

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИН

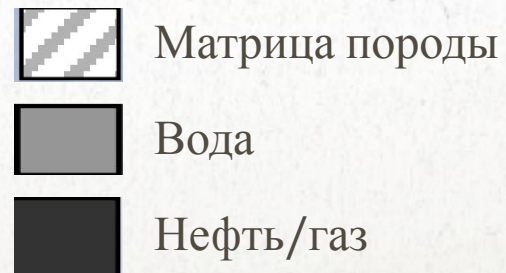
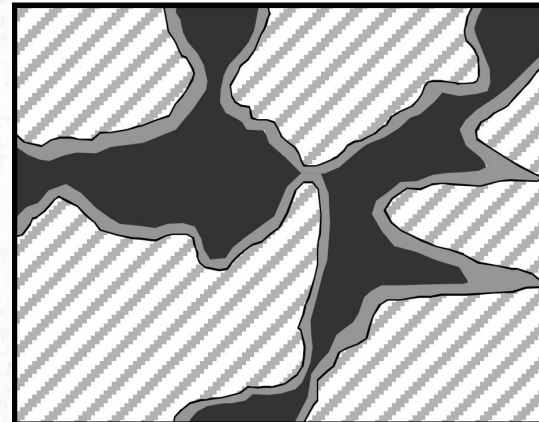
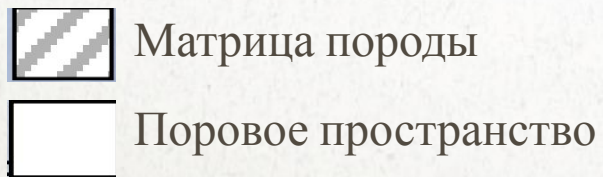
ПОДЪЯЧЕВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, К.Т.Н., ДОЦЕНТ

ЦЕЛИ ОБУЧЕНИЯ

- Изучить классификацию пористой среды по типам происхождения.
- Изучить свойства коллекторов и флюидов, а также процессы взаимодействия коллекторов и флюидов.
- Рассмотреть основные и нетиповые схемы заканчивания скважин
- Определить критерии того или иного типа заканчивания скважин

СОСТАВ ПЛАСТА КОЛЛЕКТОРА

- Матрица (скелет) горной породы
- Поровое пространство
 - Вода
 - Нефть и газ



КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ПО ТИПАМ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

ПЕРВИЧНАЯ (ИЗНАЧАЛЬНАЯ)

- Развилась в отложениях
- Типизирована по:
 - Межзерновым песчаникам
 - Межкристаллитным, оолитовым карбонатам
- Как правило, более однородна по сравнению со вторичной пористостью

ВТОРИЧНАЯ (ВЫЗВАННАЯ)

- Развилась в ходе геологических процессов, возникших после отложения
- Типизирована по:
 - Развитию трещин в некоторых сланцах и карбонатах
 - Полостям и пустотам растворения в известняках и доломитах

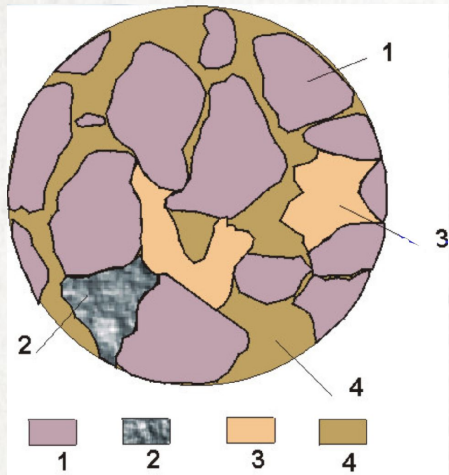
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ



ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ

ВИДЫ КОЛЛЕКТОРОВ

ПОРОВЫЕ



Шлиф пористого коллектора

- 1 – зерна (частицы);
- 2 – цемент (кальцит);
- 3 – глина;
- 4 – поровое пространство

СМЕШАННЫ Е

ТРЕЩИНОВАТЫ Е

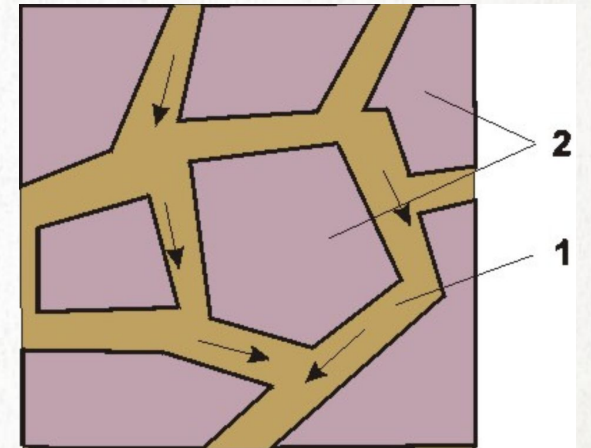
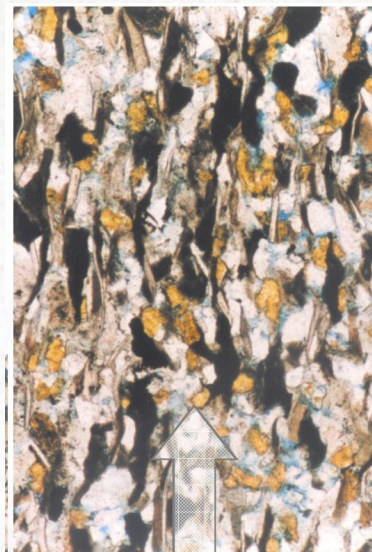
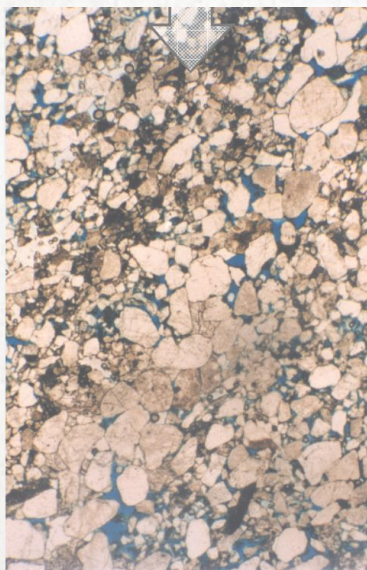


Схема трещиноватого коллектора

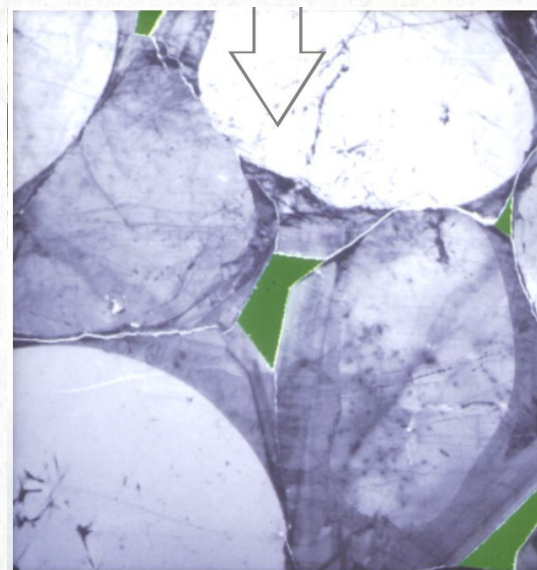
- 1 – трещины;
- 2 – пористые блоки.

ПЕСЧАНИКИ - ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ

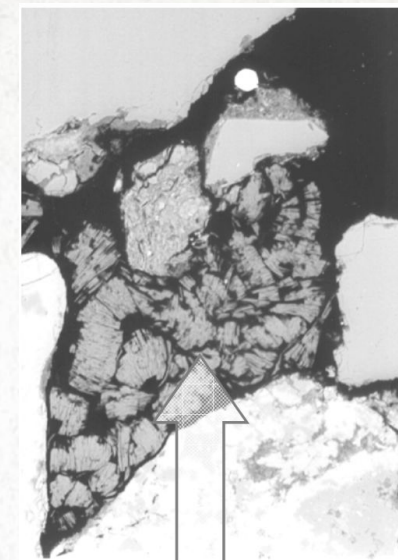
Величина зерна
и сортировка



Форма зерна

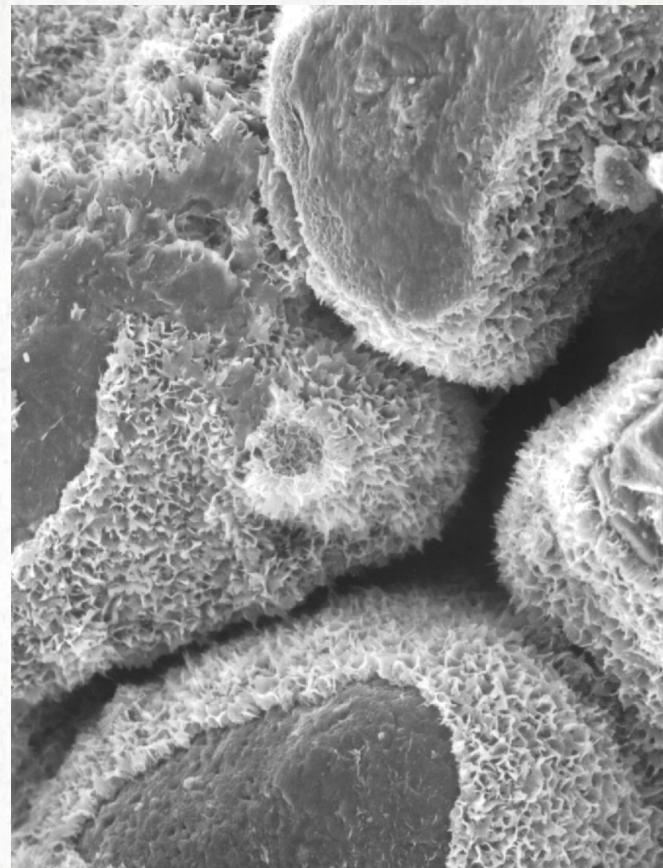


Степень
цементирования
зерна



Глина
• тип
• распределение

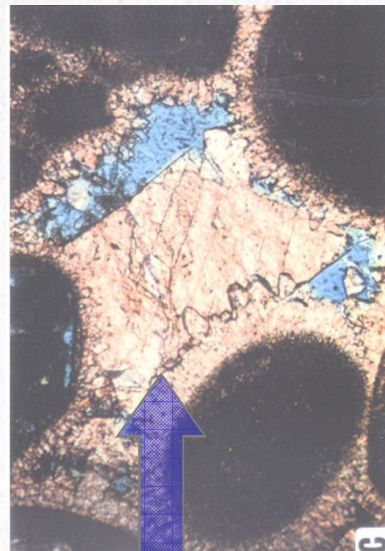
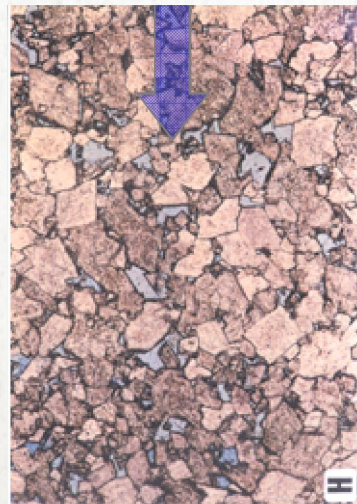
ГЛИНЫ -ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ



Используйте анализ пласта для определения проблем потенциального повреждения пласта

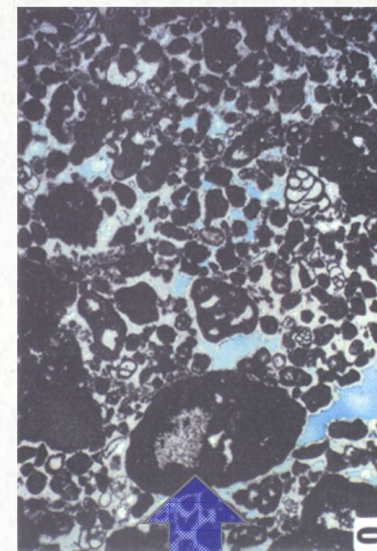
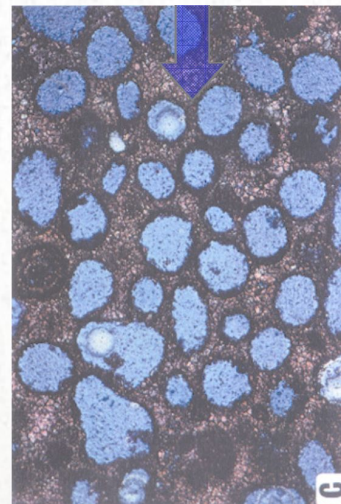
КАРБОНАТЫ – ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ

Образование
ДОЛОМИТОВ



Степень
цементации

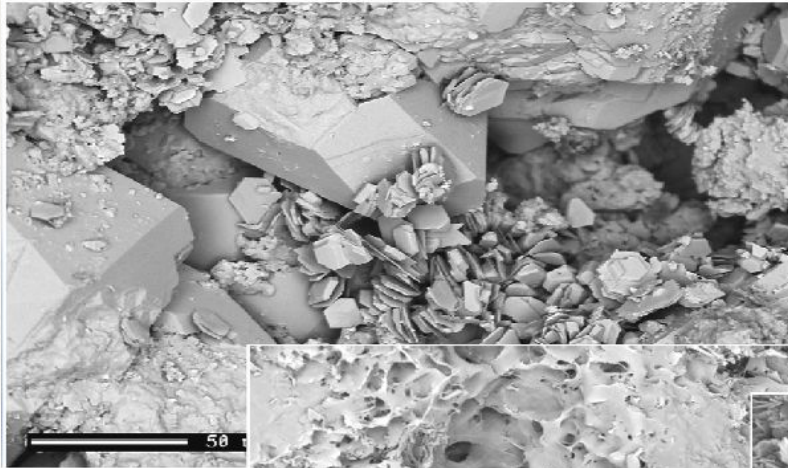
Растворение
зерна



Зерно

- размер
- тип

ТИПЫ ГЛИН – ЧТО ВАМ НУЖНО ЗНАТЬ



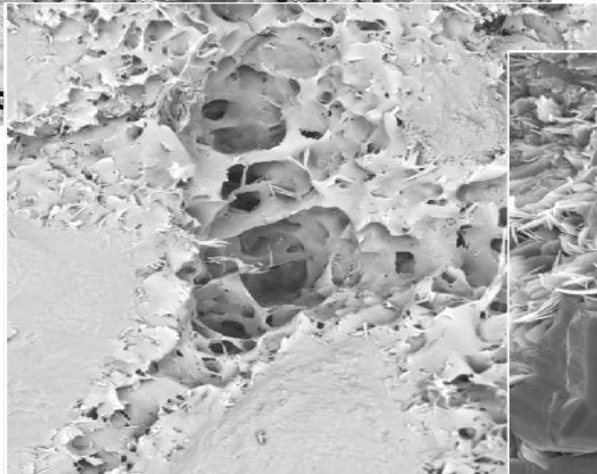
КАОЛИНИ
Т

Каолинит – пластины имеют тенденцию к миграции

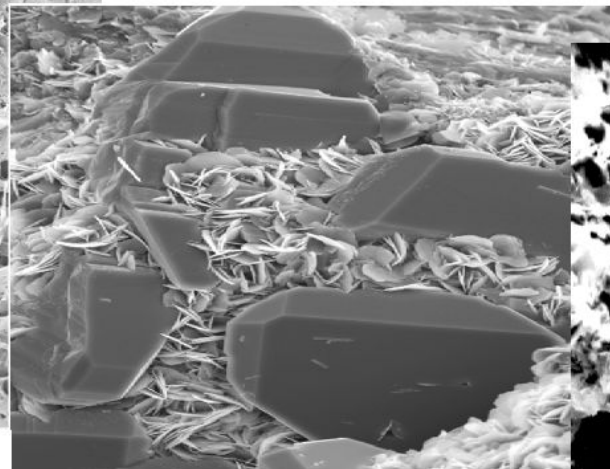
Иллит – волокна имеют тенденцию задерживать частицы

Хлорит – беспорядочно-разбросанные пластины пластины (порой богатые железом/возможно окисление)

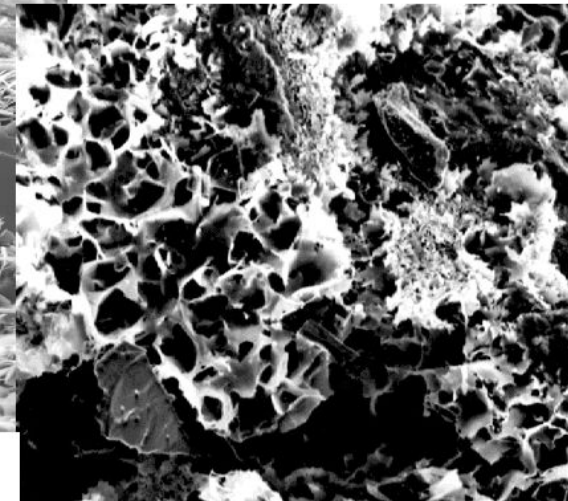
Бентонит – разбухает и может закупорить поры



ИЛЛИ
Т

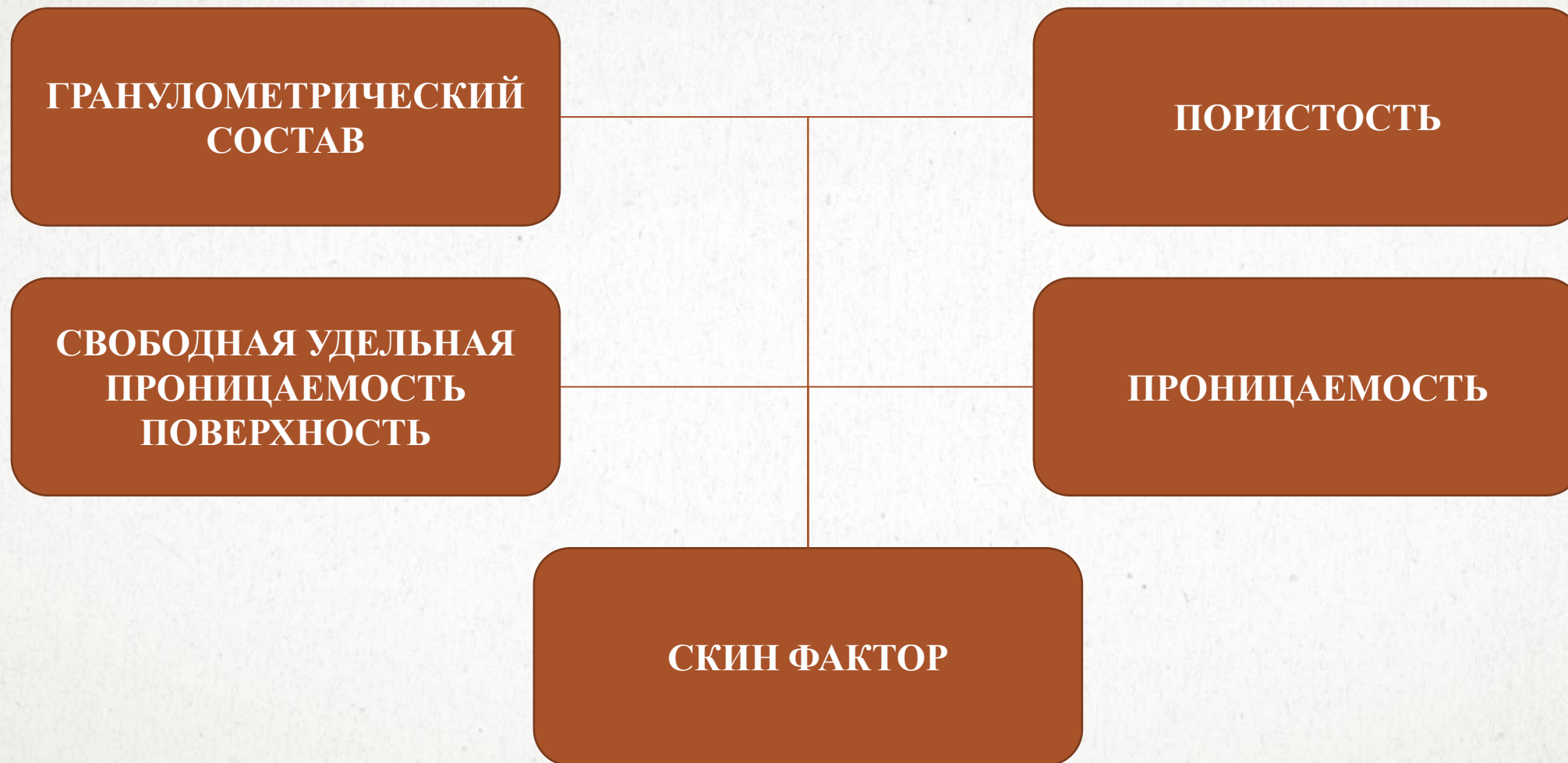


ХЛОРИ
Т



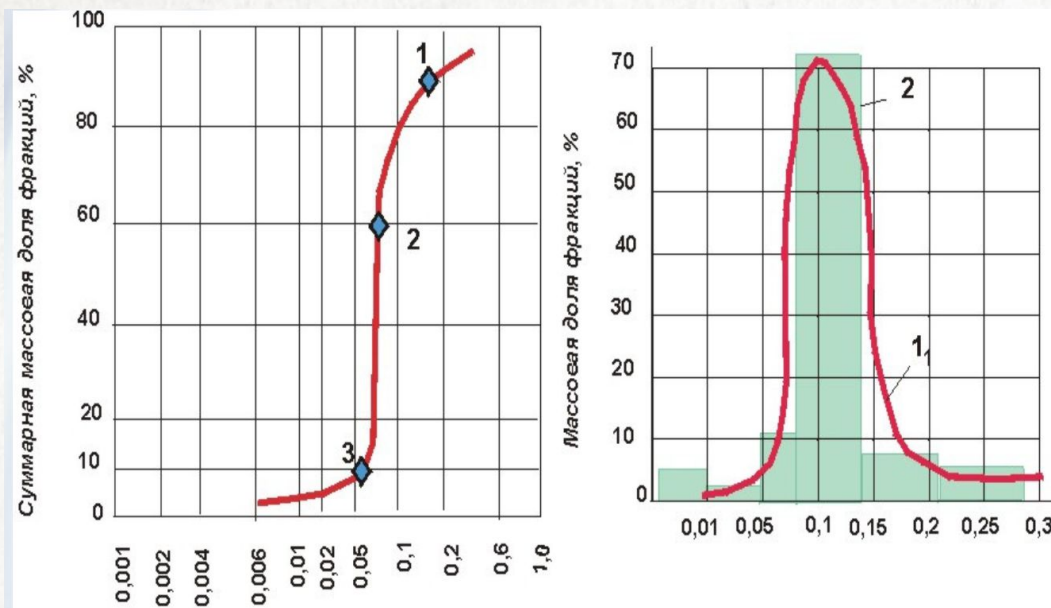
БЕНТОНИ
Т

ПАРАМЕТРЫ ПОРИСТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ



ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Гранулометрическим составом породы называют количественное (массовое) содержание в породе частиц различной крупности



Степень неоднородности
1,1-20

Кривая суммарного
гранулометрического
состава
1- точка подбора размеров
отверстия фильтров

Кривая распределения
по размерам (1)
и гистограмма
распределения (2)

ЭФФЕКТИВНЫЙ ДИАМЕТР

Эффективным диаметром частиц, слагающих реальную пористую среду, называют такой диаметр шаров, образующий эквивалентный фиктивный грунт, при котором гидравлическое сопротивление, оказываемое в фильтрующейся жидкостью в реальном и фиктивном грунте одинаково.

$$d_э = \sqrt[3]{\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i}}$$

d – средний диаметр фракции,
 n – массовая или сетная доли фракции.

ПОРИСТОСТЬ

Полная

Открытая

Эффективная

$$m = \frac{V_{\text{пустот}}}{V_{\text{породы}}}$$

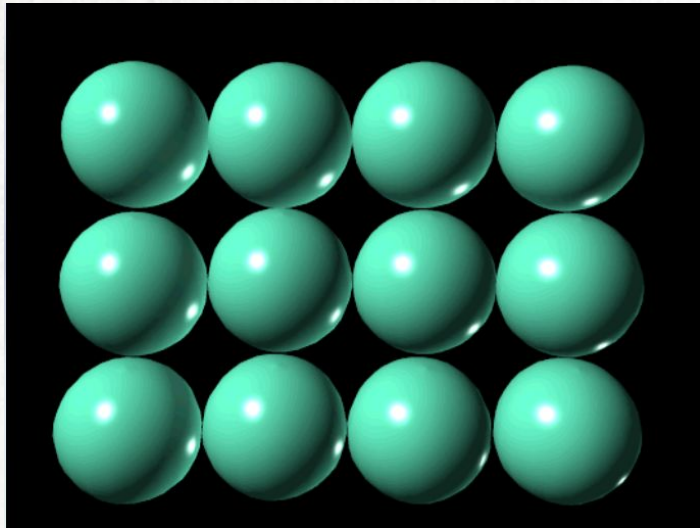


ПОРОВЫЕ КАНАЛЫ

- 1) сверхкапиллярные – более 0,5 мм;
- 2) капиллярные – от 0,5 до 0,0002 мм (0,2 мкм);
- 3) субкапиллярные — менее 0,0002 мм (0,2 мкм)

МОДЕЛИ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Кубическая укладка шариков



Пористость = 48%

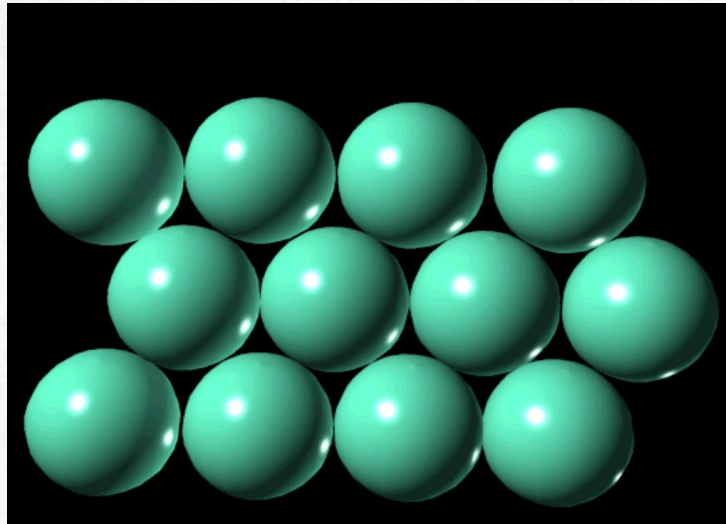
- Общий объем = $(2r)^3 = 8r^3$
- Объем матрицы = $\frac{4\pi r^3}{3}$
- Объем пор = общий объем – объем матрицы

$$\text{Пористость} = \frac{\text{Объём пор}}{\text{Общий объём}} = \frac{\text{Общий объём} - \text{Объём матрицы}}{\text{Общий объём}}$$

$$= \frac{8r^3 - 4/3 \pi r^3}{8r^3} = 1 - \frac{\pi}{6} = 47.6\%$$

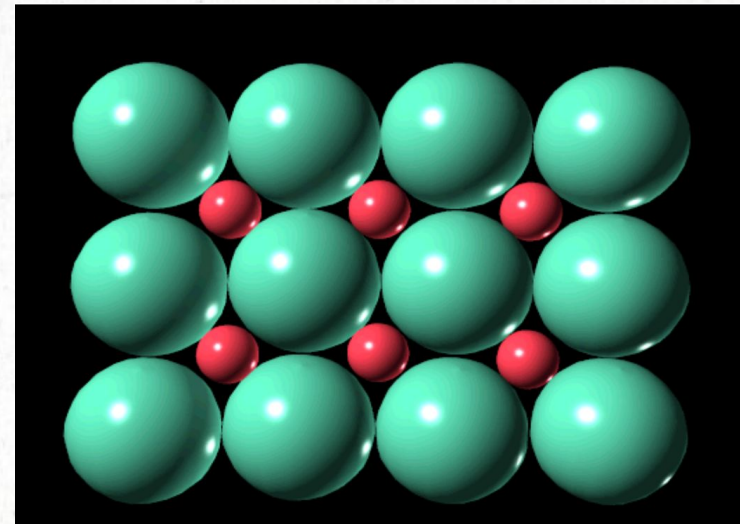
МОДЕЛИ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Укладка шариков ромбом



Пористость = 27 %

Укладка шариков двух размеров



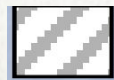
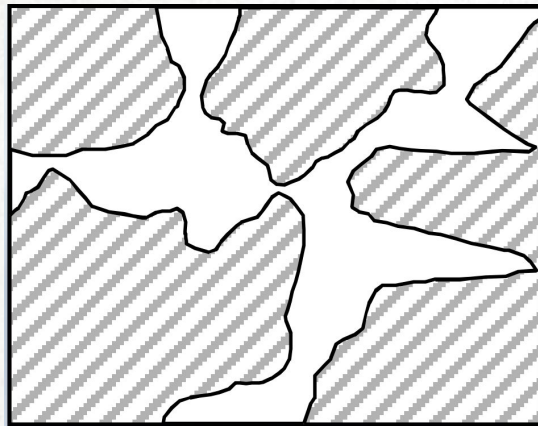
Пористость = 14%

СРАВНЕНИЕ ОБЩЕЙ, ОТКРЫТОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ

Очень чистые песчаники: $m_{об} = m_{от}$

Слабо либо умеренно сцементированные межкристаллитные материалы: $m_{об} \approx m_{от}$

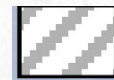
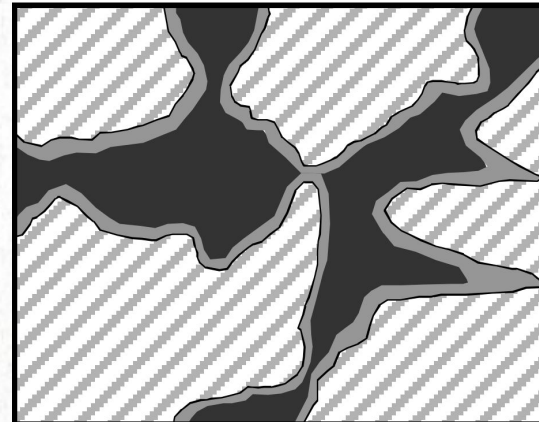
Сильно сцементированные материалы и большинство карбонатов: $m_{об} < m_{от}$



Матрица породы



Поровое пространство



Матрица породы



Вода



Нефть/газ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОРИСТОСТЬ

- Форма частиц
- Заполнение (укладка)
- Размеры частиц
- Цементирующие материалы
- Давление вышележащей породы
- Пустоты и трещины

УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

- Свободная удельная поверхность $S_{уд}$ – суммарная площадь поверхности частиц, содержащихся в единице объёма (или массы) породы
- Среднее значение $S_{уд}$ для нефтесодержащих пород изменяется в пределах 40тыс. - 230тыс.м²/м³. Породы с большей удельной поверхностью непроницаемы или слабопроницаемы (глины, пески глинизированные...)

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

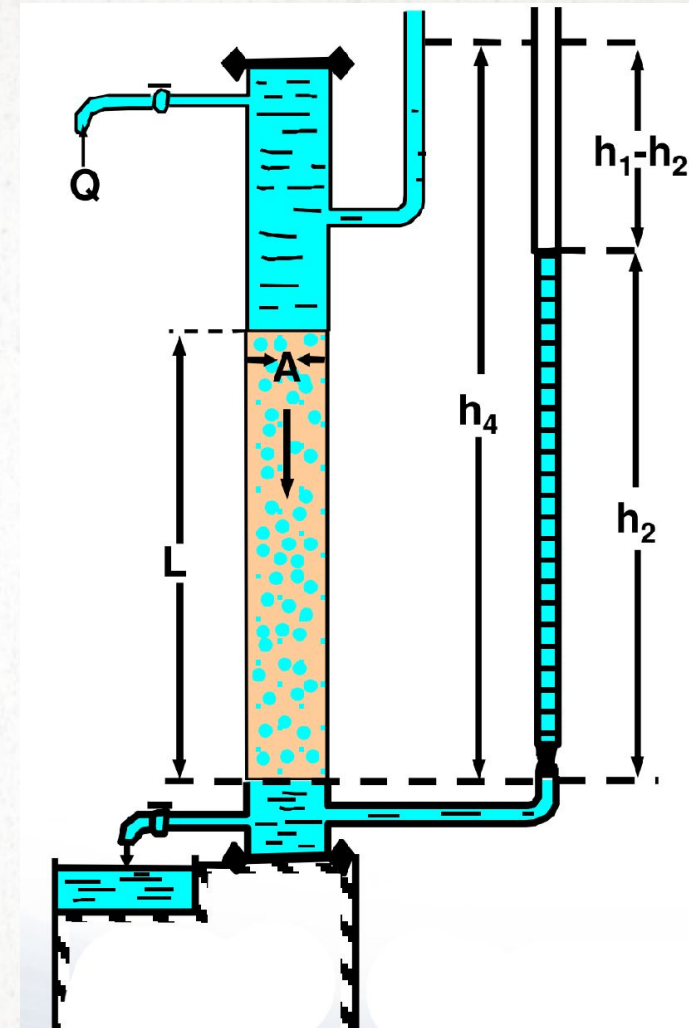
ПРОНИЦАЕМОСТЬ - свойство породы, характеризующее её способность пропускать через себя различные флюиды под действием перепада давления

$$q = \frac{K A (h_1 - h_2)}{L}$$

Величина «К» по Дарси определена как сочетание
– k, проницаемости песчаной пачки (или горной породы)
– μ , вязкости жидкости

По физическому смыслу проницаемость характеризует площадь каналов по которым происходит фильтрация. Единица измерения – м²

(1 Дарси – $1,02 \cdot 10^{-12}$ м²)



ПИРАМИДА ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ



ПРОНИЦАЕМОСТЬ

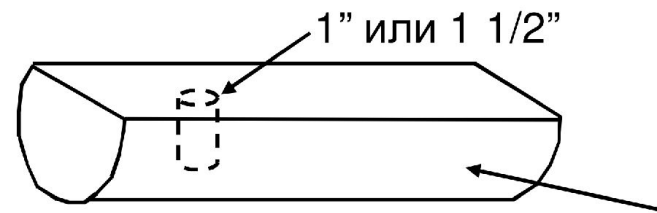


ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ

- Данные кернового анализа
- Данные ГИС, промыслового каротажа и пластоиспытателя многократного действия (RFT)
- Данные испытаний скважины
- Промысловые данные

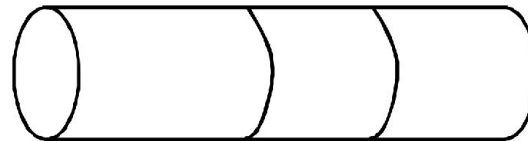
ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Образец



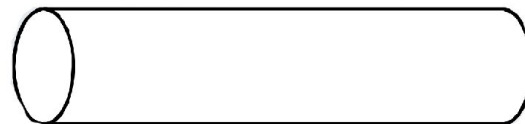
Наиболее типичный

Полный диаметр



Неоднородный пласт

Сплошной керн



Однородный пласт

Часть керна берется для

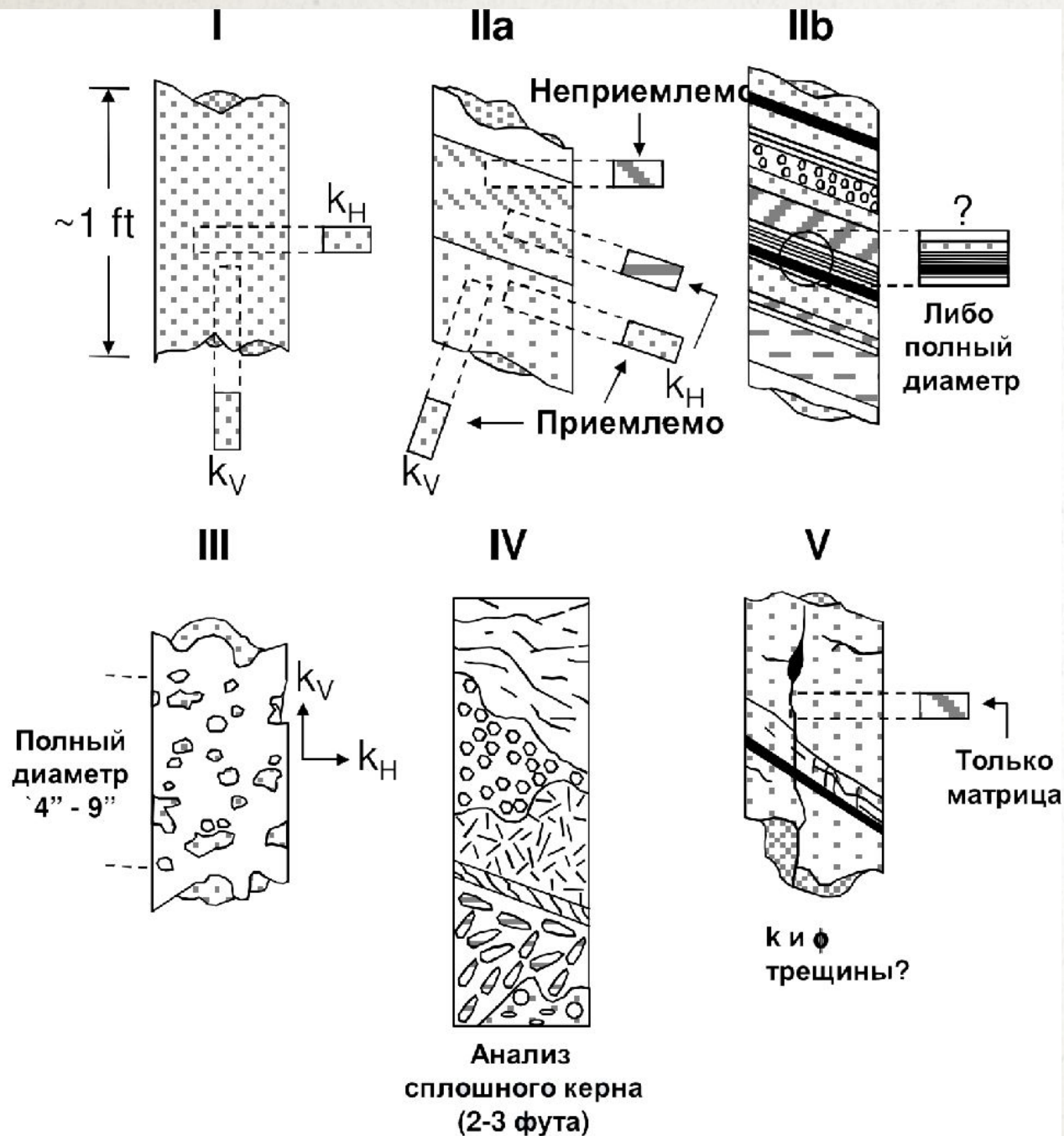
- Фотографирования
- Описания
- Архивирования

МЕТОД СПЛОШНОГО КЕРНА

- Используются отобранные части полного или сплошного керна
 - Размер керна от 2,5 до 5,5 дюймов в диаметре
 - Длина – от нескольких дюймов до нескольких футов
- Наиболее приемлемый подход для пластов с высокой неоднородностью.
- Реально необходимое количество анализов ограничивается дополнительным ростом их стоимости

МЕТОД ОТБОРА ОБРАЗЦА КЕРНА

- Наиболее распространенный метод.
- Используются небольшие цилиндрические образцы керна
 - От 0,75 до 1,5 дюйма в диаметре
 - Длина от одного до нескольких дюймов
- Может быть неприемлем для исследования неоднородных пластов.



ВАРИАНТЫ ОТБОРА КЕРНА

Различная литология требует тщательного подбора образцов керна либо анализа сплошного керна

ТРЕЩИНОВАТЫЕ ПОРОДЫ

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ

отношение объёма трещин V_T ко всему объёму V трещиноватой среды.

$$m_T = \frac{V_T}{V}$$

ГУСТОТА

отношение полной длины $\sum l_i$ всех трещин, находящихся в данном сечении трещиноватой породы к удвоенной площади сечения f

$$\Gamma_T = \frac{\sum l_i}{2f} \left[\frac{1}{\text{М}} \right]$$

РАСКРЫТОСТЬ

δ_T

Ширина трещины

$$m_T = \alpha_T \Gamma_T \delta_T,$$

$$\delta_T = \delta_{T0} [1 - \beta_T^* (p_0 - p)]$$

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД

- Параметры напряжённого состояния: E –модуль Юнга, ν - коэффициент Пуассона;
- G – модуль сдвига; β -модуль объёмной упругости.
- $10^9 \leq E \leq 10^{11}$ Па, $0 \leq \nu \leq 0,5$.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ НОРМАЛЬНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Коэффициент бокового распора

$$n = \frac{\nu}{1-\nu}, 0 \leq \nu \leq 0.5$$

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД В РАЙОНЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

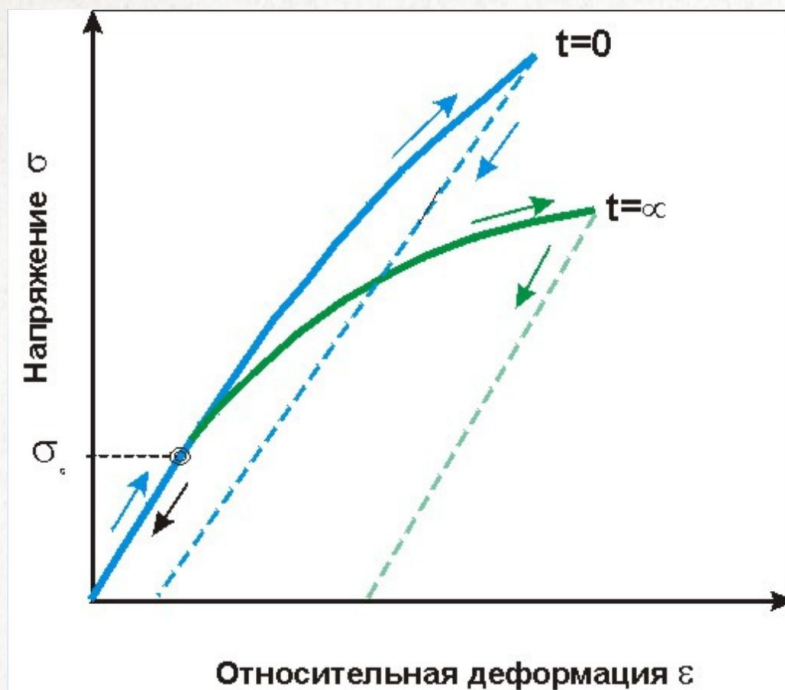
АНОМАЛЬНЫЕ
НАПРЯЖЕНИЯ

РАЗГРУЗКА АНОМАЛЬНЫХ
НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ
ПЛАСТИЧЕСКОЙ
ДЕФОРМАЦИИ

РАДИУС ОБЛАСТИ РАЗГРУЗКИ ГОРНОГО
ДАВЛЕНИЯ

$$r_p = 0.61r_c e^{\left[\frac{(\rho_{\Pi} - \rho_{\text{В}})g H}{2K_{\Pi}} \right]}$$

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД



Схематическая зависимость деформации от напряжения для глинистого сланца

ДЕФОРМАЦИЯ:

1. УПРУГАЯ ($\sigma \leq \sigma_S$);
2. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ($\sigma \geq \sigma_S$);
3. КРИП (ПОЛЗУЧЕСТЬ);
4. ХРУПКАЯ

Напряжение $\sigma = [\text{МПа}]$

Относительная деформация $\varepsilon = [\text{мкм}]$

УПРУГИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

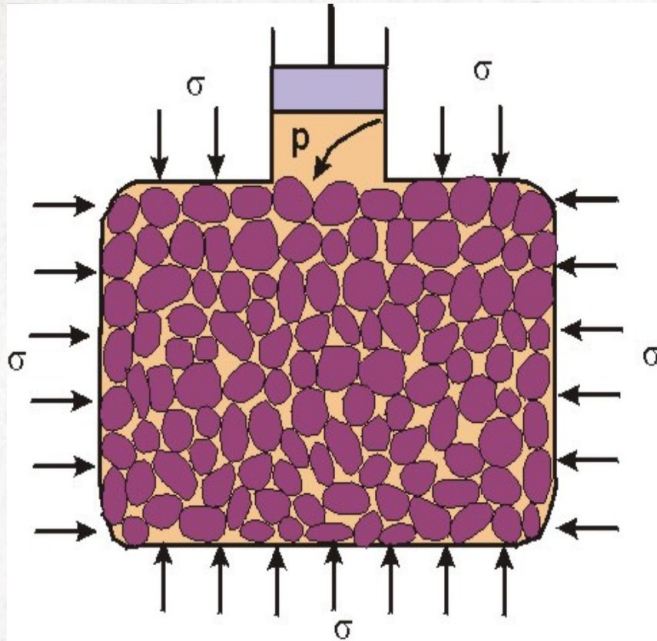


Схема проявления горного и эффективного давлений в породе

ЭФФЕКТИВНОЕ
НАПРЯЖЕНИЕ
 $\sigma_{эф} = \sigma - \alpha p$

КОЭФФИЦИЕНТ
СЖИМАЕМОСТИ
ПОРОДЫ [1/Па]
 $\beta = m\beta_{п} - \beta_{т}$

КОЭФФИЦИЕНТ
ОБЪЁМНОЙ УПРУГОСТИ
ПЛАСТА

$$\beta_c = m\beta_{п}$$

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

ПОРИСТОСТЬ

$$m = m_0 e^{-\beta_{\Pi}(\sigma - \sigma_0)}$$

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

$$k = k_0 e^{-n(\sigma - \sigma_0)}$$

где

$$n = 2 \frac{(3 + \alpha)}{(2 + \alpha)} \beta_{\Pi 0} (\sigma - p_0)$$

Для цементированных песчаников структурный коэффициент α находится в интервале -1,25+ -1,8.