



**КОЛЛЕКТОРСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ
ПЛАСТОВЫХ СИСТЕМ
(ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИЯ № 6)
(ПРОНИЦАЕМОСТЬ)**

Лектор: доцент Дахнов А.В.
Кафедра исследования нефтегазовых пластовых
СИСТЕМ

ВНИИГАЗ 2016

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

ПРОНИЦАЕМОСТЬ –

СВОЙСТВО ПОРОД ПРОВОДИТЬ
ЖИДКОСТИ, ГАЗЫ И ИХ СМЕСИ ПРИ
НАЛИЧИИ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ
 $\Delta P/L$

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

АБСОЛЮТНАЯ
(ФИЗИЧЕСКАЯ)

ФАЗОВАЯ
(ЭФФЕКТИВНАЯ)

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

АБСОЛЮТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ –

**ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОРОДЫ ПО
ОТНОШЕНИЮ К СУХОМУ ГАЗУ ИЛИ
ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ ЖИДКОСТИ**

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

$$V = Q/F = K_{\text{пр}} \Delta p / \mu \Delta l$$

$$K_{\text{пр}} = Q \mu \Delta l / \Delta p F$$

V - линейная скорость фильтрации; Q -
объемный расход жидкости; F - площадь
фильтрации; μ - динамическая вязкость
флюида; Δp - перепад давления; Δl - длина
фильтрующей пористой среды

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

$K_{пр}$ - коэффициент проницаемости

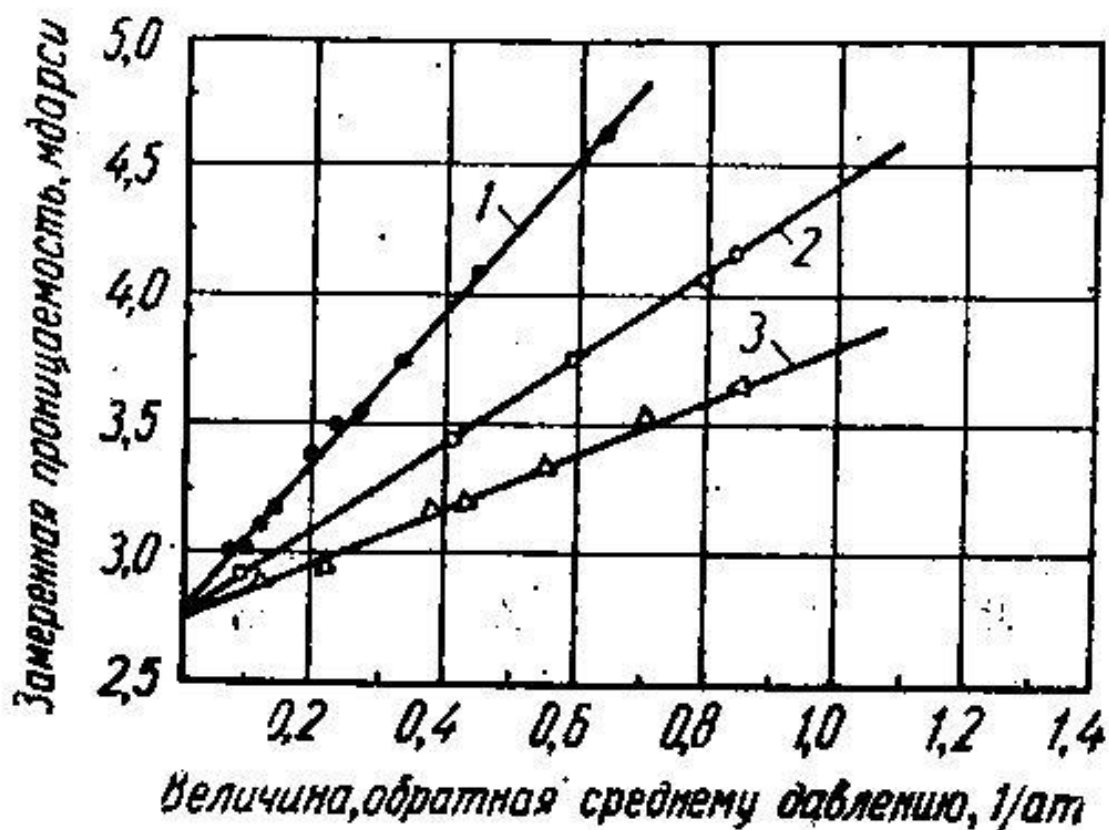
[м²]

$$1Д = 1.02 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 = 1.02 \text{ мкм}^2$$

$$1мД = 1.02 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2 = 1.02 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2 (\text{фм}^2)$$

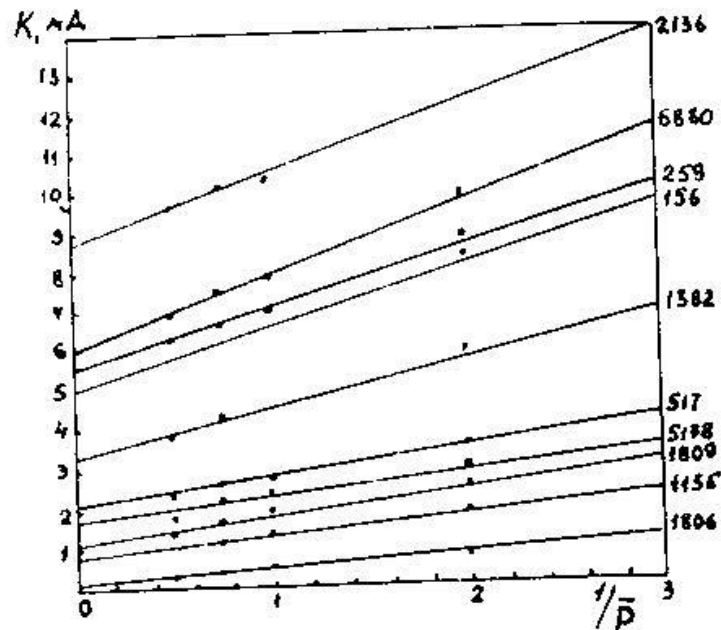
$$0,001 < K_{пр} > 5000 \text{ мД}$$

ЭФФЕКТ КЛИНКЕНБЕРГА



Проницаемость образца по водороду (1), азоту (2) и углекислому газу (3) при различных давлениях

ЭФФЕКТ КЛИНКЕНБЕРГА



Зависимость
газопроницае
мости пород
от обратной
величины
среднего
давления

ЭФФЕКТ КЛИНКЕНБЕРГА

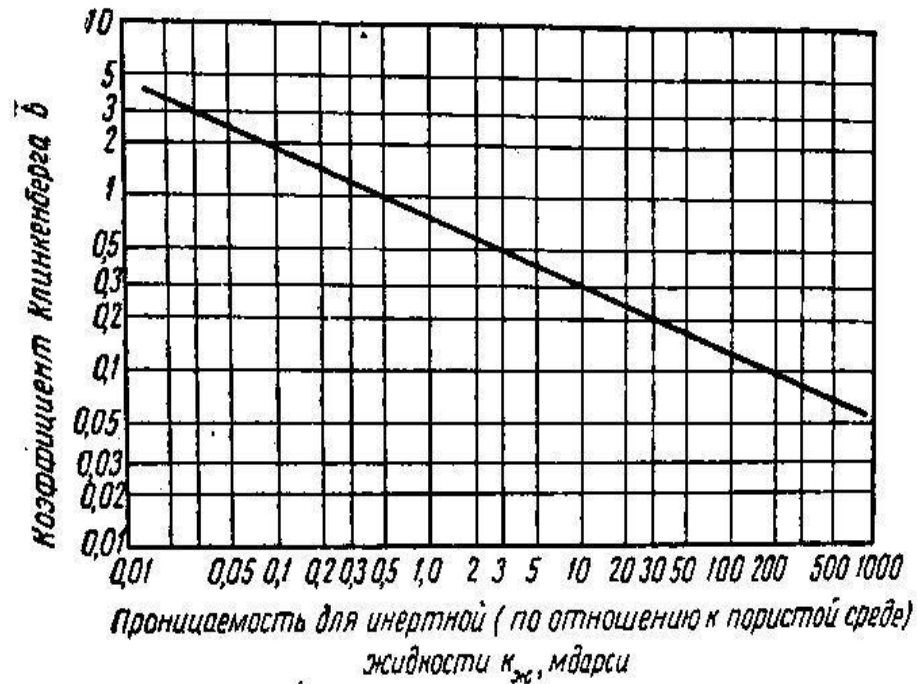
$$K_{пр} = K_{пр}^{\infty} + a/r_{ср},$$

$K_{пр}^{\infty}$ - проницаемость при $r_{ср} \rightarrow \infty$,

a – угловой коэффициент прямой

$b = a / K_{пр}^{\infty}$ - коэффициент
Клинкенберга

ЭФФЕКТ КЛИНКЕНБЕРГА



Зависимость поправочного коэффициента Клинкенберга b от проницаемости пористой среды

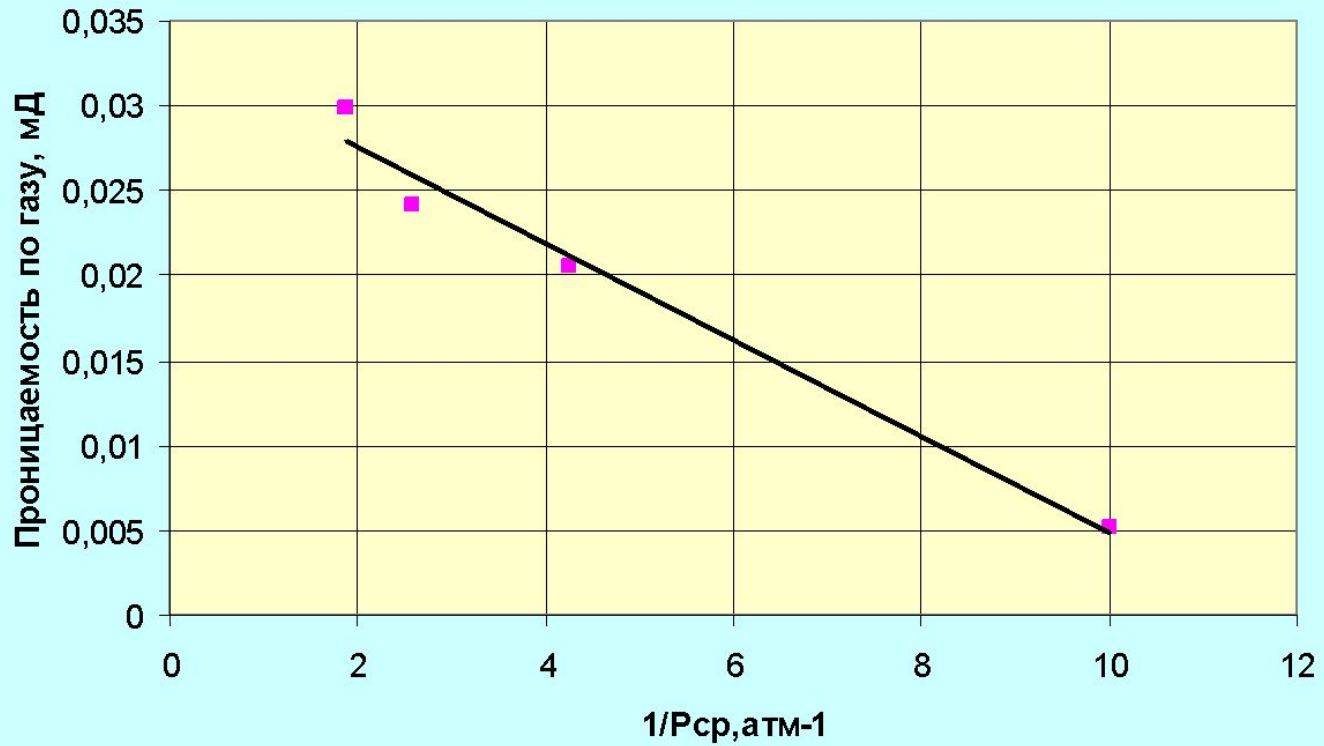
Эффект Клинкенберга

При определении коэффициента проницаемости в лабораторных условиях на образец оказывают воздействие различных факторов:

- проскальзывание газа (эффект Клинкенберга);
- эффективное давление;
- градиент давления, под действием которого происходит фильтрация газа (флюида);
- жесткость скелета;
- минералогический состав породы;

Эффект Клинкенберга

Обр. №1275/13. Зависимость $K_{пр} - 1/P_{ср}$ ($b=-0,084$)



ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЗАКОНА ДАРСИ

ЧИСЛО РЕЙНОЛЬДСА

$$Re = \delta v d / \mu < 1$$

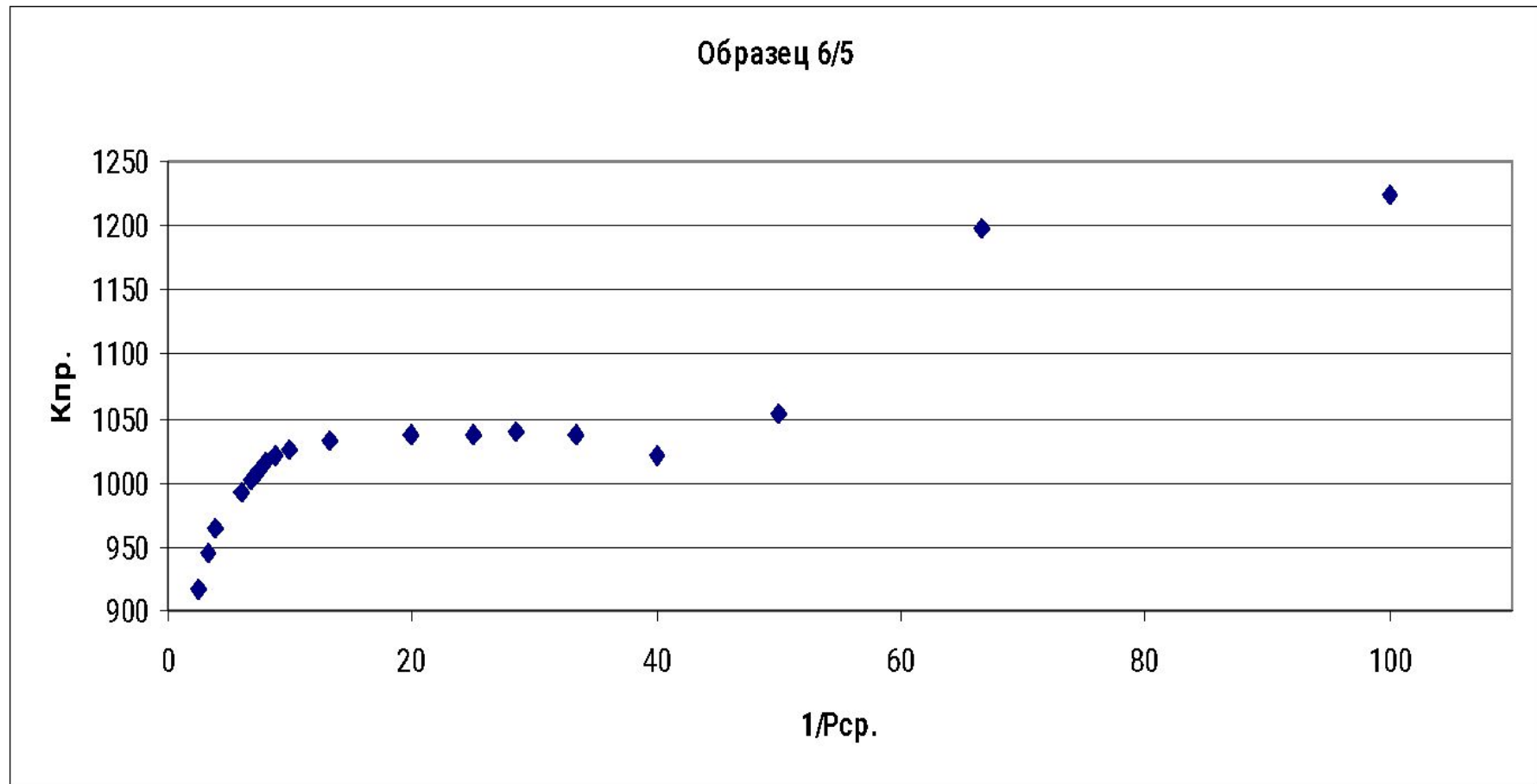
δ – плотность

v – линейная скорость

d – диаметр капилляра

μ - вязкость

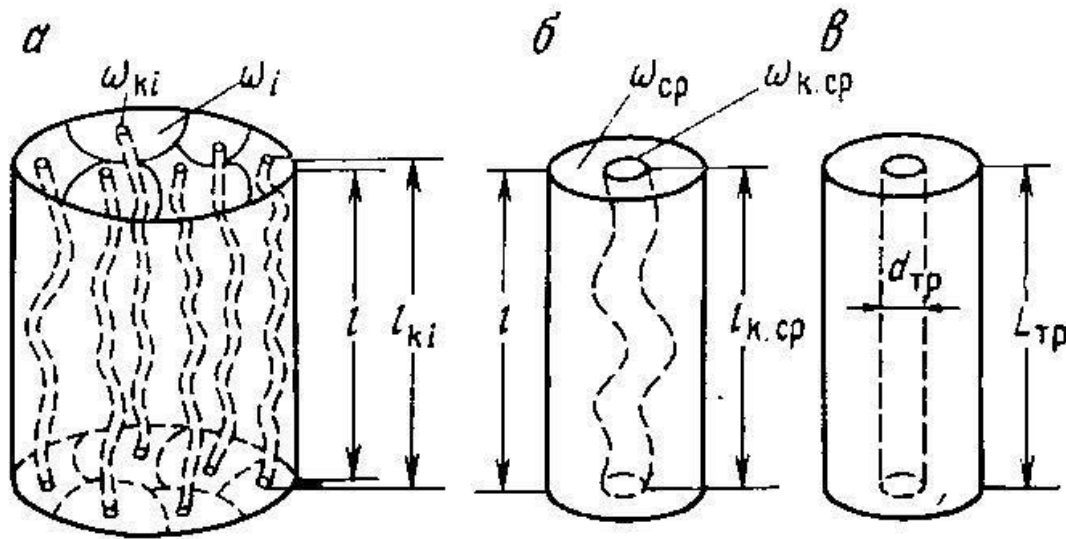
ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЗАКОНА ДАРСИ



Уравнение Козени-Кармана

$$K_{пр} = K_p^3 / f T_g^2 S^2 ф$$

УРАВНЕНИЕ КОЗЕНИ-КАРМАНА



Схема, поясняющая вывод уравнения Козени-Кармана:

а – образец породы; б – структурный элемент;

в – отрезок круглой трубы

Уравнение Козени-Кармана

$$K_{пр} = f(K_{в.о}, T_{ср}, K_{п}, T_{г} \text{ и } f)$$

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД

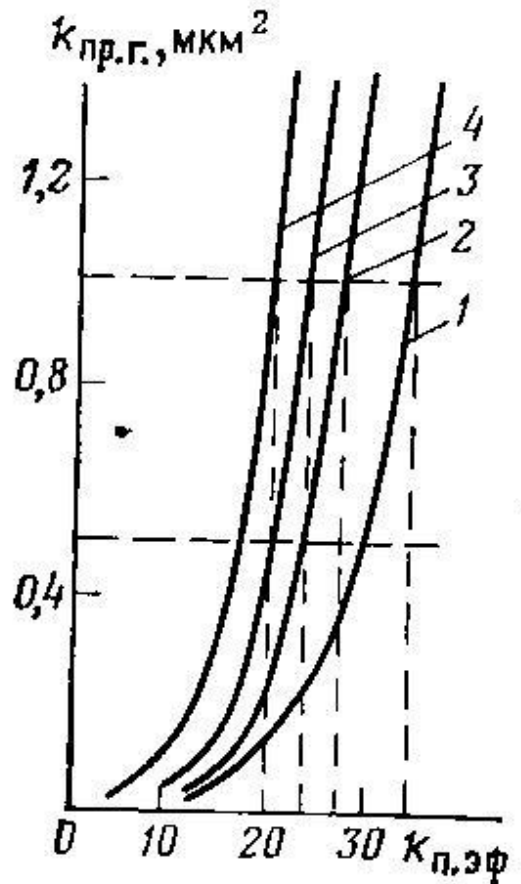
$$K_{\text{пр}} = mb^2 K_{\text{т}}$$

m — коэффициент

b — раскрытие трещин

K_т — коэффициент
трещиноватости

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД



Зависимость проницаемости от эффективной пористости для

- 1 - алевритовой фракции (0,05-0,01 мм);
- 2 - (0,1-0,05мм);
- 3 - м/з песчаник;
- 4 - с/з песчаник

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД

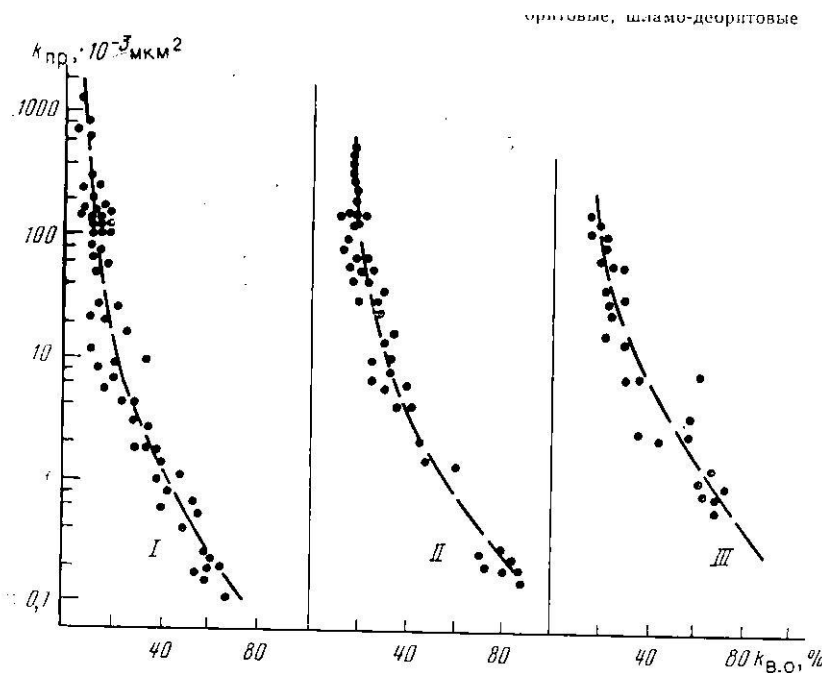
102 Таблица 7. Классификация песчано-алевритовых пород-коллекторов (по А. А. Ханину и М. И. Колосковой)

Класс коллектора	Группа коллекторов (по преобладанию гранулометрической фракции)	Коэффициент эффективной пористости, %	Размер основных фильтрующих пор, мкм	Содержание основных фильтрующих пор от объема всех пор, %	Суммарное содержание пор <2 мкм от объема всех пор, %	Остаточная водонасыщенность от объема всех пор, %	Коэффициент проницаемости, мкм ²	Проницаемость и емкость коллектора
I	Песчаники среднезернистые	≥17	50—150	40—80	0—17	—	>1	Очень высокие
	Песчаники мелкозернистые	≥20	20—100	40—80	0—20	5—25		
	Алевриты крупнозернистые	≥23,5	—	—	—	—		
	Алевриты мелкозернистые	≥30	—	—	—	—		
II	Песчаники среднезернистые	15—17	40—100	25—50	5—25	—	0,5—1	Высокие
	Песчаники мелкозернистые	18—20	18—60	36—60	5—30	10—35		
	Алевриты крупнозернистые	21,5—23,5	} 12—30	} 40—80	} 10—35	—		
	Алевриты мелкозернистые	26,5—30						
III	Песчаники среднезернистые	11—15	20—50	25—40	15—40	—	0,1—0,5	Средние
	Песчаники мелкозернистые	14—18	16—40	15—50	15—40	10—45		
	Алевриты крупнозернистые	16,8—21,5	} 10—30	} 25—65	} 20—45	—		
	Алевриты мелкозернистые	20,5—26,5						

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД

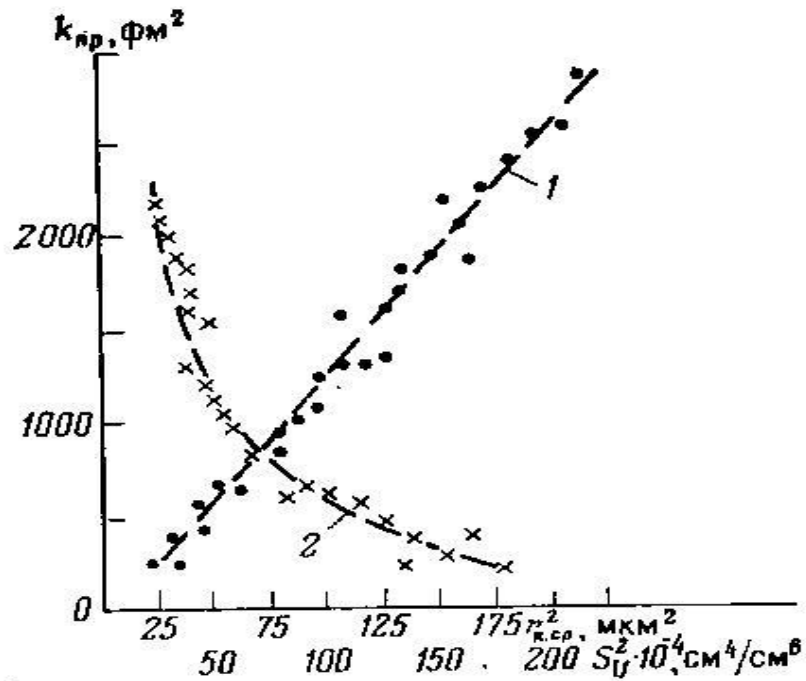
IV	Песчаники	среднезернистые	5,8—11	15—40	15—30	20—45	—	0,01—0,1	Пониженные
	Песчаники	мелкозернистые	8—14	10—35	15—45	20—50	30—60		
	Алевриты	крупнозернистые	10—16,8	} 3—20	} 20—50	} 20—56	—		
	Алевриты	мелкозернистые	12—20,5				—		
V	Песчаники	среднезернистые	0,5—5,8	—	—	—	—	10 ⁻³ —10 ⁻²	Низкие
	Песчаники	мелкозернистые	2—8	5—16	20—40	50—85	50—95		
	Алевриты	крупнозернистые	3,3—10	3—8	20—50	50—90	—		
	Алевриты	мелкозернистые	3,6—12	—	—	—	—		
VI	Песчаники	среднезернистые	<0,5	—	—	—	—	<10 ⁻³	Весьма низкие (такие коллекторы обычно не имеют промышленного значения)
	Песчаники	мелкозернистые	<2	—	—	—	—		
	Алевриты	крупнозернистые	<3,3	—	—	—	—		
	Алевриты	мелкозернистые	<3,6	—	—	—	—		

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ



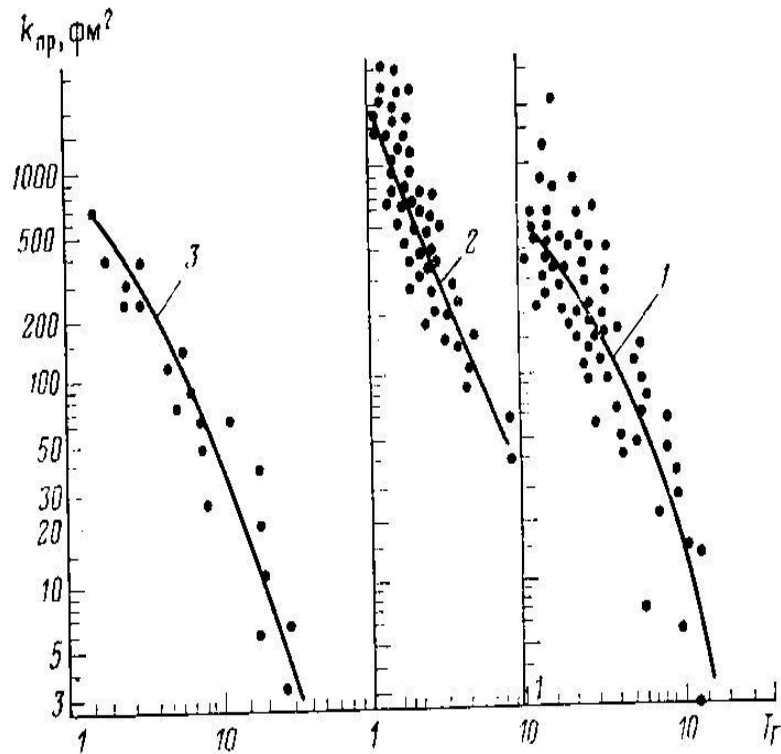
Пример зависимости проницаемости от остаточного водонасыщения для различных по происхождению и структуре карбонатных пород: I — биоморфные; II — сгустковые; III — детритовые

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ



Пример зависимости проницаемости от квадрата среднего радиуса поровых каналов (1) и квадрата удельной поверхности (2).

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ



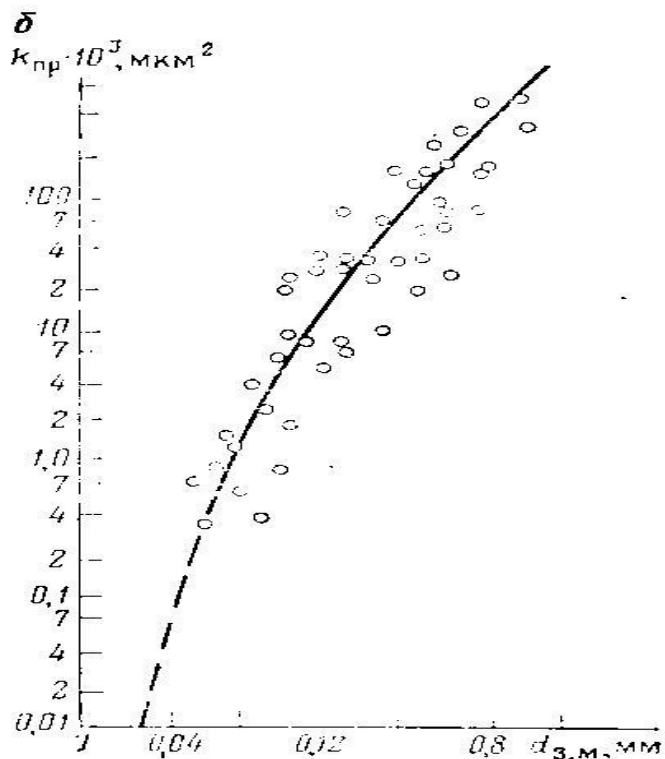
Пример зависимости
проницаемости от
гидравлической
извилистости.
Месторождения:

1 – Узень;

2 – Мухановское;

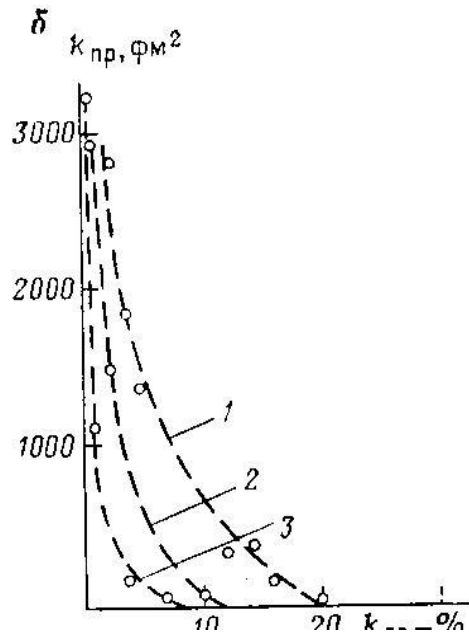
3 – Туймазинское

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ



Зависимость
проницаемости
песчано-
глинистых пород
от медианного
диаметра зерен

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ



Зависимость
проницаемости от
содержания глинистого
цемента: глина: 1 –
каолинитовая, 2 –
полимиктовая, 3 –
монтмориллонитовая

ФАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

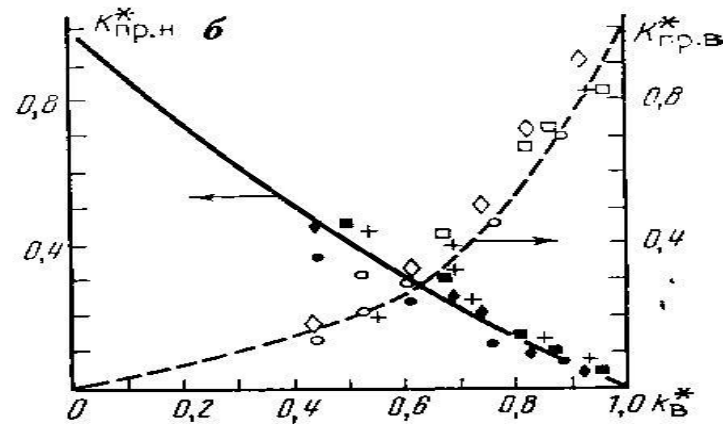
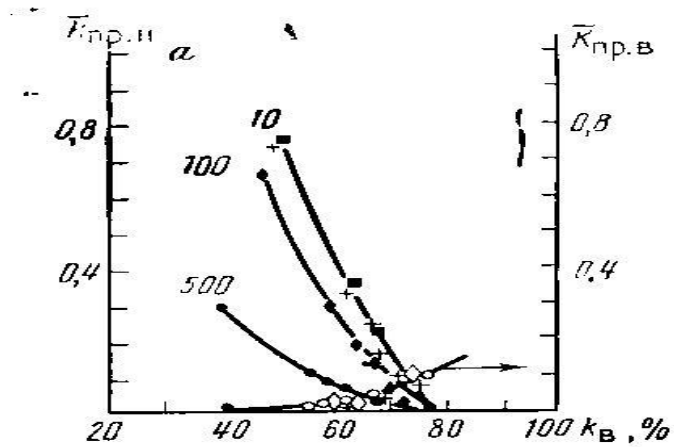


Рис. 29. Кривые ОФП песчаников пласта АВ₂₋₃ Саятлорского месторождения:
а — традиционные шкалы; б — нормированные координаты. Шифр кривых — абсолютная проницаемость, $\cdot 10^{-3}$ мкм²

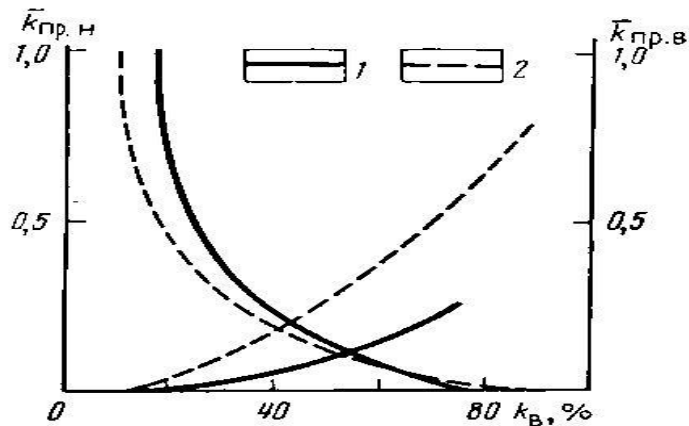
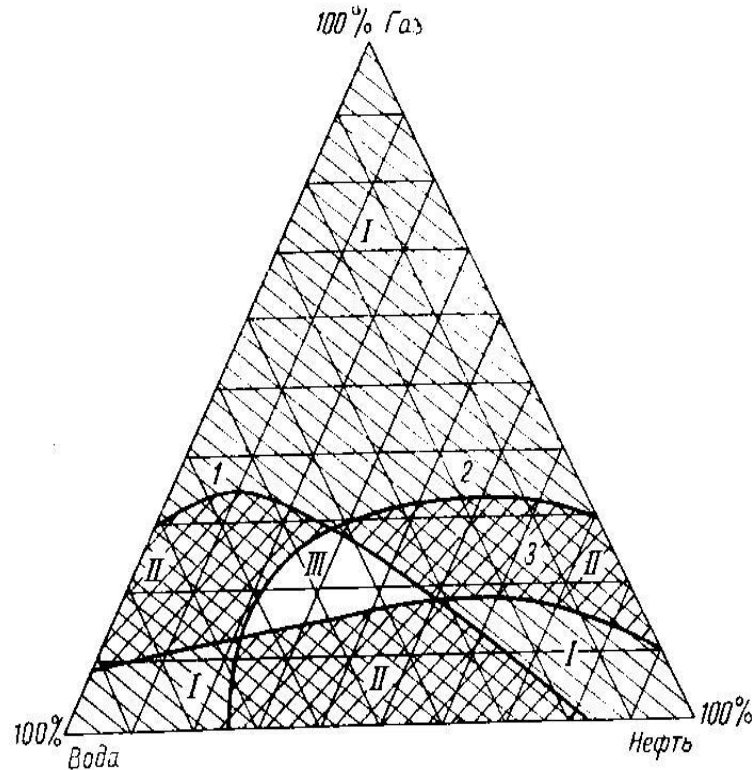


Рис. 30. Влияние гидрофобности коллектора на вид кривых ОФП.
Породы: 1 — гидрофильные, 2 — гидрофобные

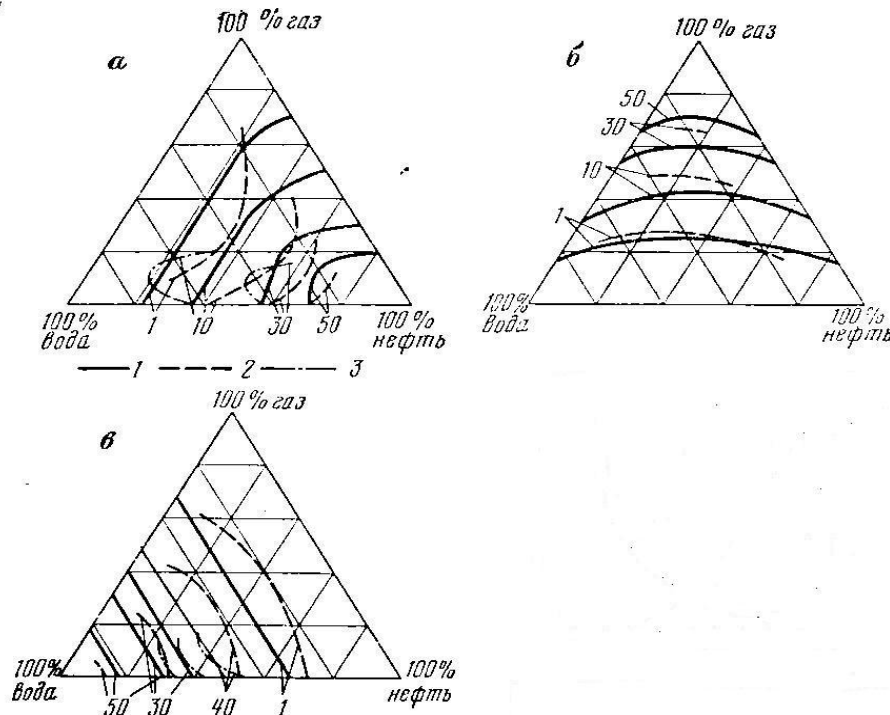
ФАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ



Диаграмма, характеризующая сочетания значений газо-, нефте- и водонасыщенности, при которых возможна одно-, двух- и трехфазная фильтрация через пористую среду.

I – область однофазной фильтрации; II – область двухфазной фильтрации; III – область трехфазной фильтрации

ФАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ



Линии равной проницаемости для нефти (а), газа (б) и воды (в).

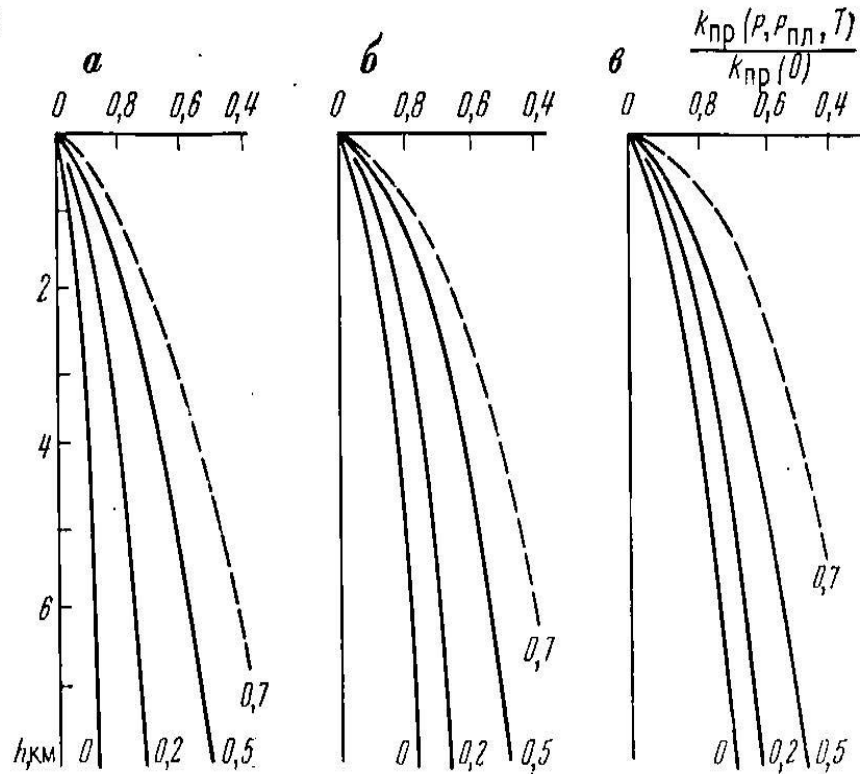
Относительная проницаемость, %, по данным: 1 – М. Лаверетта; 2 – Снелла; 3 – Кундина.

УПРУГИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Изменения коэффициентов пористости и проницаемости песчаников с гранулярной пористостью с глубиной залегания (Северо-Восточное Предкавказье) [Добрынин В. М.]

Глубина, м	$K_{п.ср}$ по керну	$K_{пр}$, мкм ²
0	0,33	1-10
1000	0,26	$10^{-1} - 1$
2000	0,165	$10^{-2} - 10^{-1}$
4000	0,07	$10^{-3} - 10^{-2}$
6000	-	$10^{-4} - 10^{-3}$

УПРУГИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ



Палетка для
оценки упругих
(обратимых)
изменений
коэффициента
проницаемости
песчано-
глинистых пород.
Шифр кривых $\dot{\eta}_{\text{гл}}$

Вопросы для самоконтроля

1. Уравнение Дарси для фильтрации жидкости и газа в породах с межзерновой пористостью; в чем заключается различие?
2. В чем заключается сущность уравнения Козени-Кармана?
3. Какие величины определяют проницаемость трещиноватых пород? Почему проницаемость кернов пород не всегда характеризует проницаемость трещиноватых пород в естественных условиях?
4. Как изменяется проницаемость горных пород с межзерновой пористостью от глубины залегания?
5. Что такое упругие (обратимые) изменения проницаемости горных пород?
6. Относительные фазовые проницаемости горных пород.
7. Классификация осадочных пород по проницаемости.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

internet: www.vniigaz.ru
intranet: www.vniigaz.gazprom.ru
e-mail: vniigaz@vniigaz.gazprom.ru
телефон: (+7 495) 355-92-06
факс: (+7 495) 399-32-63