерений приблизительно 62 фута

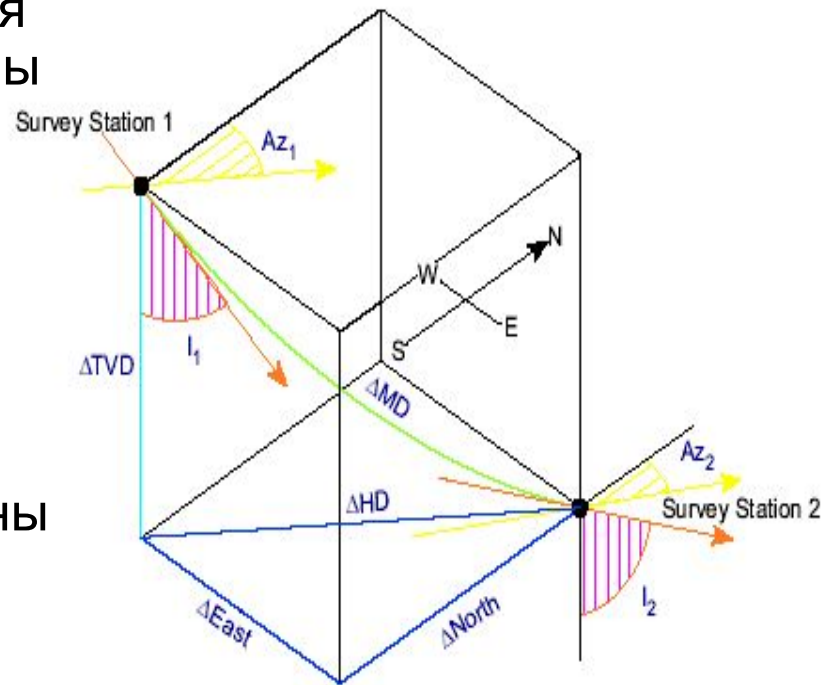
Calculation Method	TVD (Difference from Actual)	Displacement (Difference from Actual)
Tangential	-3.34 feet	+13.94 feet
Average Angle	-0.00 feet	-01.06 feet
Radius of Curvature	-0.03 feet	-00.68 feet
Minimum Curvature	-0.00 feet	-00.00 feet

# Терминология измерений



# Терминология измерений

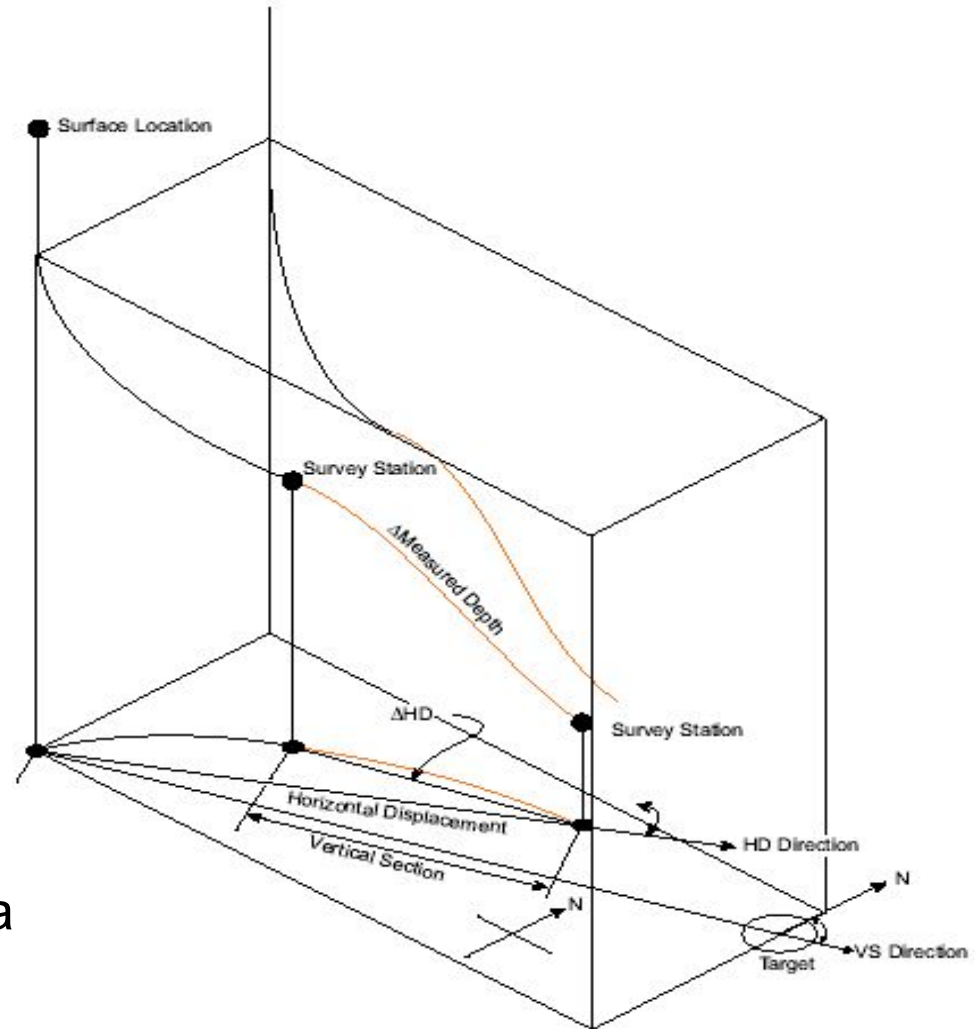
- Точка замера
  - Позиция на стволе скважины, в которой производятся измерения параметров направления скважины
- Фактическая глубина по вертикали (TVD)
  - Проекция ствола скважины на вертикальную плоскость
- Измеренная глубина (MD)
  - Фактическое расстояние, пройденное вдоль ствола скважины
- Длина трассы (CL)
  - Измеренное расстояние, пройденное между точками замера





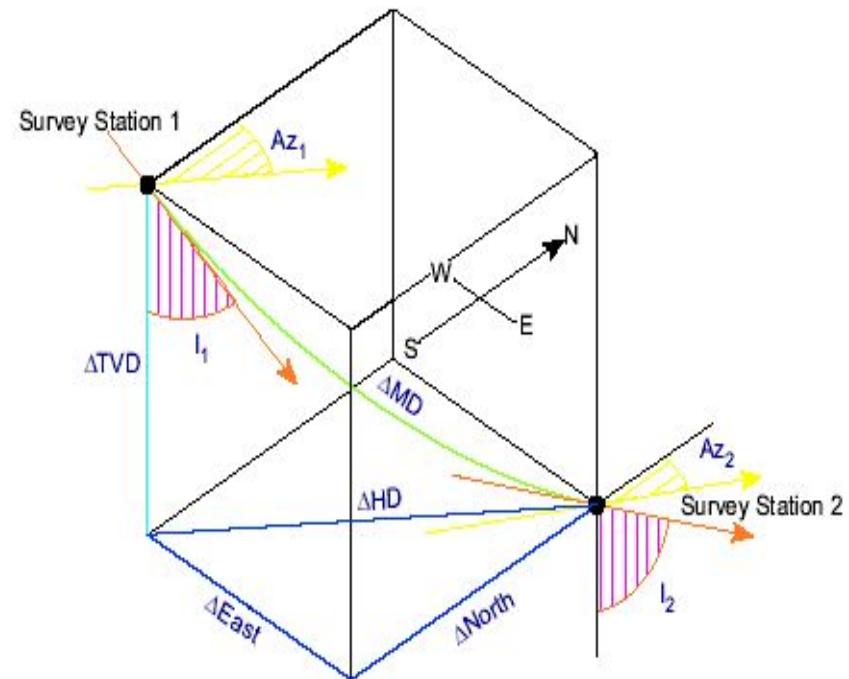
# Терминология измерений

- Целевое направление
  - Предполагаемое направление ствола скважины
- Вертикальный разрез (VS)
  - Проекция горизонтального смещения на целевое направление
  - Расстояние по горизонтали, пройденное от устья скважины до целевой точки вдоль целевого направления
- Степень искривления (DLS)
  - Нормализованная оценка (например, градусов/100 футов) общей кривизны фактической траектории скважины между двумя соседними точками замера



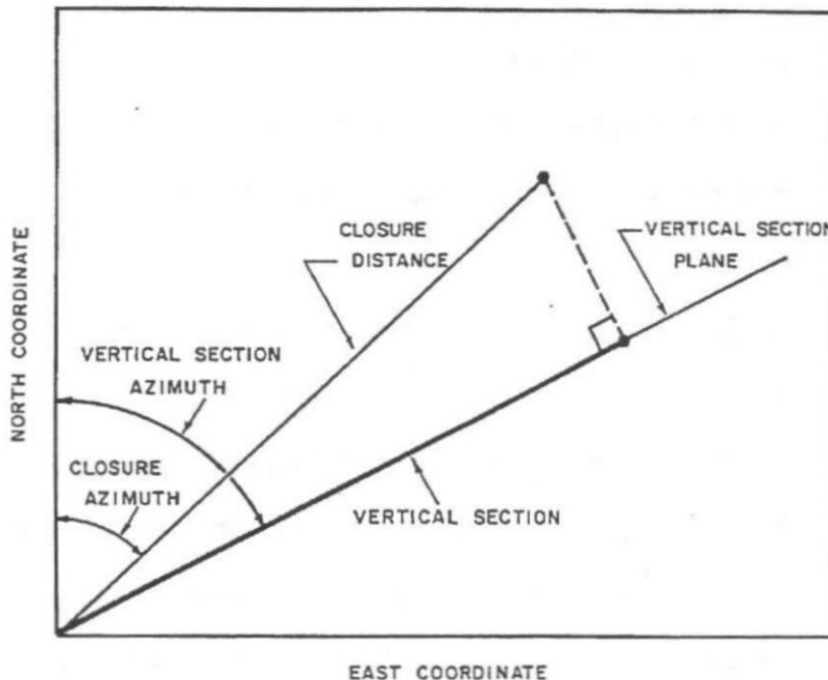
# Терминология измерений

- Горизонтальное смещение (HD)
  - Проекция ствола скважины на горизонтальную плоскость
  - Расстояние по горизонтали от устья скважины до последней точки замера
  - Также называется “Невязка”
- Широта (северная)
  - Расстояние, пройденное в направлении север-юг в горизонтальной плоскости
  - Направление на север является положительным, направление на юг - отрицательным
- Отклонение (к востоку)
  - Расстояние, пройденное в направлении восток-запад в горизонтальной плоскости
  - Направление на восток является положительным, направление на запад - отрицательным



# Расчет вертикального разреза

- Для расчета вертикального разреза должны быть известны невязка (горизонтальное смещение), направление невязки и целевое направление
- Вертикальный разрез является произведением горизонтального смещения и разности между направлением невязки и целевым направлением



$$VS = HD * \cos$$

(Целевое направление – направление невязки???)

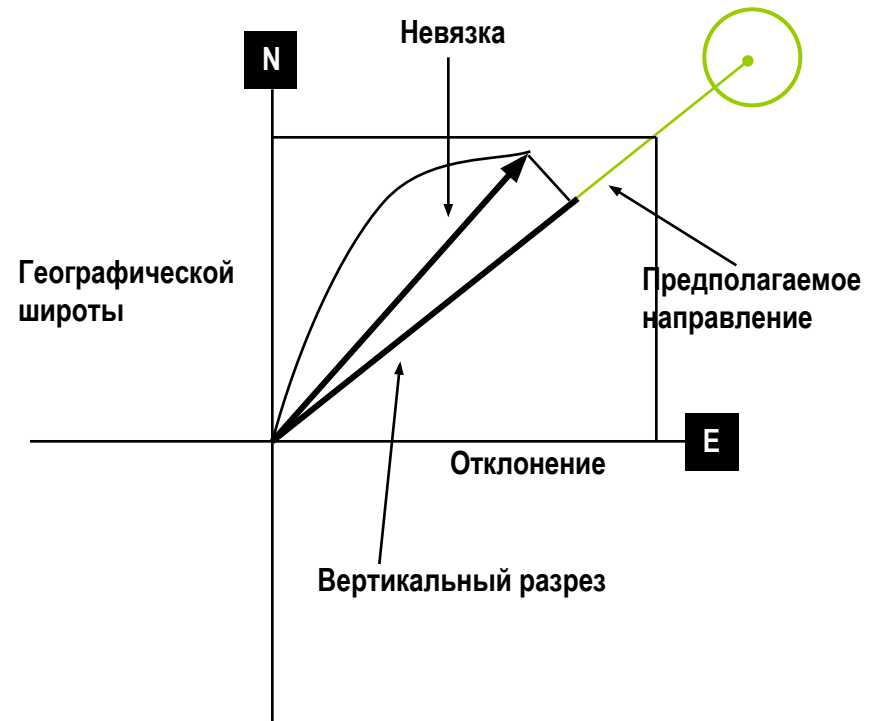
# Вертикальная проекция

- В вертикальной проекции бурильщик строит кривую зависимости фактической глубины по вертикали (TVD) от вертикального разреза (VS)
- Чтобы попасть в целевую точку в этой плоскости, ствол скважины должен проходить через целевую толщину по вертикали в направлении вертикального разреза



# Горизонтальная проекция

- В горизонтальной проекции бурильщик строит кривую зависимости широты от отклонения
- Чтобы попасть в целевую точку в этой плоскости, ствол скважины должен проходить через горизонтальный целевой радиус в предполагаемом целевом направлении



# Глубина скважины по вертикали (TVD)

- Глубина по вертикали относится к фактической глубине пробуренного ствола спроектированной на вертикальную плоскость.

