

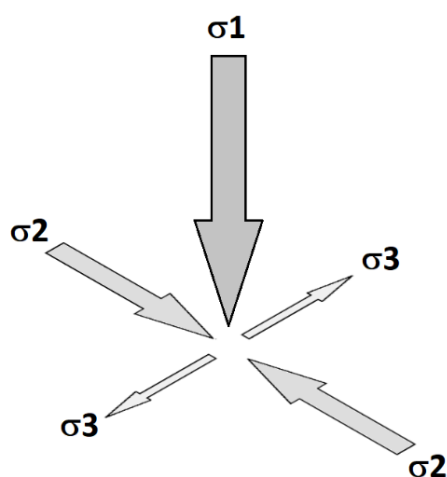
Дополнительно о структурных журналах Structure Logs и напряжениях

В прошлой статье мы рассматривали несколько структурных каротажных диаграмм, начиная с тех, которые описывают осадочный бассейн. Обычно интересует только описание каротажом структуры, но для того, чтобы получить больше информации из данных, надо понимать значение и влияние НАПРЯЖЕНИЙ (STRESS) в геологическом контексте.

Напряжения, вертикальное и горизонтальное (нормальное или сдвигающее), по сути, является явлением, вызванным гравитацией. Литосфера Земли движется, пытается исправить некоторый гравитационный дисбаланс и лунные притяжения, натягивающие земную кору. Напряжение заставляет породы складываться, перемещаясь вверх или вниз, поскольку σ_1 перестает быть нормальной вертикальной нагрузкой и становится поперечной силой. Боковое напряжение заставляет осадочные породы складываться и, в конечном итоге, разрушаться.

При проведении каротажа проводится **измерение угла наклона (dipmeter)** или, обычно при каротажных исследованиях полезных ископаемых, **телевьювер** для измерения поверхностей и разрывных нарушений, пересекаемых скважиной. Анализ этих измерений с помощью диаграмм «головастиков», диаграмм роз и полярных диаграмм позволяет дать геологу довольно объективную картину структурной обстановки.

Как правило, осадочные породы начинаются с плоской поверхности, близкой к горизонтальной, в зависимости от того, находитесь вы в верхней или (более плоской) нижней части.



Сигма 1 (σ_1): ориентация максимального сжимающего напряжения

Сигма 2 (σ_2): ориентация промежуточного напряжения сжатия

Сигма 3 (σ_3): ориентация на наименьшее сжимающее напряжение

Типичная ситуация, когда вертикальная сжимающая нагрузка превышает поперечное напряжение, одно из которых является растягивающим.

Породы в плоских осадочных толщах испытывают вертикальное напряжение, вызванное силой тяжести и массой, которая увеличивается с

глубиной. Это может быть максимальная сила (σ_1), но есть и другие силы, перемещающие континенты, поэтому в какой-то момент горная масса будет подвергаться боковому напряжению.

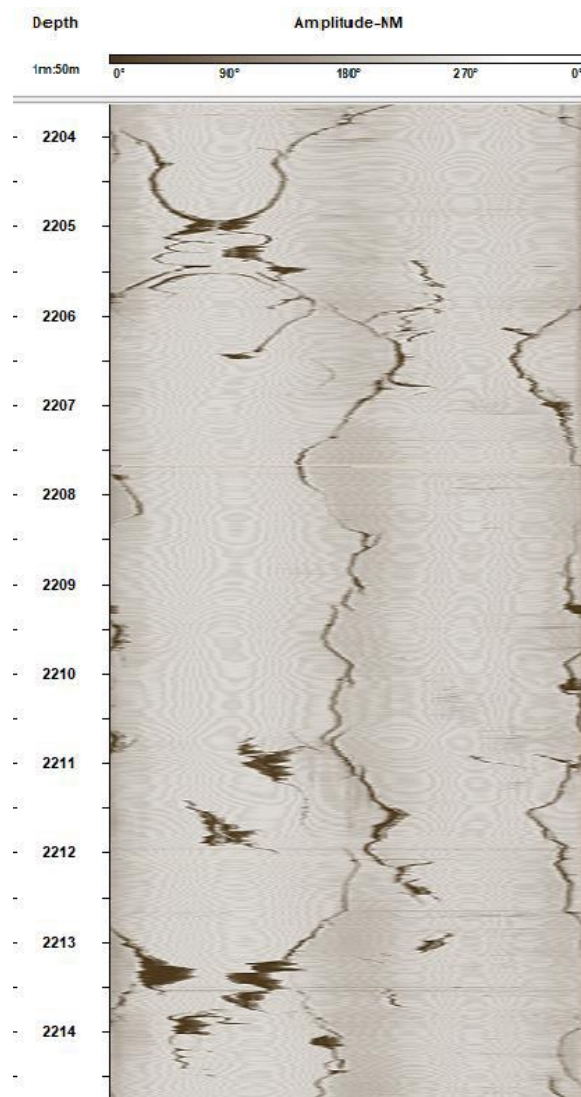
Бурение вызвало субвертикальные трещины растяжения, ориентированные по напряжению.

Там, где преобладают горизонтальные сжимающие силы, вертикальный тензор понижается до σ_2 или σ_3 , породы будут выталкиваться вверх либо за счет взброса, либо за счет складчатости, либо и того, и другого. Если больше пород займет исходное пространство, мы получим гору.

Полезно знать ориентацию двух тензоров горизонтальных напряжений, по крайней мере, для текущих режимов.

Используя телевиьювер, каротаж описывает осадочные пласты, их ориентацию и толщину, а также трещины, как естественные, так и вызванные бурением. В некоторых случаях DIF (трещины, вызванные бурением) будут превосходить геологические NAT по количеству.

Трещины, вызванные растягивающим бурением, ориентированные на преобладающий в настоящее время режим напряжений, имеют классическую форму суб-вертикальных лепестков. Прорыв любых выбранных событий будет согласован с тензором максимального горизонтального



напряжения.

Разрывы при растяжении совпадают в этом классическом случае, где σ_1 -вертикальный тензор, с максимальным горизонтальным напряжением σ_2 .

Трещины обычно не будут идеально вертикальными, но будут иметь суб-вертикальный чистый разрыв с углом падения, который будет несколько варьироваться, но ориентация простираения будет довольно постоянной.

Эти трещины растяжения развиваются перед буровым долотом, а затем проходятся бурением. Если они расположены под углом к вертикали, они очень быстро затухают в стволе скважины, что приводит к крутому плоскому событию, которое часто трудно отличить от круто падающей естественной трещины.

Иногда мы вынуждены полагаться на ориентацию трещины при растяжении, а не на более надежный прорыв, чтобы оценить ориентацию преобладающего максимального горизонтального напряжения.

Трещины с малым углом, которые не совпадают с преобладающей осью DIF, вероятно, являются геологическими явлениями.

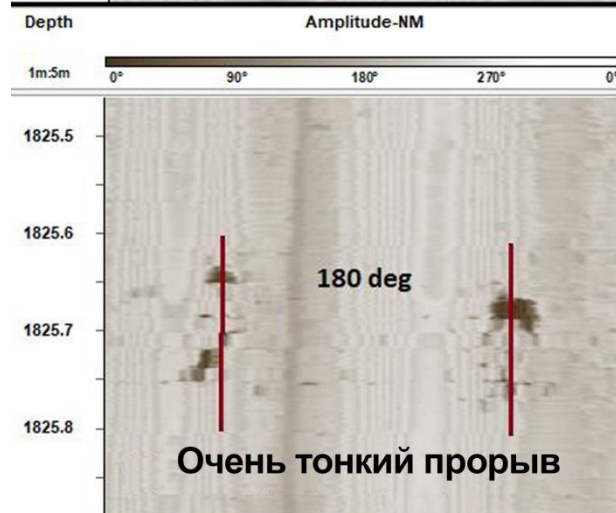
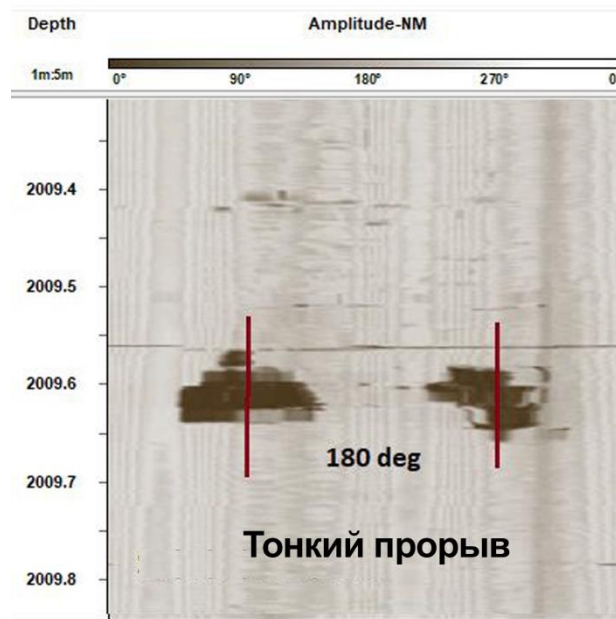
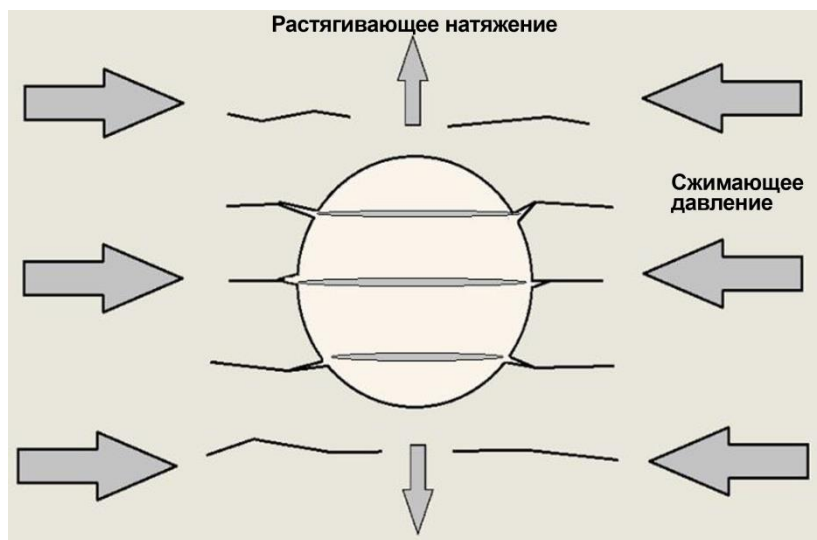
С некоторой помощью при обнаружении прорыва (ось которого перпендикулярна направлению максимального горизонтального напряжения) регистратор может ориентировать напряжение и описывать с точностью около 90% естественные трещины и их ориентацию.

Иногда бывает трудно найти прорыв. Ключевой особенностью является то, что разрушения находятся на 180 градусов друг от друга.

Прорыв происходит во время вращательного бурения. Он не развивается после того, как коронка прошла скважину.

- Каротаж обычно может показать нам ориентацию текущей оси максимального горизонтального напряжения.
- Прорывы не говорят нам, является ли вертикальное напряжение доминирующим (σ_1) на данной глубине.
- Эта информация может быть основана на наличии нормальной неисправности; σ_1 вертикальное напряжение или обратный сброс; σ_3 вертикальное напряжение.

Это хорошая отправная точка. Теперь мы знаем ориентацию текущего стрессового режима. Теперь мы можем идентифицировать и игнорировать DIF.

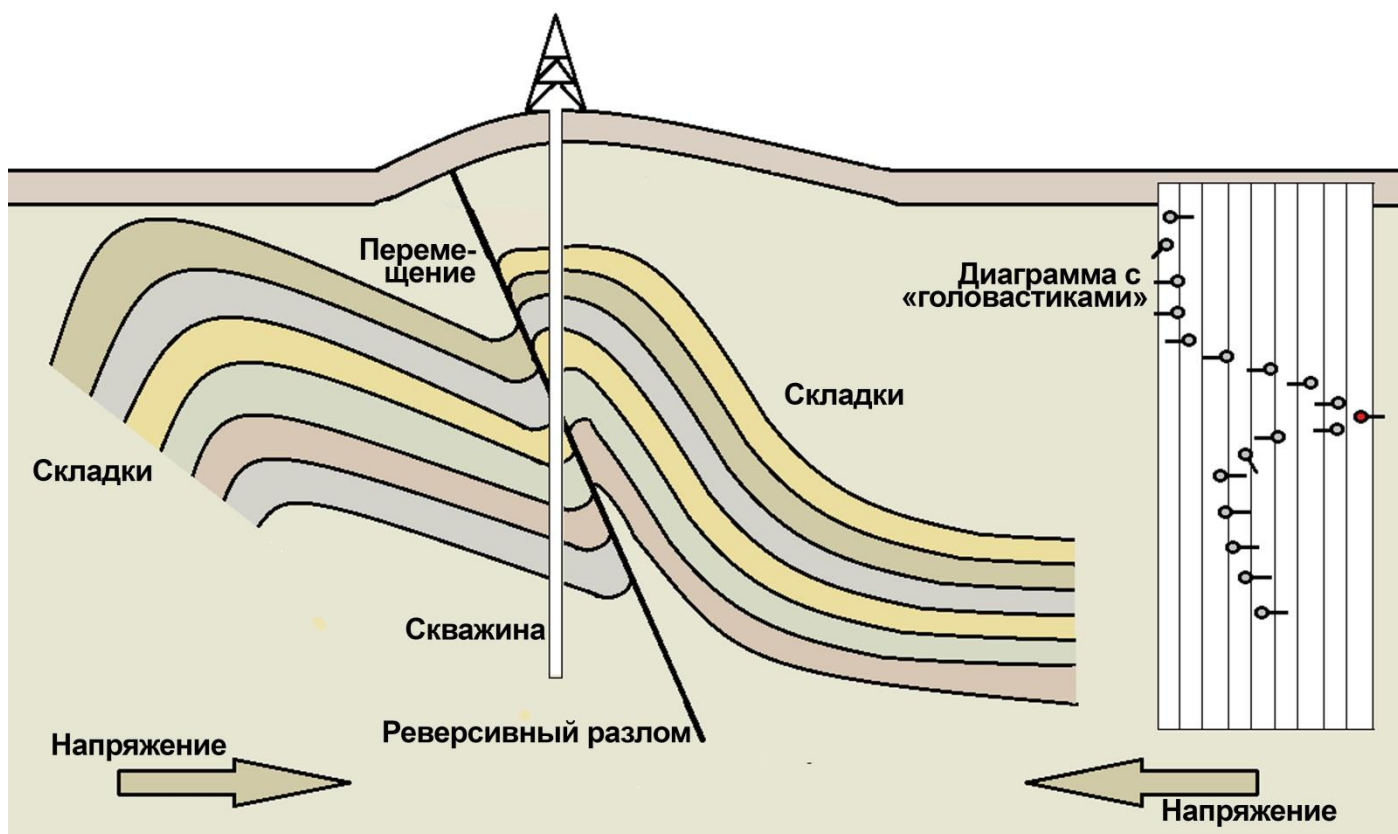


Полярные диаграммы и диаграммы роз

Боковое напряжение, приложенное к осадочным образованиям, может достигать точки, когда породы становятся пластичными и складываются. В конечном итоге они могут достичь критического уровня, что приведет к разлому.

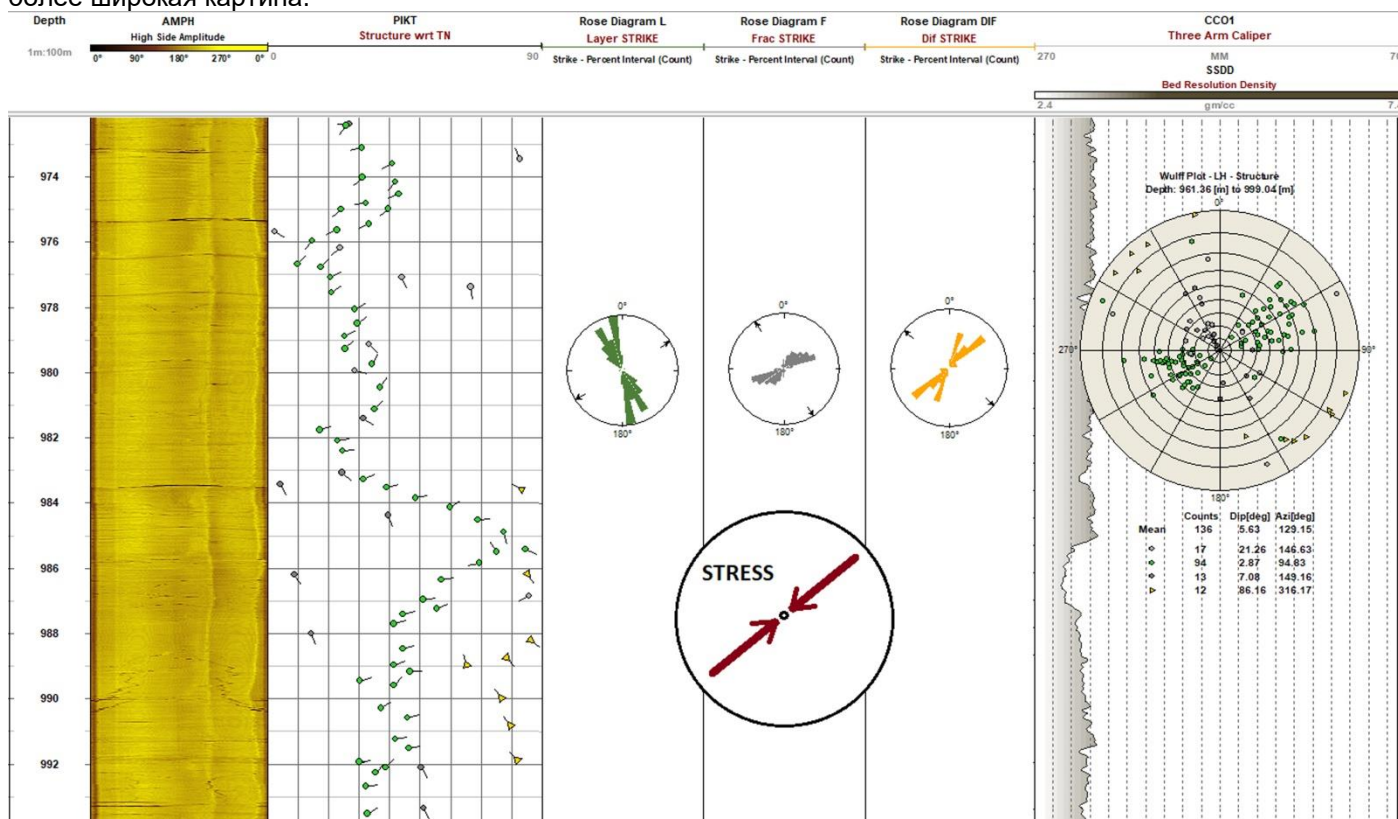
Давление на складку будет ортогонально оси напряжения и, как правило, постоянно.

После снятия напряжения возникает деформация пласта, что приводит к складчатости и разломам. С точки зрения структуры, это то, что мы пытаемся описать. Это не просто. Изображения скважин и графики головастиков могут сбивать с толку, но полярные графики, азимутальные векторные графики и диаграммы роз, основанные на падении или простираении, будут полезны.



Обратный сброс, вызванный складыванием бокового напряжения, а затем разрывом комплекса осадочных пластов.

Диаграмма наклона или журнал телевьюера часто описывают множество вариаций угла наклона, но полярный график и диаграммы роз предназначены для выявления общих ориентаций падения и простирания; более широкая картина.



Магматические слои твердых пород (еле видимые), описывающие складчатость с простиранием 155 - 335°

Напластование будет иметь тенденцию ориентировки простирания параллельно одной группе трещин. Полярный график может описывать второй набор трещин и позволять классифицировать его по цвету (в WellCAD выделите полярный журнал *polar log*, нарисуйте с помощью мыши круг вокруг набора, щелкните

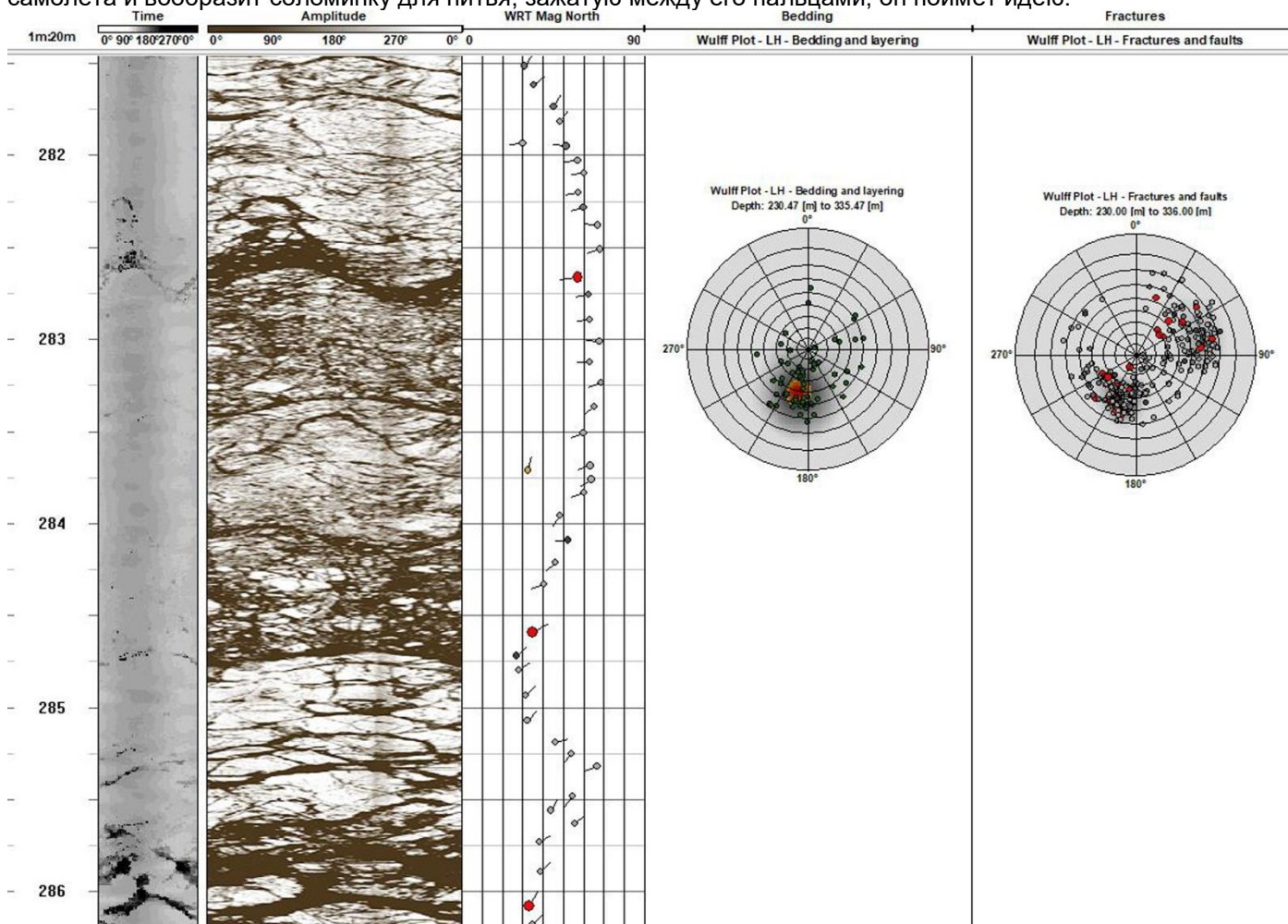
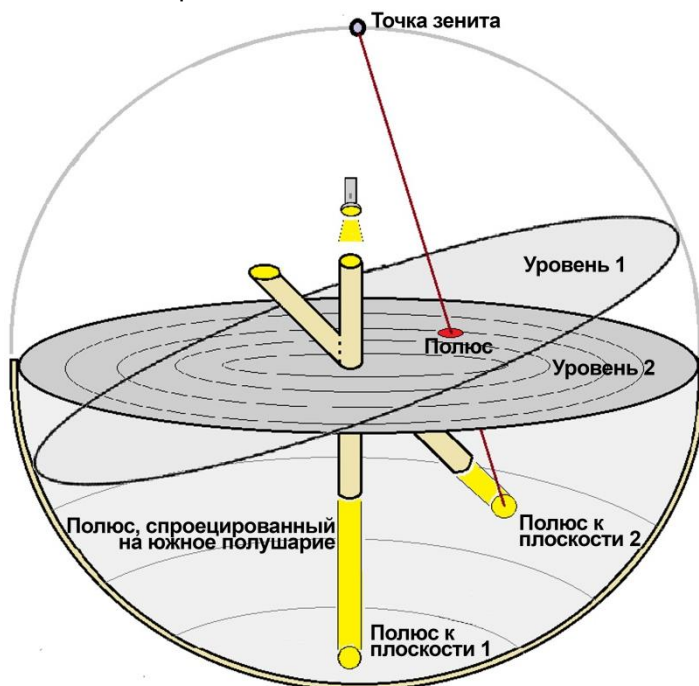
правой кнопкой мыши внутри круга и выберите классификацию) и обнаружите на участке «головастиков». И полярный график, и участок с «головастиками» будут пере-классифицированы. Необходимо учитывать эффект регионального угла падения. Геолог может желать определить направление палео-направлений; преобладающие направления или высокоэнергетический поток воды в момент осадконакопления. Это можно сделать, измерив ориентацию падения после того, как более поздние региональные эффекты были удалены из графика.

Полярный график равных углов Equal Angle

Полярный график основан на южном (или нижнем) полушарии, полюсе, приведенном к плоскости, и конфигурации Вульфа (равный угол). Признано, что равная площадь участка Шмидта может быть лучше для пластов осадочных пород. В примере справа проекция Вульфа объясняется с помощью трубочки для питья и фонарика. Плоскости опускаются в любом направлении, как на карданном подвесе. Полюса проецируются на южное полушарие (стандартный протокол для геологов).

Значек «головастика» представлен полярными проекциями; каждая невидимая плоскость имеет угол падения и азимут. Горизонтальная плоскость проецирует полюс на центр полушария.

В этом примере наклонная плоскость 2 проецирует полюс на южное полушарие. Линия проводится от зенита (самая высокая точка сферы) до проецируемого полюса. Красный столб помещается в точке, где линия пересекает горизонтальную плоскость. Это может сбивать с толку, потому что плоскость, падающая на запад, будет проецировать свой полюс на восточную сторону полярного графика. Если оператор использует свою руку в качестве движущегося самолета и вообразит соломинку для питья, зажатую между его пальцами, он поймет идею.



Лог-журнал из Анд. Большая работа для интерпретатора

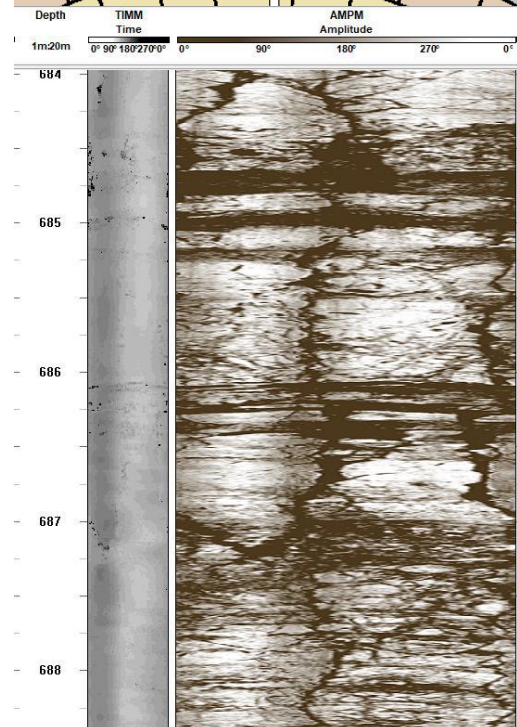
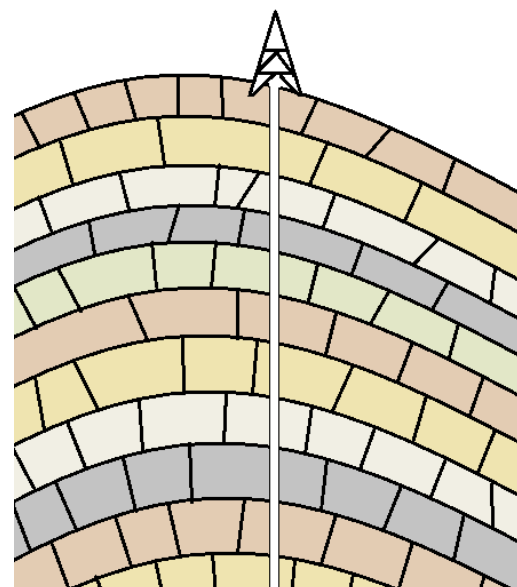
Полярный график - реальный помощник в понимании сложных структурных логов.

Этот лог получен в Перу, недалеко от зоны субдукции; Телевьювер описал множество разломов. Полярный график позволяет нам анализировать довольно загроможденные данные. При всей своей сложности журнал подобранной структуры описывает всего два кластера.

Подстилка или наслаивание изолируется левым из двух полярных участков. Подошвы опускаются к северо-северо-востоку.

На другом полярном графике справа показаны две группы трещин. Один комплект идет параллельно подошве. Второй набор - это в основном западно-западные районы. В среднем все события имеют наклон около 45 градусов.

Эти два набора кажутся не связанными, хотя их плоскости будут пересекаться, поэтому второй набор трещин мог быть вертикальным, относящимся к складчатым пластам. 45 градусов может быть региональным падением.



Один сценарий описывает антиклиналь с напластованиями с постоянными падениями и трещинами растяжения.

Простой сценарий, антиклиналь, показан справа, где слоистость является регулярной и будет образовывать плотный кластер на полярном графике, описывающий, с точки зрения структуры, одну единицу.

Вторая группа трещин, параллельных напластованию (не видна на диаграмме), добавится к тому же кластеру. Третий набор разрывов при растяжении возникает во время подъема и будет перпендикулярен подходам 1 и 2.

Вторая трещина на каротажной диаграмме Анд могла быть вызвана бурением. Текущая ориентация на стресс поможет. На этом изображении нет события, которое можно было бы с уверенностью назвать прорывом, поэтому мы ищем трещины растяжения, вызванные бурением. Они менее надежны, чем прорыв, но позволяют определить ориентацию на напряжение, если они постоянны.

Свидетельства последовательного развития трещин, вызванных бурением. Он субвертикальный и ориентирован под углом 146–336 градусов относительно истинного севера.

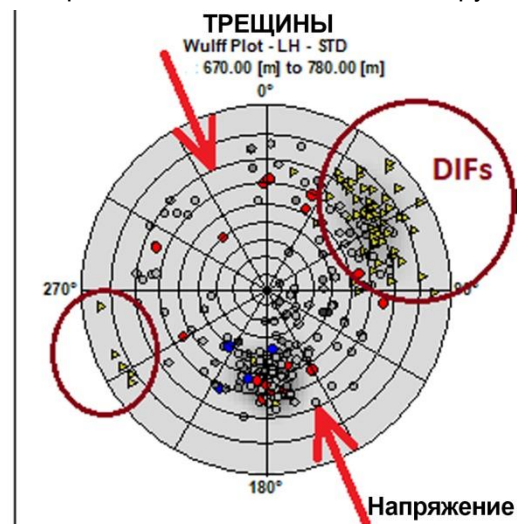
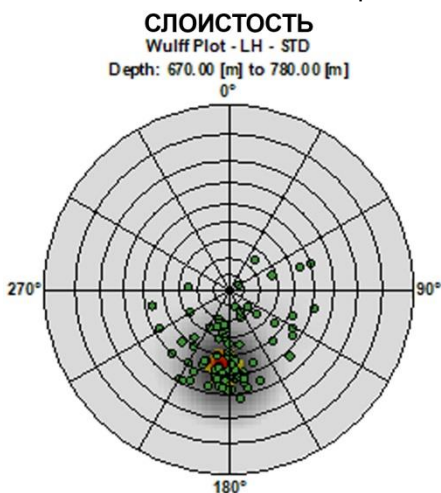
Есть несколько очень ярких примеров трещин при растяжении в больших напластованиях. У них относительно большая апертура. Ориентация напряжений (совмещенная с разрывами при растяжении), как обычно, попадает в диапазон, в среднем от SSE до NNW.

Если мы рассмотрим выборку с учетом этого, многие естественные трещины могут быть переклассифицированы в результат бурения.

Первый кластер включает как послойные, так и послойно-параллельные трещины. Они наклонены к северу примерно на 45 градусов (в этом случае была применена некоторая поправка на местное магнитное склонение). Их удар близок к восточно-западному.

Скорректированные полярные диаграммы

DIF указывают на текущую ось напряжений 154–334 градуса. Слои, по-видимому, не в складке и поэтому не дают никаких указаний на ориентацию напряжения. Смотрите выводы в конце статьи.



Чтобы продолжить анализ, нам нужно взглянуть на некоторые основные полярные диаграммы. Те, на которых сосредоточено внимание во время этого обсуждения.

- **Осадочные породы - складчатые**
- **Нет конкретной установки (DIF)**
- **Разломы осадочных пород (с сопротивлением)**

Рассмотрим некоторые основные модели полярных диаграмм.

Полярные диаграммы являются ключом к анализу.

Сюжет справа - идеалистическое изображение складывания. Каждый полюс представляет ориентацию поверхности или пласта.

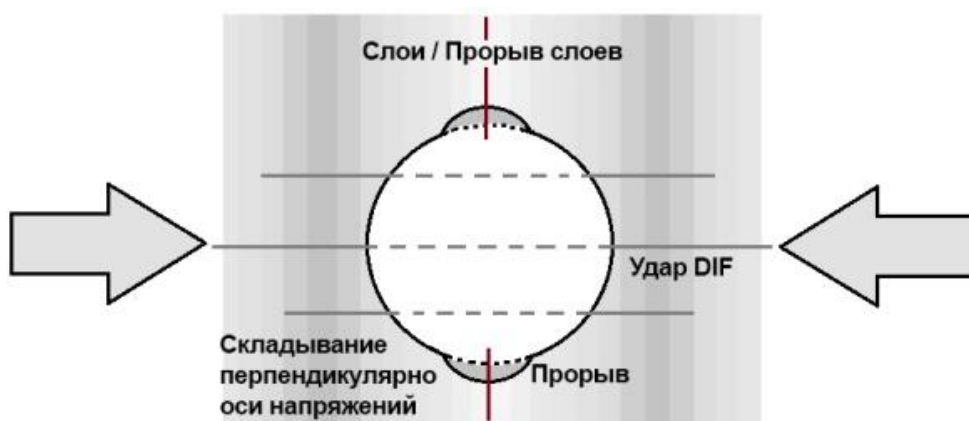
Складчатость простирается север-юг. Боковое сжатие восточно-западное.

Трещины, параллельные пластам и напластованиям, ориентированы с востока на запад. Некоторые запутанные графики головастиков упрощены со ссылкой на полярный график. В этом случае есть один набор полюсов, который управляет только складыванием.

Сравните с журналом на странице 3.



Вид сверху напряжения, вызывающего простое (нормальное) складывание



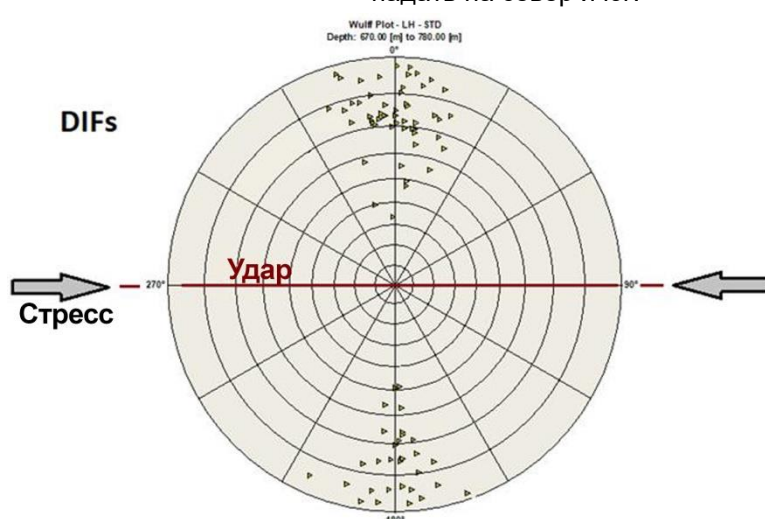
В том же сценарии, где σ_3 является одним из горизонтальных тензоров, при боковом напряжении будут возникать трещины, вызванные бурением, параллельно своей оси восток-запад и круто падать на север и юг.

Если ориентация напряжений известна, гораздо проще выбрать DIF.

Этот контроль напряжения при развитии трещин не всегда легко понять.

Если мы возьмем красный глиняный кирпич как изображение нашей массивной горной массы, поместим его в тиски и приложим сжимающую силу в одном направлении, приложенное напряжение приведет к деформации, как параллельной, так и перпендикулярной направлению напряжения.

Учитывая горизонтальную плоскость (и в зависимости от коэффициента Пуассона), кирпич будет деформироваться - сжиматься в одном направлении и расширяться в другом.

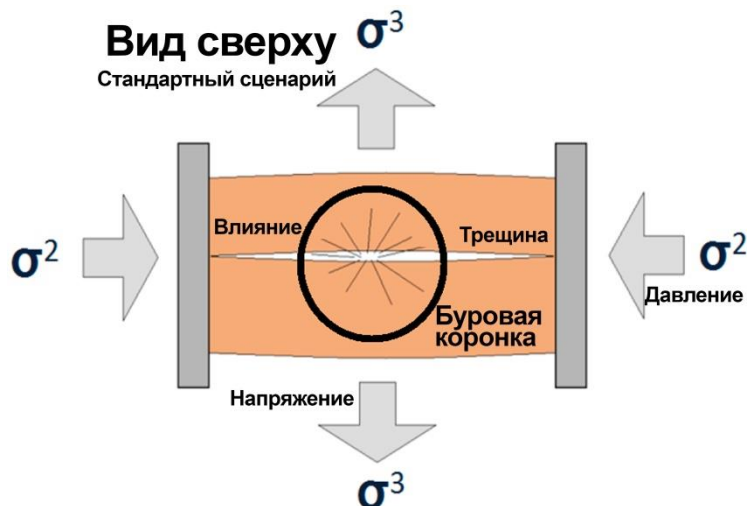


Если по кирпичу ударить молотком (или сверлом), он расколется в соответствии с направлением горизонтального сжимающего напряжения. Трудно представить, как он раскалывается перпендикулярно направлению максимального напряжения.

Пока σ_3 является одним из горизонтальных тензоров, применяются основные правила ориентации трещин.

Раскол мог бы повернуться на 90 градусов в сторону, если бы σ_3 стал вертикальным тензором. События DIF на изображении телевидера могут тогда располагаться ниже горизонтали.

Это, опять же, трудно представить, потому что



вертикальное напряжение, вызванное массой вышележащей породы, вряд ли будет растягивающим. Если DIF полностью отсутствуют, это может быть связано с упругими свойствами горного массива или с σ_3 , являющимся вертикальной составляющей напряжения.

Выводы

Анализ каротажных диаграмм упрощается за счет привязки к полярным диаграммам.

Мы пытаемся выделить группы (кластеры) трещин, положение которых на графике зависит от тектонических событий, вызванных напряжением.

Скручивание и разломы вызываются напряжением, но три основных тензора напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 не являются постоянными.

Теоретические конфигурации полярных графиков довольно легко понять.

Мы можем идентифицировать прорывы и DIF на изображениях телевьювера, что обеспечивает ориентацию горизонтального напряжения.

Мы можем подтвердить ориентацию DIF на полярном графике, который должен обеспечивать ориентацию напряжений.

Если очистить DIF, останутся естественные трещины и плоскости напластования.

Переломы часто развиваются параллельно или сопряжены с напластованием.

Журналы на страницах 4 и 5 содержат много информации.

- Напластования представляют собой плотную группу, поэтому складывание маловероятно.
- К подстилке не применяется особая ориентация напряжения.
- Присутствуют трещины, параллельные напластованию, или прокси-плоскости напластования.
- Более крутой набор трещин не совсем нормален для набора напластований.
- Более крутые трещины совпадают с некоторыми очевидными дифференциальными затратами на растяжение и считаются вызванными бурением.
- Ориентация максимального горизонтального напряжения на основе DIF (без прорыва) составляет 154–334 градуса.
- Структурная единица описана в общих чертах, но проведено несколько каротажных скважин, и знание местности значительно повысит уверенность в интерпретации.



Advanced Logic Technology

Advanced Logic Technology sa

ZAE Solupla Route de Niederpallen 30H L-8506

Redange-sur-Attert Luxembourg

Телефон: +352 28 56 15-1

Email: support@alt.lu

Web: www.alt.lu



АГТ Системс

РОССИЯ 125445, Москва, ул. Смольная 24а, офис 1420,

Телефон: (495) 232-07-86

Email: sales@agtsys.ru,

Web: www.agtsys.ru