

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИН

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

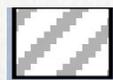
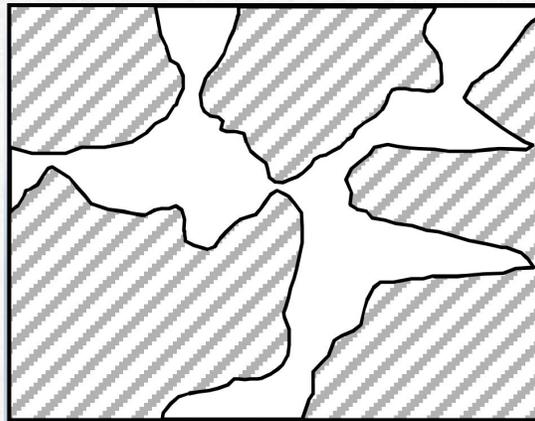
---

# 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

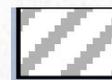
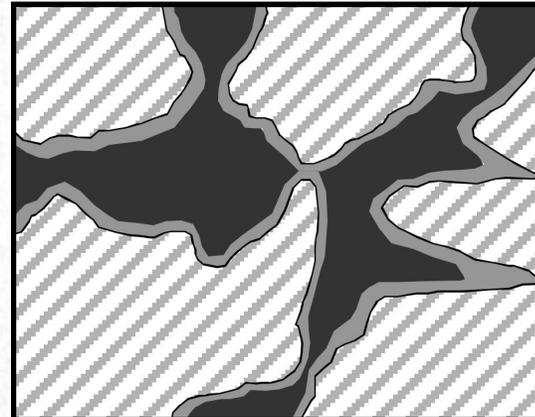
- Матрица (скелет) горной породы
- Поровое пространство
  - Вода
  - Нефть и газ



Матрица породы



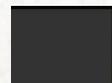
Поровое пространство



Матрица породы



Вода



Нефть/газ

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ПО ТИПАМ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

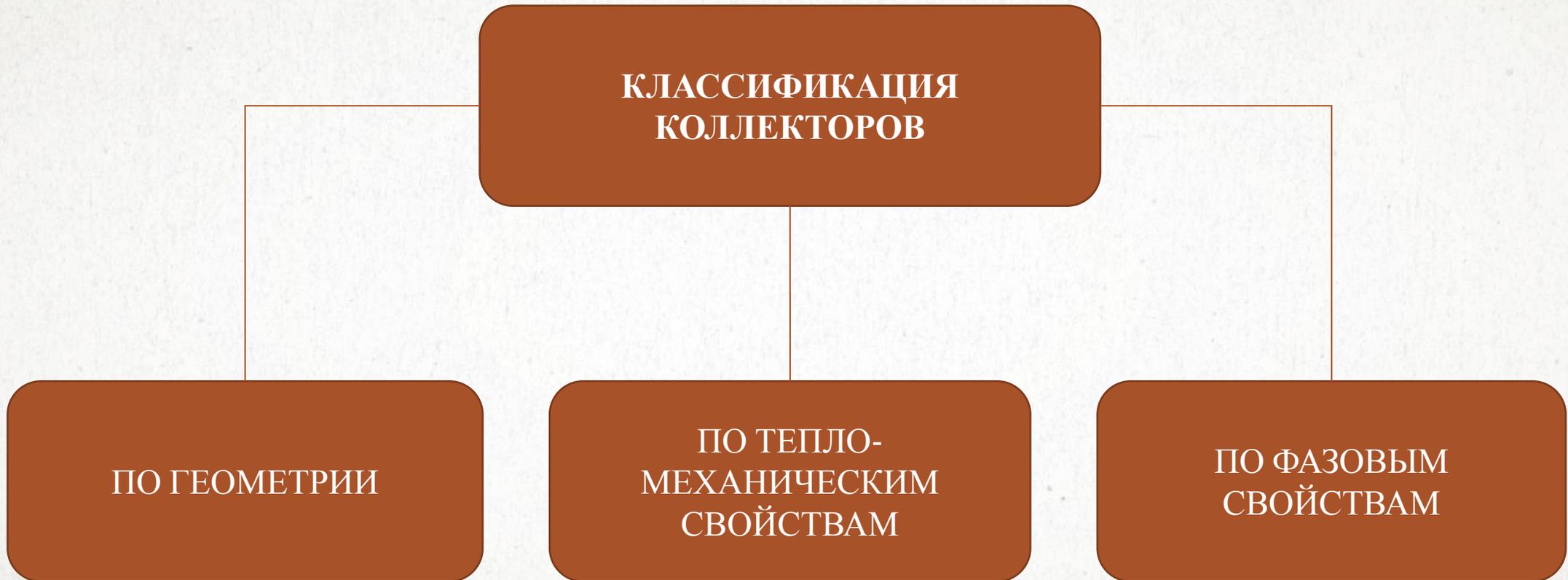
## ПЕРВИЧНАЯ (ИЗНАЧАЛЬНАЯ)

- 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

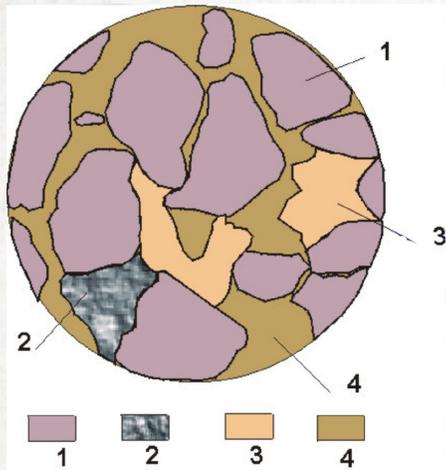
# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ



# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ

## ВИДЫ КОЛЛЕКТОРОВ

### ПОРОВЫЕ



Шлиф пористого коллектора

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

### СМЕШАННЫ Е

### ТРЕЩИНОВАТЫ Е

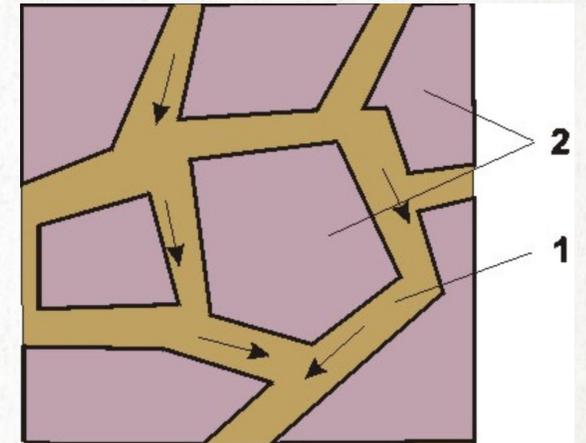
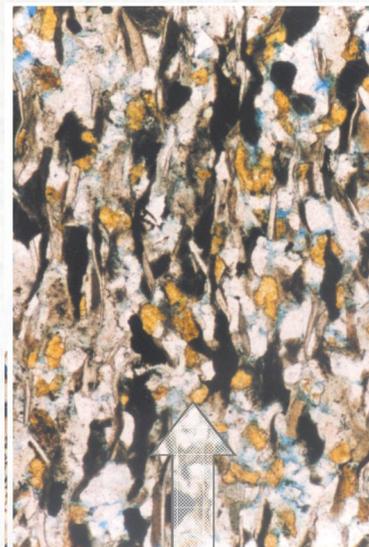
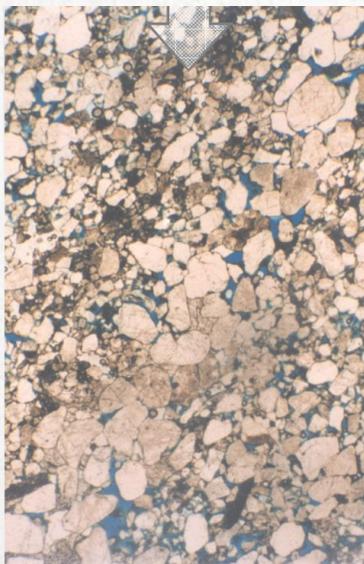


Схема трещиноватого коллектора

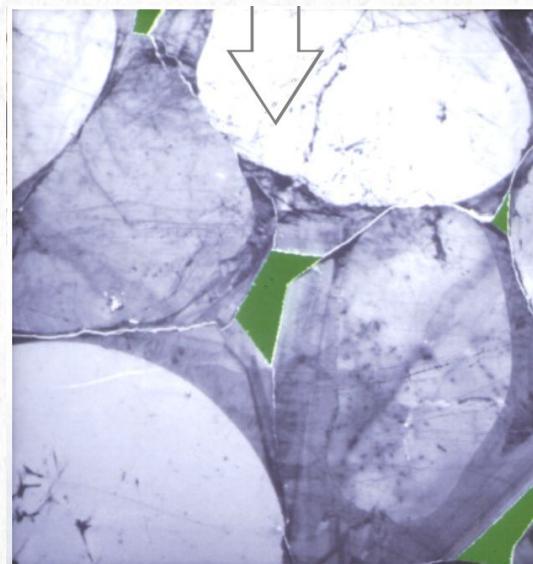
- 1 – трещины;
- 2 – пористые блоки.

# ПЕСЧАНИКИ - ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ

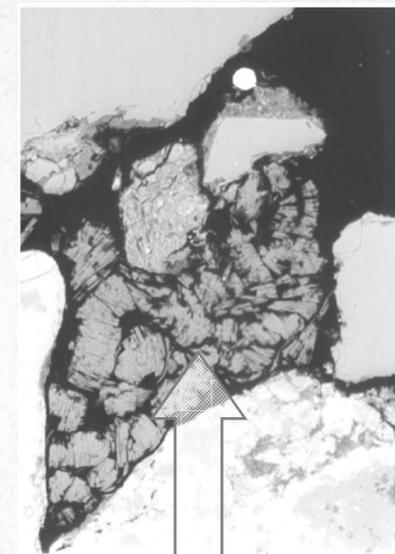
Величина зерна  
и сортировка



Форма зерна

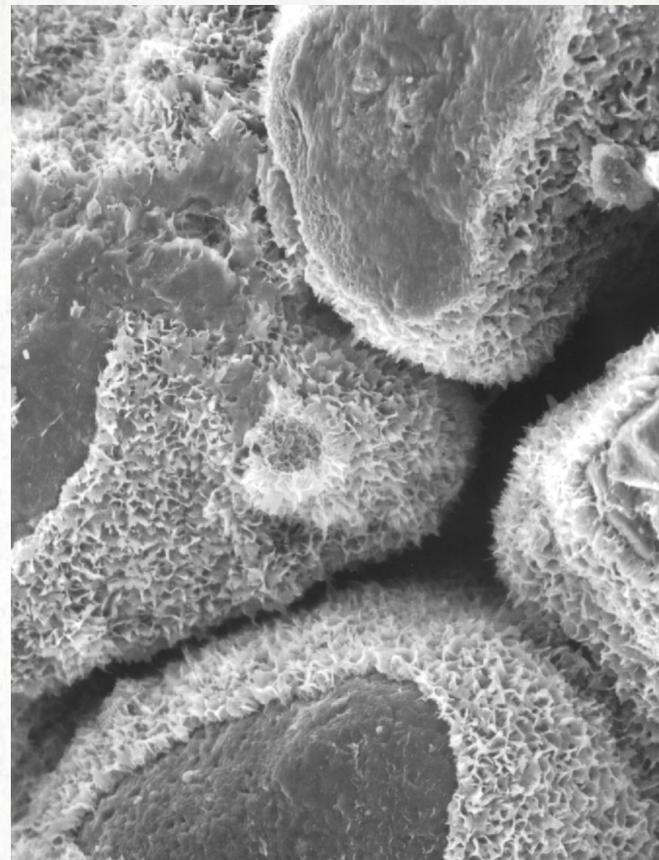


Степень  
цементирования  
зерна



Глина  
• тип  
• распределение

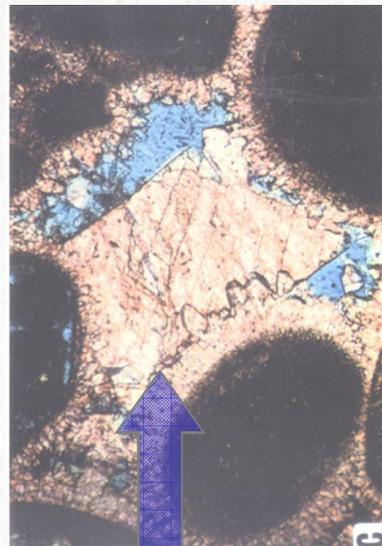
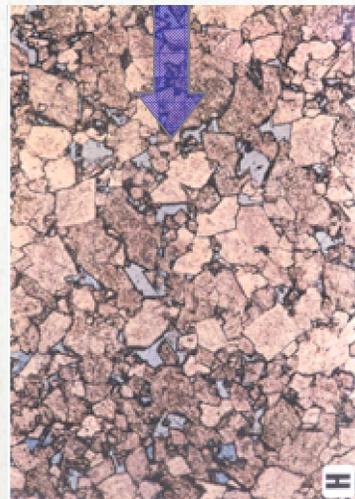
# ГЛИНЫ -ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ



Используйте анализ пласта для определения проблем потенциального повреждения пласта

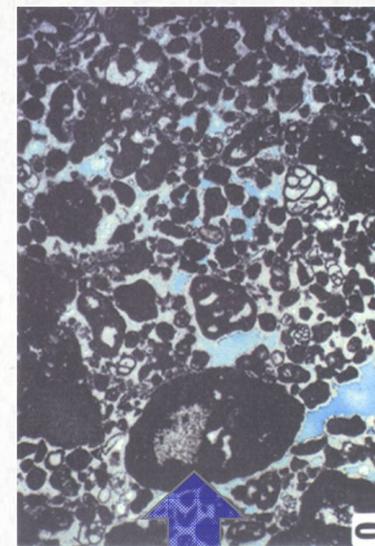
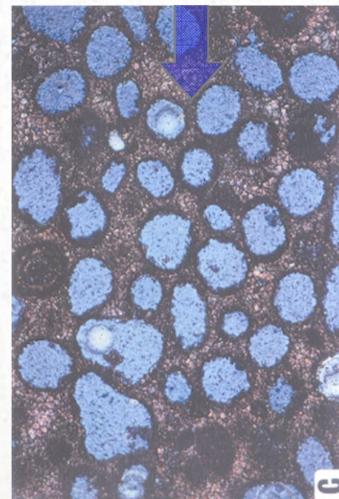
# КАРБОНАТЫ – ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ

Образование  
ДОЛОМИТОВ



Степень  
цементации

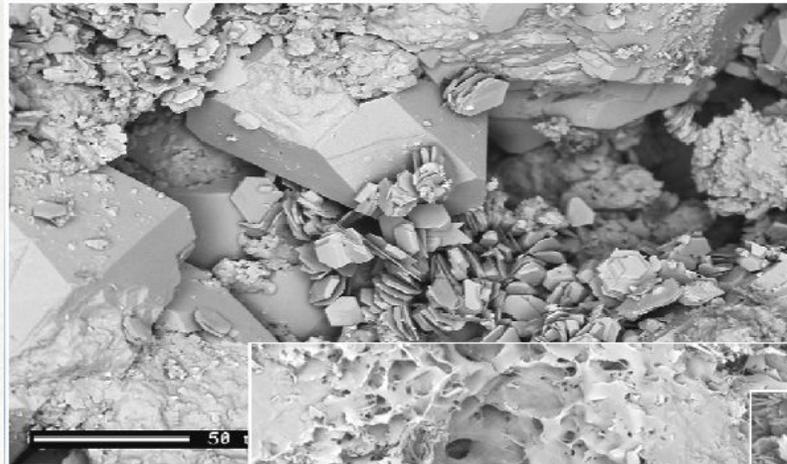
Растворение  
зерна



Зерно

- размер
- тип

# ТИПЫ ГЛИН – ЧТО ВАМ НУЖНО ЗНАТЬ



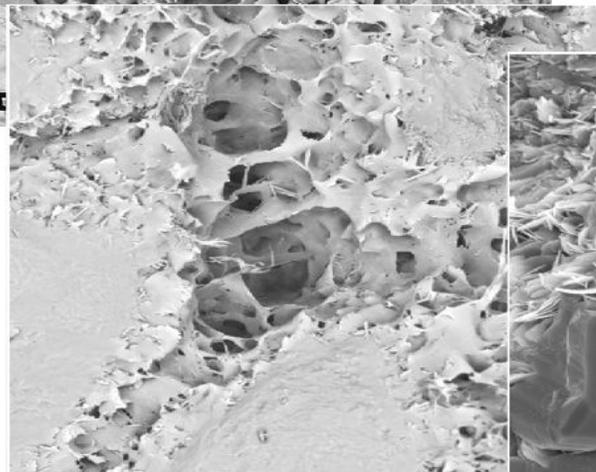
КАОЛИНИ  
Т

**Каолинит** – пластины имеют тенденцию к миграции

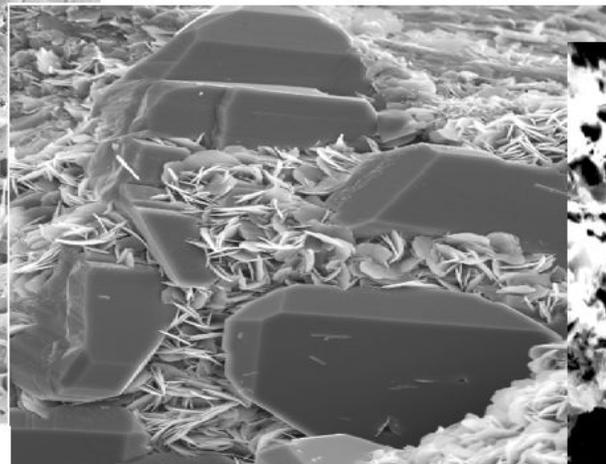
**Иллит** – волокна имеют тенденцию задерживать частицы

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

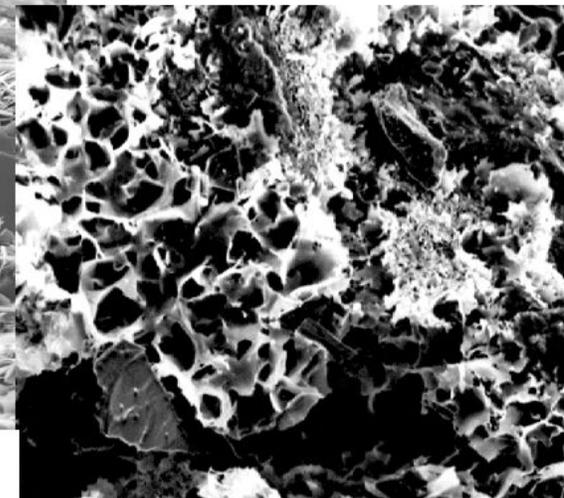
**Бентонит** – разбухает и может закупорить поры



ИЛЛИ  
Т

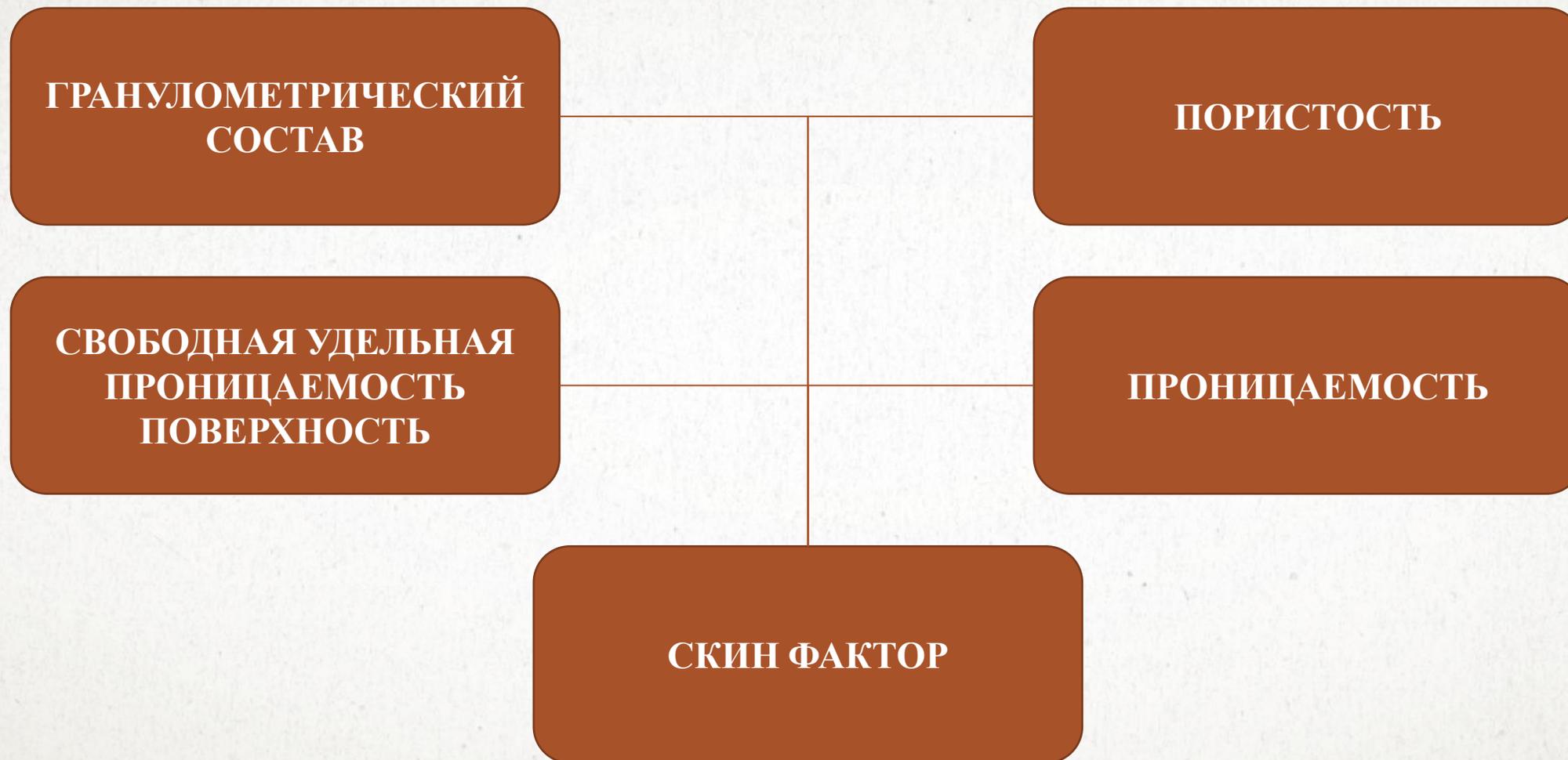


ХЛОРИ  
Т



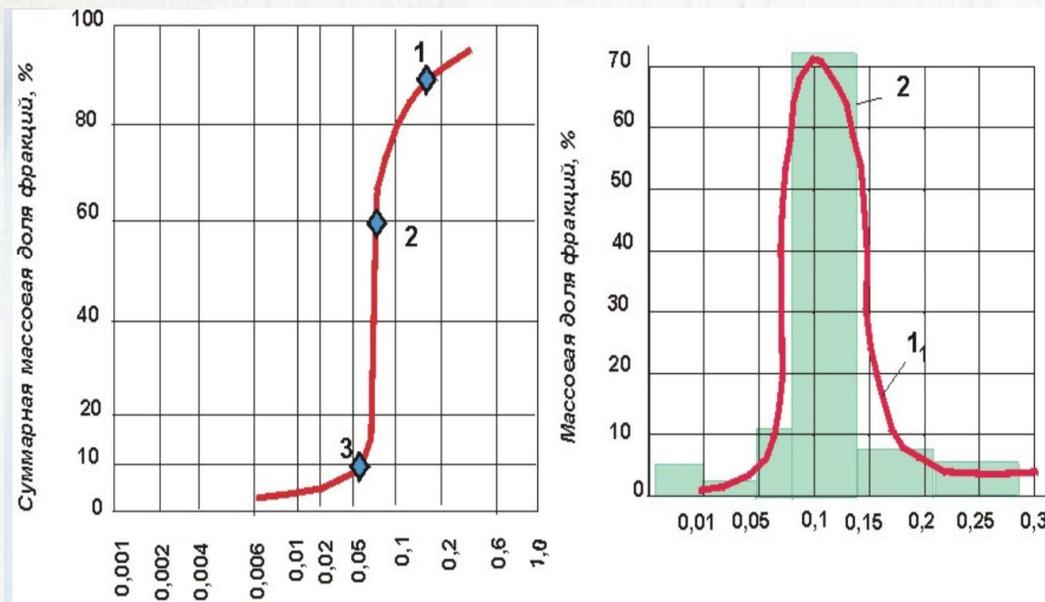
БЕНТОНИ  
Т

# 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.

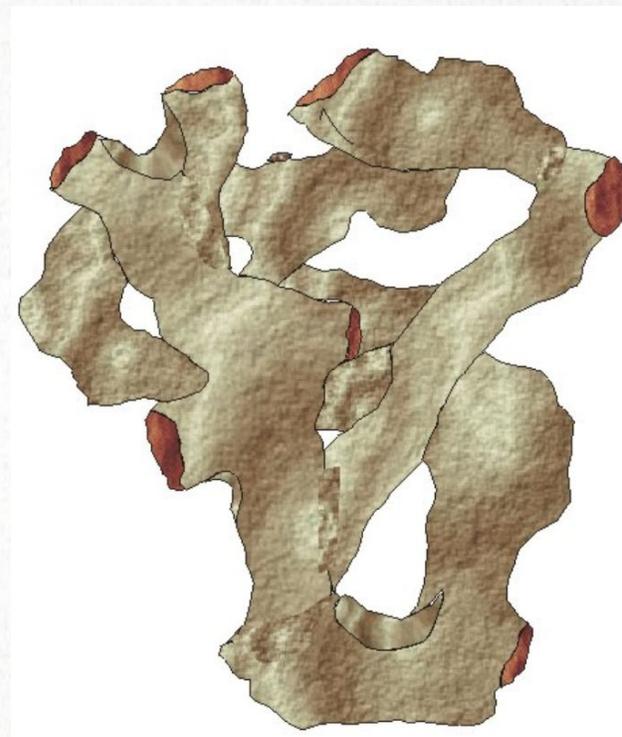
# ПОРИСТОСТЬ

Полная

Открытая

Эффективная

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

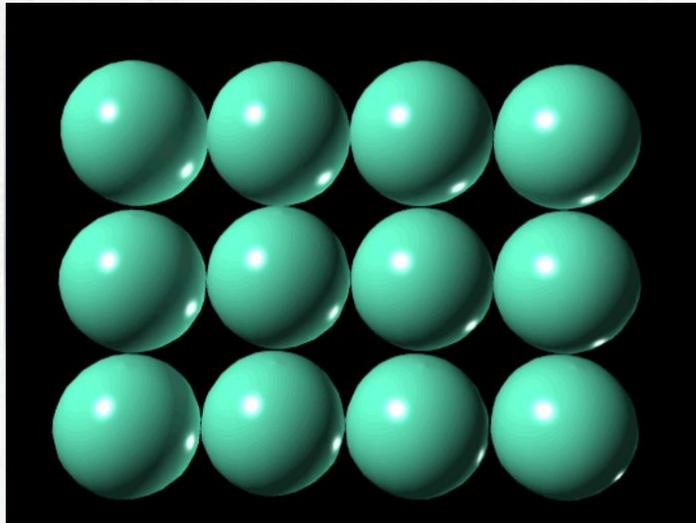


## ПОРОВЫЕ КАНАЛЫ

- 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 =  $\frac{4\pi r^3}{3}$

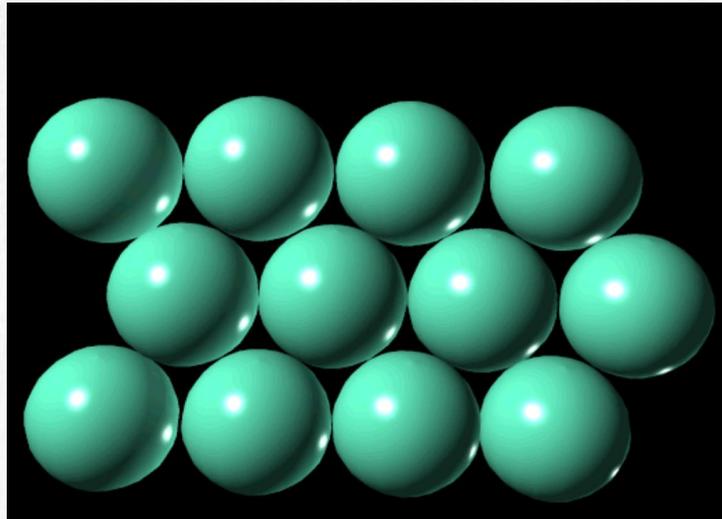
- Объем пор = общий объем – объем матрицы

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

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

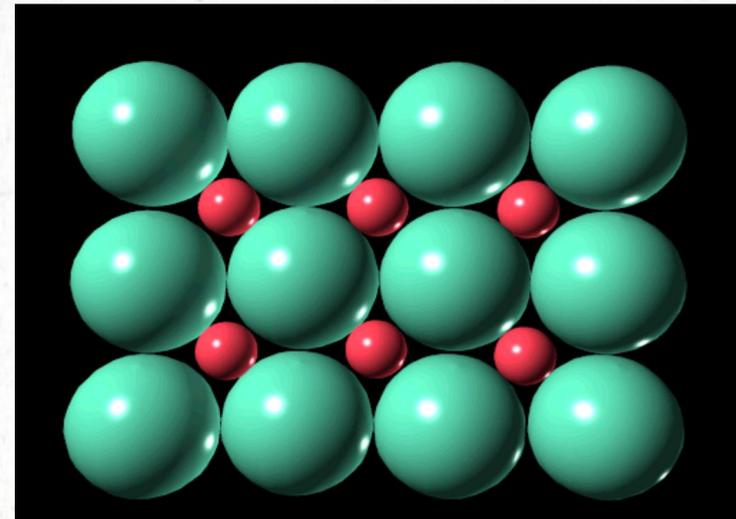
# МОДЕЛИ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Укладка шариков ромбом



Пористость = 27 %

Укладка шариков двух размеров



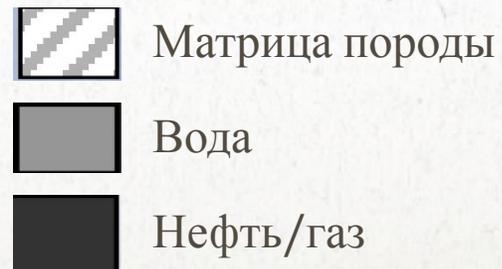
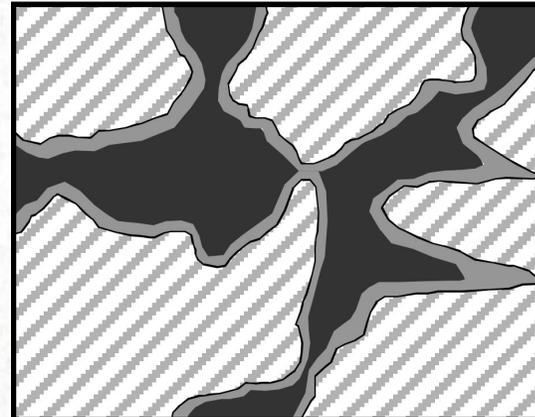
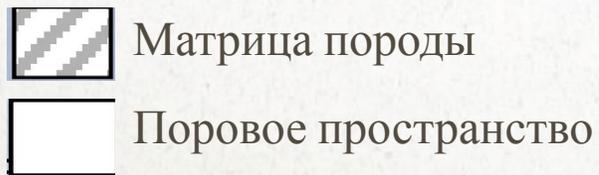
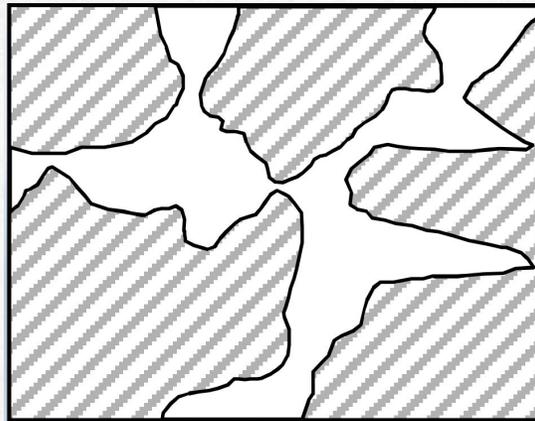
Пористость = 14%

# 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:  $m_{об} < m_{от}$



# 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.м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Породы с большей удельной поверхностью непроницаемы или слабопроницаемы (глины, пески глинизированные...)

# ПРОНИЦАЕМОСТЬ

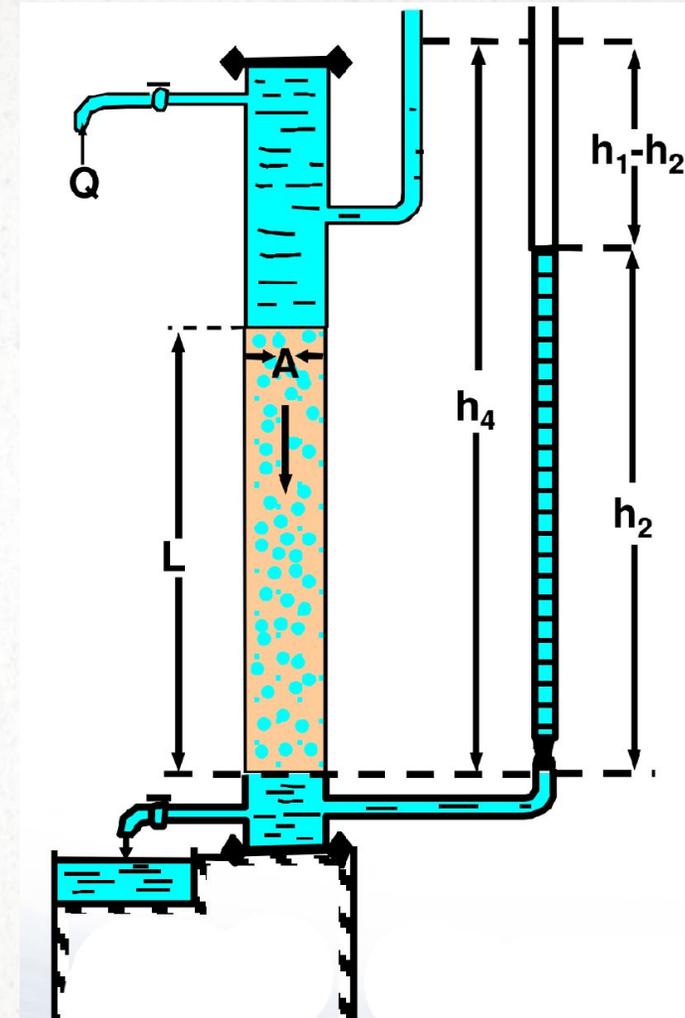
**ПРОНИЦАЕМОСТЬ** - свойство породы, характеризующее её способность пропускать через себя различные флюиды под действием перепада давления

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

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

По физическому смыслу проницаемость характеризует площадь каналов по которым происходит фильтрация. Единица измерения – м<sup>2</sup>

(1 Дарси –  $1,02 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>)



# ПИРАМИДА ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ



# ПРОНИЦАЕМОСТЬ

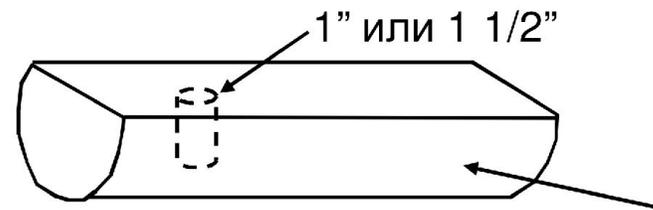


# ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ

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

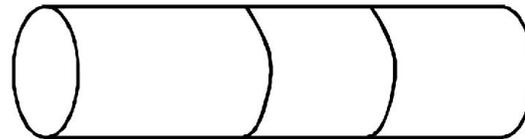
# ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Образец



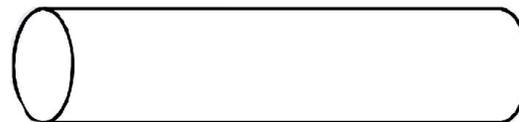
Наиболее типичный

Полный диаметр



Неоднородный пласт

Сплошной керн



Однородный пласт

Часть керна берется для

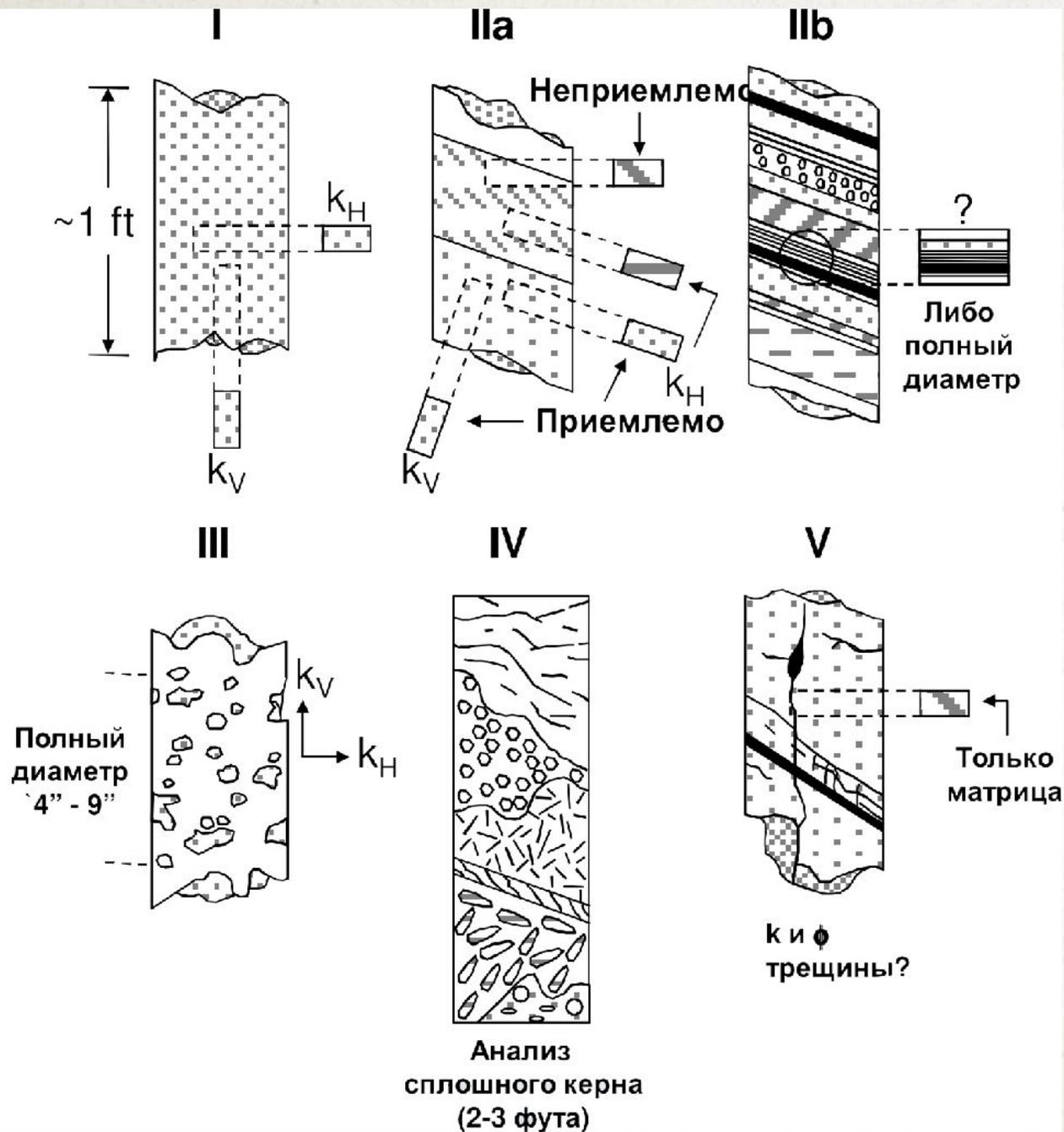
- Фотографирования
- Описания
- Архивирования

# 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

$\delta_T$

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,  $\nu$  - коэффициент Пуассона;
- $G$  – модуль сдвига;  $\beta$ -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

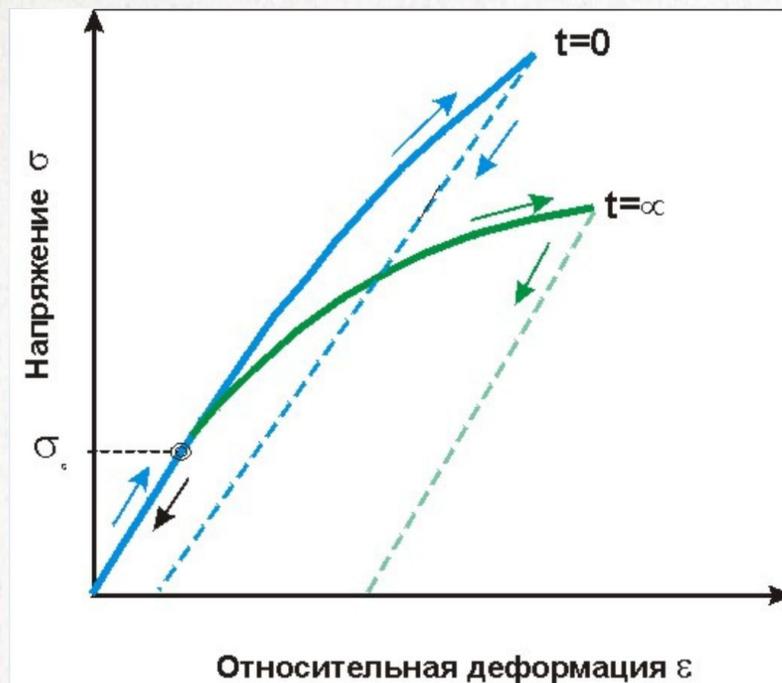
АНОМАЛЬНЫЕ  
НАПРЯЖЕНИЯ

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  $\sigma$  = [МПа]

Относительная деформация  $\varepsilon$  = [мкм]

# УПРУГИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

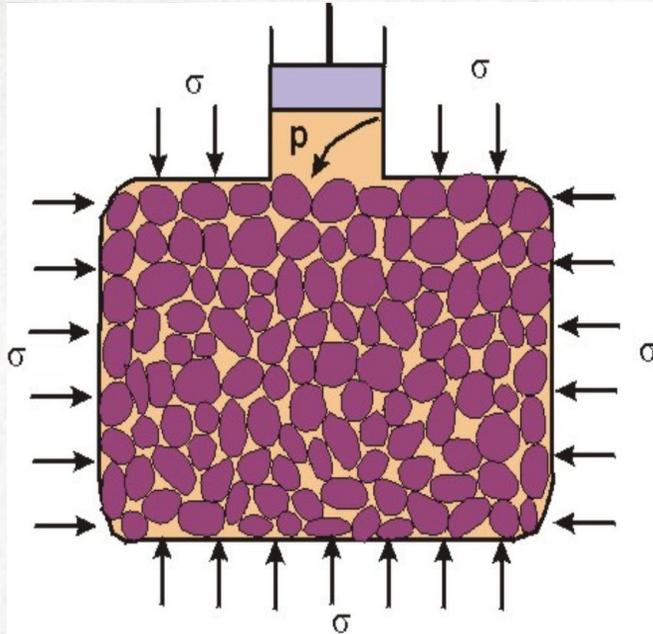


Схема проявления горного и эффективного давлений в породе

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  $\alpha$  находится в интервале -1,25+ -1,8.